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

Dois ensaios empíricos sobre heterogeneidade produtiva e estrutura de capital
do setor sucroenergético brasileiro

Haroldo José Torres da Silva

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

Piracicaba
2019

Haroldo José Torres da Silva
Bacharel em Ciências Econômicas

**Dois ensaios empíricos sobre heterogeneidade produtiva e estrutura de capital do setor
sucroenergético brasileiro**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **PEDRO VALENTIM MARQUES**

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

Piracicaba
2019

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

Silva, Haroldo José Torres da

Dois ensaios empíricos sobre heterogeneidade produtiva e estrutura de capital do setor sucroenergético brasileiro / Haroldo José Torres da Silva. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

84 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Performance 2. Endividamento 3. Eficiência 4. Alavancagem
I. Título

Dedico a Gabriela Brogio, por todo amor, companheirismo, compreensão e colaboração nessa fase importante da minha vida.

Dedico a minha querida mãe, Lourdes Torres Parron, que abdicou de seus sonhos para que os meus fossem realizados e incansável incentivadora de meu aprendizado.

AGRADECIMENTOS

A Gabriela Brogio, minha noiva, com quem compartilhei as angústias e expectativas deste trabalho, pelo constante apoio e carinho, além da compreensão nos momentos de ausência.

Aos meus familiares, especialmente a minha mãe, pelo apoio incondicional, exemplo de luta e dignidade com que guiou a minha formação, pelo seu amor e incentivo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Pedro Valentim Marques, pela confiança, paciência e pelos diversos ensinamentos. Sou grato pela oportunidade de aprendizado que me proporcionou e pela sua disposição a ajudar.

Aos professores e funcionários do Departamento de Economia, Administração e Sociologia (LES) da ESALQ/USP.

Aos professores Humberto Francisco Silva Spolador, Daniel Yokoyama Sonoda e Mirian Rumenos Piedade Bacchi pelas valiosas observações e contribuições que fizeram a este trabalho na etapa de qualificação.

Quero agradecer a todos aqueles, da minha turma ou não, que fizeram parte do meu dia-a-dia durante o doutorado, pelo companheirismo compartilhado e amizade.

Aos amigos do PECEGE (Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas), não só pelo convívio, mas pelos ensinamentos oferecidos ao longo dos projetos desenvolvidos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 - e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS.....	9
1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJETIVOS	13
1.2 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO.....	13
REFERÊNCIAS	14
2. HETEROGENEIDADE PRODUTIVA DAS USINAS DE AÇÚCAR E ETANOL NO BRASIL	15
RESUMO	15
ABSTRACT	15
2.1. INTRODUÇÃO	15
2.2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.3. METODOLOGIA.....	21
2.4. VARIÁVEIS SELECIONADAS E DADOS.....	25
2.5. RESULTADOS	27
2.6. CONCLUSÕES.....	37
REFERÊNCIAS	38
3. INTER-RELAÇÃO ENTRE PERFORMANCE E ESTRUTURA DE CAPITAL: EVIDÊNCIAS PARA AS USINAS DE AÇÚCAR E ETANOL NO BRASIL.....	49
RESUMO	49
ABSTRACT	49
3.1. INTRODUÇÃO	50
3.2. REVISÃO DE LITERATURA	52
3.3. METODOLOGIA.....	55
3.4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
3.5. CONCLUSÕES.....	73
REFERÊNCIAS	75
APÊNDICES	81
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83

RESUMO

Dois ensaios empíricos sobre heterogeneidade produtiva e estrutura de capital do setor sucroenergético brasileiro

Este trabalho é composto por dois artigos que visam abordar pontos pouco explorados na literatura da economia agrícola brasileira sobre a heterogeneidade produtiva das agroindústrias sucroenergéticas, em termos de desempenho (eficiência produtiva e produtividade total dos fatores - PTF), e a sua relação com a estrutura de capital destas empresas entre 2006 e 2015. Após uma breve introdução ao tema no primeiro capítulo, analisa-se no segundo capítulo, a evolução da eficiência produtiva entre as usinas de açúcar e etanol no Brasil, através da Análise Envoltória de Dados (DEA) e do índice de Malmquist e suas decomposições. Os resultados indicam que não há um padrão único e bem definido de eficiência e produtividade entre as empresas do setor ao longo do período avaliado, configurando-o como heterogêneo sob o ponto de vista de práticas de gestão e adoção tecnológica. Adicionalmente, observa-se que se intensificou a diferença entre as empresas, de forma que coexistem empresas tecnologicamente atrasadas e com baixos níveis de eficiência, em oposição a empresas eficientes e que empregam modernas práticas de gestão e tecnologias. Por fim, nota-se também uma redução dos níveis de produtividade e intensa variabilidade desta ao longo do período analisado. O segundo artigo, no terceiro capítulo, investiga a relação entre performance e estrutura de capital das empresas de açúcar e etanol no Brasil, através de duas hipóteses: *i)* uma maior alavancagem reduz os custos de agência, bem como a ineficiência e, assim, leva a uma melhoria no desempenho da empresa, como preconizado por Jensen e Meckling (1976) e *ii)* em sentido reverso, as empresas com melhor desempenho optam por menores níveis de alavancagem - hipótese eficiência-risco (*efficiency-risk hypothesis*), conforme proposição de Berger e Udell (2006). Os resultados não descartam a hipótese do custo de agência dos acionistas externos junto ao setor sucroenergético brasileiro, de forma que uma maior alavancagem está associada a um melhor desempenho da empresa, especificamente, para empresas com níveis de dependência financeira superiores a 57,52%. Utilizando a análise de regressão quantílica, constata-se que há um efeito negativo entre o desempenho da empresa e a sua alavancagem para todos os valores de eficiência até cerca de 0,57, indicando que a hipótese eficiência-risco não é válida para todos os valores relevantes de eficiência.

Palavras-chave: Performance; Endividamento; Eficiência; Alavancagem

ABSTRACT

Two empirical essays on productive heterogeneity and capital structure of the Brazilian sugar-energy industry

This thesis is made up of two articles that aim to address little explored points in the literature of the Brazilian agricultural economy on the productive heterogeneity of sugarcane agroindustries in terms of performance (productive efficiency and total-factor productivity - TFP), and its relationship with the capital structure of these companies between 2006 and 2015. After a brief introduction of the theme in the first chapter, the second chapter analyzes the evolution of the productive efficiency between sugar and ethanol mills in Brazil through Data Envelopment Analysis (DEA) and the Malmquist index and its decompositions. The results indicate that there is not a single and well-defined pattern of efficiency and productivity among the companies in the sector during the period evaluated, configuring it as heterogeneous from the management practices and technological adoption point of view. In addition, it is observed that the difference between companies has intensified, so that technologically backward companies with low levels of efficiency coexist, as opposed to efficient companies that employ modern management practices and technologies. Finally, there is also a reduction in productivity levels and intense variability over the analyzed period. The second article, in the third chapter, investigates the relationship between performance and capital structure of sugar and ethanol companies in Brazil, through two hypotheses: *i*) higher leverage reduces agency costs as well as inefficiency, leading, thus, to an improvement in the performance of the company, as stated by Jensen and Meckling (1976) and *ii*) in reverse, the companies with better performances opt for lower levels of leverage - efficiency-risk hypothesis, according to proposition of Berger and Udell (1994). The results do not rule out the hypothesis of the agency cost of external shareholders in the Brazilian sugar-energy industry, in such a way that greater leverage is associated with a better performance of the company, specifically for companies with financial dependency levels above 57.52%. Using quantile regression analysis, it is possible to see that there is a negative effect between the company's performance and its leverage for all efficiency values up to about 0.57, indicating that the efficiency-risk hypothesis is not valid for all relevant values of efficiency.

Keywords: Performance; Indebtedness; Efficiency; Leverage

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolução do fluxo histórico de unidades produtoras do setor sucroenergético brasileiro e da moagem de cana-de-açúcar entre 2006 e 2015.	12
Figura 2. Esquema simplificado do modelo empírico.....	26
Figura 3. Distribuição da produção de cana-de-açúcar por mesorregião geográfica e localização das usinas amostradas.....	27
Figura 4. <i>Boxplots</i> dos indicadores de eficiência obtidos entre os modelos DEA (CRS, VRS e EE) entre 2006 e 2015.....	32
Figura 5. Índices da variação percentual acumulada das medidas de Eficiência Técnica (ET), Mudança Técnica (MT), Eficiência de Escala (ES) e Índice de Malmquist (IM).	36
Figura 6. <i>Boxplots</i> da participação do capital de terceiros (LEV) do setor sucroenergético e média da participação do capital de terceiros das empresas de capital aberto (losango) entre 2006 e 2015.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Síntese dos trabalhos encontrados na literatura brasileira sobre a eficiência do setor sucroenergético utilizando o ferramental empírico da DEA.....	20
Tabela 2. Resumo das medidas de eficiência e suas definições.....	25
Tabela 3. Detalhamento das variáveis empregadas no modelo empírico.....	26
Tabela 4. Evolução comparativa do processamento de cana-de-açúcar (moagem), produção de etanol e açúcar no Brasil e entre a amostra da pesquisa - 2006 a 2015.	28
Tabela 5. Média geométrica e desvio-padrão das variáveis empregadas no modelo DEA. .	28
Tabela 6. Estatística descritiva dos escores de eficiência estimados anualmente para os modelos empíricos com orientação ao insumo.	30
Tabela 7. Índice de Malmquist para as empresas do setor sucroenergético brasileiro (variação anual entre dois períodos de tempo consecutivos t e $t+1$, de 2006 a 2015).	34
Tabela 8. Média geométrica do índice de produtividade de Malmquist e suas decomposições.....	35
Tabela 9. Variáveis utilizadas nos modelos econométricos.....	62
Tabela 10. Estatística descritiva (média aritmética e desvio-padrão) das variáveis empregadas nos modelos econométricos.....	63
Tabela 11. Resultados das estimações realizadas para o modelo em dados em painel: modelo de desempenho da empresa (variável dependente: EEi, t).....	67
Tabela 12. Resultados das estimações realizadas para o modelo em dados em painel: modelo de alavancagem (variável dependente: $LEVi, t$).....	71

1. INTRODUÇÃO

O setor de açúcar e etanol no Brasil foi marcado historicamente, sobretudo da década de 1930 até o final da década de 1990, pelo planejamento e intervenção do Estado na sua dinâmica de produção. A criação do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) em 1933, os incentivos à modernização tecnológica e à pesquisa, bem como a implantação do Programa Nacional do Alcool (Pró-Alcool) em 1975 são exemplos de ações que resultaram da intervenção do Estado (Vian, Rodrigues e Silva, 2017). Houve mudanças profundas na estrutura e dinâmica do setor a partir do início dos anos 2000, após o processo de desregulamentação e afastamento do Estado ocorrido no fim da década anterior, o qual culminou com a liberalização do mercado de açúcar e etanol no Brasil (Moraes e Zilberman, 2014).

Em termos regionais, observou-se um aumento e concentração da produção na região Centro-Sul do Brasil. Efetivamente, a região Centro-Sul processou, durante a safra 2000/2001, cerca de 207 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. Esse número saltou para 557 milhões de toneladas na safra 2010/2011, representando um aumento de quase 169% no processamento industrial desta matéria-prima (UNICA, 2017). O aumento do processamento de cana-de-açúcar nesse período é resultado da construção de novas unidades industriais. Apenas no período entre 2006 e 2008, foram construídas 84 novas unidades de processamento de cana-de-açúcar no Brasil (Figura 1). Essa expansão foi motivada por diversos fatores, dentre eles, *i*) introdução e consolidação dos veículos *flex-fuel* no mercado doméstico, os quais impulsionaram a demanda pelo etanol; *ii*) expectativa de consolidação de um mercado global de etanol, em que o Brasil figuraria como um dos principais *players*; *iii*) diferenciação tributária do etanol em relação à gasolina; *iv*) tendências de aumentos nos preços do petróleo; e *v*) aumento do interesse internacional pelos biocombustíveis (Rodrigues e Rodrigues, 2018).

Assim sendo, o setor vivenciou um crescimento expressivo, com novos investimentos para expansão da capacidade de produção e construção de novas usinas, primordialmente até 2008. Essa expansão foi financiada, em grande medida, com recursos de terceiros obtidos no mercado internacional (Rezende e Richardson, 2015). Do mesmo modo, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) também teve um papel fundamental no financiamento das usinas do setor sucroenergético brasileiro, tanto na área de pesquisa científica, infraestrutura, financiamento de capital de giro, renovação de canaviais quanto para a construção de novas usinas ou em projetos de expansão. Apesar disso, a crise financeira internacional iniciada em 2008 impactou severamente as usinas, pois houve um aumento do custo da captação e restrições ao crédito, o que reduziu os recursos necessários para sustentar os níveis de produção (Moreira, Pacca e Parente, 2014). Desta forma, após um período de investimentos em novas unidades e de ampliação da capacidade produtiva das usinas já existentes, o setor sucroenergético brasileiro - já com elevado endividamento - foi seriamente impactado pela crise econômica mundial de 2008.

O ônus da dívida impôs restrições de investimentos às usinas, as quais reduziram os níveis de renovação dos canaviais e dos investimentos em tratamentos culturais, o que implicou em redução dos níveis de produtividade agrícola (toneladas de cana por hectare), já comprometidos pelas adversidades climáticas, gerando um aumento da ociosidade industrial. Somaram-se a estes fatores o aumento no custo de produção e o congelamento do preço gasolina no mercado doméstico como política de controle inflacionário pelo governo, entre 2011 e 2014, limitando o preço do etanol (Rodrigues e Rodrigues, 2018; EPE, 2017). Até a descoberta da existência de petróleo na camada Pré-Sal ao longo do litoral brasileiro, o governo foi um

grande divulgador e incentivador de investimentos no setor sucroenergético, em especial na área de biocombustíveis. Após esse período, o setor foi relegado a segundo plano e até mesmo prejudicado pelo controle de preços da gasolina (Costa e Burnquist, 2016). Assim sendo, devido ao lapso temporal entre o início do investimentos e a efetiva entrada em operação dos mesmos, muitos empreendimentos foram iniciados em um período de euforia e entusiasmo pelo setor - justamente quando o governo fazia forte campanha para o seu crescimento - e quando essas usinas entraram em operação o próprio governo alterou o cenário, prejudicando-as. Desta forma, houve instabilidade gerada pelo governo ao estimular a oferta e, num segundo momento, prejudicando a demanda, o que afetou a rentabilidade setorial.

A conjunção destes fatores, atrelado a baixos níveis de preços dos produtos, forçou algumas empresas a entrar em processo de recuperação judicial, decretar falência ou a vender seus ativos, o que também culminou num intenso processo de fusões e aquisições (Montasser, *et al.*, 2015). À medida em que a crise econômica enfrentada pelas usinas começou a se agravar, a partir de 2011, observou-se o fechamento de unidades. Entre 2008 e 2015, acumulou-se o fechamento de 96 empresas. A Figura 1 apresenta o fluxo de unidades que foram criadas (*greenfields*) e fechadas, além da evolução da moagem de cana-de-açúcar, ao longo do período de 2006 a 2015 no Brasil.

Figura 1. Evolução do fluxo histórico de unidades produtoras do setor sucroenergético brasileiro e da moagem de cana-de-açúcar entre 2006 e 2015.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de EPE (2017) e UNICA (2017).

Somado ao fechamento de unidades industriais, entre 2013 e 2015, houve uma estagnação da oferta de matéria-prima, o que limitou a expansão do setor. Ao longo da última década, o setor sucroenergético brasileiro perdeu eficiência e produtividade, cujo quadro se agravou pela expectativa frustrada por melhores preços de açúcar e etanol no período mais recente, especificamente entre 2011 e 2015. Por outro lado, para aumentar a estabilidade do mercado de biocombustíveis e atender a Contribuição Nacionalmente Determinada na COP21, o Brasil criou o RenovaBio em 2017, um programa pelo qual os produtores de biocombustíveis recebem títulos financeiros, os CBIOs, na proporção do volume de produção

e eficiência do biocombustível (Grassi e Pereira, 2019). Desta forma, o RenovaBio e a demanda global por açúcar poderão criar incentivos para a expansão da capacidade produtiva do setor no país.

Neste contexto e com base nestes pontos pouco explorados na literatura sobre a eficiência produtiva e a estrutura de capital das agroindústrias do setor sucroenergético, buscou-se abordar essas questões em um conjunto de dois artigos.

1.1 Objetivos

O objetivo principal deste estudo é analisar a heterogeneidade produtiva das agroindústrias sucroenergéticas brasileiras, em termos de desempenho (eficiência produtiva e produtividade total dos fatores - PTF), e a sua relação com a estrutura de capital destas empresas.

Defiram-se os objetivos específicos, a saber:

- i) Avaliar a evolução da eficiência produtiva das usinas de açúcar e etanol no Brasil;
- ii) Subdividir o índice de produtividade de Malmquist, o qual avalia a variação da produtividade total dos fatores (PTF), em eficiência técnica, mudança técnica, eficiência técnica pura e eficiência de escala, de forma a ter um melhor entendimento do comportamento desta variável;
- iii) Analisar a hipótese de que, em termos médios, as usinas de açúcar e etanol no Brasil possuem diferenças significativas nos níveis de eficiência produtiva, configurando o setor sucroenergético como heterogêneo;
- iv) Analisar as relações dinâmicas entre a eficiência produtiva das usinas e a sua estrutura de capital, bem como a sua causalidade reversa;
- v) Examinar se a alavancagem financeira tem um efeito positivo sobre a eficiência técnica e se o efeito reverso - da eficiência sobre a alavancagem - é semelhante em todo o espectro de diferentes estruturas de capital.

1.2 Organização do estudo

Neste capítulo fez-se uma descrição introdutória do problema a ser estudado, enfatizando a importância do estudo e justificando a escolha do tema proposto, bem como apresentando, sinteticamente, os objetivos gerais e específicos do trabalho. Em seguida, são desenvolvidos dois artigos em continuidade ao tema proposto.

No primeiro artigo, apresentado no segundo capítulo deste trabalho, avalia-se a evolução da eficiência produtiva entre as usinas de açúcar e etanol no Brasil durante o período de 2006 e 2015, utilizando-se da Análise Envoltória de Dados (DEA) e do índice de Malmquist e suas decomposições.

Utilizando-se o escore médio de eficiência obtido no primeiro artigo, no segundo artigo, no terceiro capítulo deste trabalho, realiza-se uma análise do efeito da alavancagem financeira sobre o desempenho da empresa e vice-versa, além de discutir os determinantes do nível de endividamento das agroindústrias sucroenergéticas entre 2006 e 2015.

No quarto e último capítulo deste trabalho serão feitas as considerações finais buscando comparar, complementar e relacionar as conclusões feitas em cada um dos artigos.

Referências

- COSTA, C. C. DA; BURNQUIST, H. L. Impactos do controle do preço da gasolina sobre o etanol biocombustível no Brasil. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 46, n. 4, p. 1003–1028, 2016.
- EPE. **Cenários de oferta de etanol e demanda do Ciclo Otto: Versão Estendida 2018-2030**. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/cenarios-oferta-etanol-e-demanda-ciclo-otto>>.
- FERRAZ DIAS DE MORAES, M. A.; ZILBERMAN, D. The Free Market: The Profound Changes and the New Agenda. *In*: **Production of Ethanol from Sugarcane in Brazil**. Cham: Springer International Publishing, 2014. p. 149–193.
- GRASSI, M. C. B.; PEREIRA, G. A. G. Energy-cane and RenovaBio: Brazilian vectors to boost the development of Biofuels. **Industrial Crops and Products**, v. 129, p. 201–205, 2019.
- MONTASSER, G. EL *et al.* Are there multiple bubbles in the ethanol-gasoline price ratio of Brazil? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 19–23, 2015.
- MOREIRA, J. R.; PACCA, S. A.; PARENTE, V. The future of oil and bioethanol in Brazil. **Energy Policy**, v. 65, p. 7–15, 2014.
- REZENDE, M. L.; RICHARDSON, J. W. Economic feasibility of sugar and ethanol production in Brazil under alternative future prices outlook. **Agricultural Systems**, v. 138, p. 77–87, 2015.
- RODRIGUES, L.; RODRIGUES, L. Economic-financial performance of the Brazilian sugarcane energy industry: An empirical evaluation using financial ratio, cluster and discriminant analysis. **Biomass and Bioenergy**, v. 108, n. April, p. 289–296, 2018.
- UNICA - UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **UNICADATA**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br>>. Acesso em: 11 ago. 2017.
- VIAN, C. E. F.; RODRIGUES, L.; SILVA, H. J. T. Evolution in Public Policies Designed to Develop the Sugar–Energy Industry in Brazil. *In*: CHANDEL, A.; SILVEIRA, M. H. L. (Eds.). . **Advances in Sugarcane Biorefinery. Technologies, Commercialization, Policy Issues and Paradigm Shift for Bioethanol and By-Products**. 1. ed. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 279–306.

2. HETEROGENEIDADE PRODUTIVA DAS USINAS DE AÇÚCAR E ETANOL NO BRASIL

Resumo

O desenvolvimento da indústria de biocombustíveis, em especial do etanol, como fonte de energia sustentável abre espaço para o fortalecimento do setor sucroenergético nacional. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é avaliar a evolução da eficiência produtiva entre as usinas de açúcar e etanol no Brasil durante o período de 2006 e 2015. Para tanto, utiliza-se da Análise Envoltória de Dados (DEA) e do índice de Malmquist e suas decomposições. Os resultados indicam que não há um padrão único e bem definido de eficiência e produtividade entre as empresas do setor ao longo do período avaliado, configurando-o como heterogêneo sob o ponto de vista de práticas de gestão e adoção tecnológica. Adicionalmente, observa-se que se intensificou a diferença entre as empresas, de forma que coexistem empresas tecnologicamente atrasadas e com baixos níveis de eficiência, em oposição a empresas eficientes e que empregam modernas práticas de gestão e tecnologias. Por fim, nota-se também uma redução dos níveis de produtividade e intensa variabilidade desta ao longo do período analisado.

Palavras-chave: Eficiência; Produtividade; DEA; Setor sucroenergético; Códigos de Classificação JEL; C14; D24; I23

Abstract

The development of the biofuels industry, especially ethanol, as a sustainable energy source opens space for the strengthening of the national sugar-energy industry. In this context, the objective of the present work is to evaluate the evolution of the productive efficiency between the sugar and ethanol mills in Brazil during the period of 2006 and 2015, using Data Envelopment Analysis (DEA) and the Malmquist index and its decompositions. The results indicate that there is not a single and well-defined pattern of efficiency and productivity among the companies in the industry during the period evaluated, configuring it as heterogeneous from the management practices and technological adoption point of view. In addition, the difference between companies has intensified, so that technologically backward companies with low levels of efficiency coexist, as opposed to efficient companies that employ modern management practices and technologies. Finally, there is also a reduction in productivity levels and intense variability over the analyzed period.

Keywords: Efficiency; Productivity; DEA; Sugar-energy industry

2.1. Introdução

Através da inovação tecnológica nos últimos 40 anos, o Brasil que já era um grande produtor de açúcar, emergiu como um dos principais produtores de biocombustíveis do mundo, com destaque para o etanol da cana-de-açúcar. No entanto, não houve mudança radical no processo de produção (do açúcar e do etanol) ao longo do tempo. Assim, pode-se apontar que foi por meio de progresso tecnológico incremental que esse fenômeno ocorreu e, neste sentido, houve redução substancial nos custos de produção, tanto nas etapas agrícolas como industriais, em consonância com o aumento de produção (Hall *et al.*, 2011; Silva e Marques, 2017). O próprio Programa Nacional de Álcool (Proálcool) é um exemplo dessa trajetória de aprendizagem tecnológica baseada em inovações incrementais (Furtado, Scandiffio e Cortez, 2011).

O dinamismo e desenvolvimento do setor sucroenergético, inicialmente, esteve estabelecido no Estado de São Paulo em função de uma gama de fatores, dentre eles, recursos naturais, melhor estrutura logística, proximidade do mercado consumidor, diferencial tributário do etanol em relação à gasolina e, principalmente, um sistema regional de inovação que reunia produtores, fabricantes de bens de capital, universidades e centros de pesquisas.

A pesquisa agrícola no Brasil é, predominantemente, financiada pelo setor público, o qual representa cerca de 89% dos esforços em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) neste segmento. Não obstante, o sistema de inovação da agroindústria da cana-de-açúcar é marcado pela intensa interação de agentes, os quais figuram fora do setor público, desde a década de 1990. Desta forma, contrariamente às demais cadeias produtivas da agricultura brasileira, o setor privado tem contribuído tanto para a solução de problemas quanto para o financiamento e execução de pesquisa na cana-de-açúcar. Um exemplo típico é o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), uma instituição privada, a qual se dedica ao desenvolvimento de novas variedades, sendo estas, mais resistentes a pragas e doenças e mais adaptadas ao clima e solos do país (Beintema, Avila e Pardey, 2001; Furtado, Scandiffio e Cortez, 2011).

Apesar da intensa tradição do país neste setor, existem importantes estrangulamentos tecnológicos que permanecem no topo da agenda empresarial de cada empresa (Salles-Filho *et al.*, 2016). No período mais recente, os desafios para a expansão da produção de açúcar e etanol se concentraram na necessidade de incremento de produtividade agrícola, inovação genética para acúmulo de sacarose na cana-de-açúcar, redução dos níveis de impureza mineral e vegetais levados do campo à indústria e tecnologias para produção de etanol de segunda geração. Isso evidencia que ainda há potencialidades e novos desafios no sistema de inovação do setor sucroenergético, cujo desenvolvimento deverá se pautar em novos instrumentos e tecnologias de baixo impacto ambiental e baixas emissões de carbono.

A despeito deste cenário, o movimento das empresas ainda é relativamente lento no enfrentamento dos novos desafios tecnológicos, com ênfase para os biocombustíveis. O setor de açúcar e etanol se caracteriza, simultaneamente, como competitivo e conservador em relação à inovação. No caso deste último, os esforços das empresas são modestos, bem como as adaptações das estruturas internas com vistas à ampliação da capacidade tecnológica (Salles-Filho *et al.*, 2017).

A produção de cana-de-açúcar, bem como a dos seus derivados (açúcar e etanol) tem seguido estágios de produção cada vez mais integrados, com maiores níveis de mecanização, utilização de insumos químicos, capacidade de transporte e substituição de mão-de-obra por processos intensivos em capital (Compeán e Polenske, 2011). Em alternativa, trata-se de um setor bastante heterogêneo tanto em aspectos técnicos quanto econômicos, o que faz com que as empresas deste setor tenham níveis de eficiência bastante distintos entre si. As usinas não estão no seu potencial máximo, havendo espaço para se obter a máxima eficiência, considerando a alocação ideal dos recursos disponíveis (Pereira e Silveira, 2016).

A mensuração dos níveis de eficiência tem sido um assunto de grande interesse das organizações, principalmente num contexto em que se buscam ganhos de produtividade em ambientes extremamente competitivos, tais como nas cadeias do agronegócio. Os fatores associados ao crescimento da produtividade podem estar associados à eficiência técnica, bem como à saltos tecnológicos. Desta forma, a identificação destes fatores é fundamental para a formulação de políticas públicas e privadas (Cook e Seiford, 2009; Farrell, 1957; Lovell, 1993).

Algumas pesquisas sobre a Produtividade Total dos Fatores (PTF) sublinharam o sucesso do país em obter vantagens competitivas pela via da inovação. Gasques *et al.* (2012) ao analisar o crescimento da PTF agrícola brasileira revelaram que entre 1970 e 2006, o uso de insumos aumentou 53%, ao passo que produção agrícola aumentou 243%. Entre 1995 a 2006, 32% do crescimento da agricultura no Brasil foi explicado pelo aumento na utilização de insumos, enquanto que 68% do crescimento pode ser atribuído a inovações.

Há diferentes sistemas de produção de cana-de-açúcar e, consequentemente, diferentes níveis tecnológicos e de eficiência entre as usinas no Brasil. Por exemplo, há intensiva utilização de mão-de-obra no processo produtivo na região Nordeste, em função dos baixos níveis de plantio e colheita mecanizados, diferentemente da região Centro-Sul em que os processos de produção são quase que, integralmente, mecanizados. A produtividade agrícola na região Nordeste, ao longo dos últimos anos, tem permanecido em patamares inferiores ao da região Centro-Sul, refletindo-se num custo de produção da matéria-prima quase que 23% superior ao das usinas do Centro-Sul (Rosa *et al.*, 2017).

As divergências técnicas e econômicas entre as agroindústrias canavieiras no Brasil são explicadas pelo hiato tecnológico entre elas, qualidade da gestão comercial, custo médio de aquisição e produção da matéria-prima, fenômenos econômicos e institucionais, diferentes práticas de pesquisa e desenvolvimento, escala, localização geográfica, sinergias entre diferentes cadeias de valor, dentre outros fatores. Adicionalmente, somam-se os efeitos da capacidade financeira das empresas para investir em práticas e tecnologias modernas. No entanto, como essas diferenças implicam em resultados técnicos e econômicos divergentes entre as usinas? O que causa essa disparidade individualmente e como isso se reflete nos níveis de eficiência entre as empresas? É neste contexto que se insere esta pesquisa.

Busca-se lançar luz sobre os questionamentos acima levantados, colaborando para uma melhor compreensão de quais variáveis afetam a eficiência das empresas. Desta forma, o objetivo deste trabalho é avaliar a evolução da eficiência produtiva e da produtividade total dos fatores (PTF) para as usinas de açúcar e etanol no Brasil durante o período de 2006 e 2015, utilizando-se da Análise Envoltória de Dados (DEA) e do índice de Malmquist. A hipótese central reside no fato de que não há um padrão único e bem definido de eficiência e produtividade entre as empresas do setor ao longo do tempo, configurando-o como heterogêneo sob o ponto de vista de práticas de gestão e adoção tecnológica.

Em outras palavras, a hipótese que norteia este trabalho considera que as indústrias de açúcar e etanol no Brasil:

H_0 : Em termos médios, possuem os mesmos níveis de eficiência técnica;

H_1 : Em termos médios, possuem diferenças significativas nos níveis de eficiência técnica.

2.2. Revisão de Literatura

A eficiência é um conceito primordial no âmbito da teoria neoclássica, estando relacionada, em grande medida, ao problema da alocação ideal dos recursos. Ela diz respeito ao máximo produto que pode ser obtido, considerando um determinado conjunto de recursos ou insumos ou a um produto alvo a ser obtido a partir do menor nível de insumos e, consequentemente, de dispêndio. Em outras palavras, trata-se de uma comparação entre valores observados e valores ótimos de insumos e produtos. Por outro lado, a produtividade

é conhecida pela relação entre as quantidades de insumos e produtos (Delgado e Machado, 2007; Shirota, 1996; Tupy e Yamaguchi, 1998).

É imprescindível compreender como se dá o comportamento da produtividade ao longo do tempo, bem como as variáveis responsáveis pelo seu condicionamento e que determinam a sua trajetória. Diversos trabalhos dedicaram-se a compreender os fatores associados à eficiência, e que levam ao crescimento econômico, a partir de duas abordagens, a saber: *Data Envelopment Analysis* (DEA) e *Stochastic Frontier Analysis* (SFA). O primeiro é baseado em técnicas de programação linear, enquanto que o último é um método paramétrico baseado em técnicas estatísticas. A ideia central reside na estimação ou identificação de uma fronteira de desempenho de melhor prática, a qual servirá de referência para a medida de performance individual das empresas.

Cabe destacar alguns trabalhos que se dedicaram a essa temática e com ênfase no setor sucroenergético, isto é, especificamente, ao setor de produção de cana-de-açúcar e seus derivados (açúcar, etanol e bioeletricidade). Internacionalmente, Onour (2015) estimou a eficiência técnica dos principais produtores de açúcar do Sudão, a partir de uma fronteira estocástica, considerando três insumos: capital, trabalho e área irrigada. O trabalho identificou uma ineficiência técnica de aproximadamente 8%, implicando numa perda média anual de 5.000 toneladas de açúcar para cada um dos 4 (quatro) principais produtores governamentais. Uma das fontes de ineficiência é a má administração dos insumos de produção, dentre eles, a mão-de-obra empregada, que apresenta rendimentos decrescentes à escala, e o capital disponível, o qual exibiu rendimentos crescentes à escala. Nesta mesma linha, seguem os trabalhos de Johnson, Zapata e Heagler (1995), Reddy e Yanagida (1999), Khanna (2006) e Ali e Jan (2017).

Para o caso brasileiro, Rodrigues *et al.* (2016) analisaram a eficiência técnica dos produtores de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, considerando uma fronteira estocástica de produção. O fator de produção terra foi o que mais influenciou a produção e a eficiência técnica do setor canavieiro no Estado de São Paulo. Os autores concluíram que o uso de carregadeiras, de sementes melhoradas, de adubação verde e de assistência técnica contribuíam para o incremento da eficiência produtiva.

Em relação ao emprego da metodologia de Análise Envoltória de Dados (DEA), pode-se citar os trabalhos de: Cano e Tupy (2005), Pachiell (2009), Macedo, Cípola e Ferreira (2010), Brunozi Júnior *et al.* (2012), Carlucci (2012), Xavier (2014), Salgado Junior *et al.* (2014), Lemos *et al.* (2016), Pereira e Silveira (2016), Braga (2016) e Pereira e Tavares (2017). A Tabela 1 sintetiza os trabalhos desses autores.

Destes destacam-se os trabalhos de Pereira e Silveira (2016) que utilizaram o índice de Malmquist para analisar a produtividade total dos fatores e seus componentes para 17 (dezessete) usinas da região Centro-Sul do Brasil durante o período de 2001 a 2008. Nesta amostra, os ganhos de produtividade observados nas agroindústrias decorreram sobretudo da mudança técnica, isto é, do avanço tecnológico. O trabalho de Braga (2016) que analisou o nível de eficiência técnica das usinas sucroenergéticas brasileiras para a safra 2011/2012. Os resultados encontrados sugeriram, naquele momento, um nível médio de eficiência superior a 90%. Por outro lado, a correção das ineficiências poderia gerar mais de R\$ 7,0 bilhões, resultantes do incremento da produção de açúcar e etanol. E, por fim, o trabalho de Pereira e Tavares (2017) que avaliaram a eficiência das principais regiões produtoras de cana-de-açúcar com base nos custos de produção das safras 2007/2008 a 2011/2012. A eficiência técnica média, sob retornos variáveis à escala, foi de 99%, enquanto que a eficiência média de escala foi de 65%, demonstrando problemas com escala de produção nas regiões analisadas.

Conforme se observa na Tabela 1, a maior parte dos trabalhos se dedicou à análise da eficiência das empresas do setor sucroenergético para uma única safra. O presente artigo também lança mão da metodologia DEA e o integra ao o índice de Malmquist para avaliar a eficiência produtiva e da produtividade total dos fatores das usinas de açúcar e etanol no Brasil. Por outro lado, avança na inclusão de um período mais longo de análise, além de captar os efeitos de eficiência, produtividade e suas decomposições.

Tabela 1. Síntese dos trabalhos encontrados na literatura brasileira sobre a eficiência do setor sucroenergético utilizando o ferramental empírico da DEA.

Referência	Objetivo	Amostra	Período de Análise	Modelo	Inputs (unidade)	Outputs (unidade)
Cano e Tupy (2005)	Avaliação da eficiência produtiva da agroindústria canavieira paulista	125 empresas do estado de São Paulo	Safra 2001/2002	DEA, VRS (BCC), com orientação a insumo	- Moagem de Cana-de-Açúcar (t) - Funcionários dos depts. administrativo e industrial (nº) - Estoques (R\$)	- Produção de Etanol (m³) - Produção de Açúcar (t)
Pachiel (2009)	Determinar o grau de eficiência das usinas de cana-de-açúcar	17 empresas do estado de São Paulo	Safra 2006/2007	DEA, CRS (CCR) e VRS (BCC), com orientação a insumo	- Imobilizado (R\$) - Salários (R\$)	- Faturamento Bruto (R\$)
Macedo, Cípola e Ferreira (2010)	Verificar a eficiência de cada usina na conversão da capacidade de investimento (input) em benefícios socioambientais (outputs)	9 empresas no Brasil	Ano civil de 2004 a 2006	DEA, CRS (CCR), com orientação a output	- Receita líquida (R\$)	- Investimentos em Meio Ambiente (R\$) - Indicadores Sociais Internos (R\$) - Indicadores Sociais Externos (R\$)
Brunozi Júnior <i>et al.</i> (2012)	Mensurar o desempenho das usinas a partir de medidas de eficiência técnica e de escala	17 empresas do estado de São Paulo	Safra 2008/2009	DEA, CRS (CCR) e VRS (BCC), com orientação a insumo	- Estoques (R\$) - Imobilizado (R\$) - Salários (R\$)	- Faturamento Bruto (R\$)
Carlucci (2012)	Verificar o impacto das variáveis tamanho e localização na eficiência operacional de usinas de cana-de-açúcar	355 empresas no Brasil	Safra 2008/2009	DEA, VRS (BCC), com orientação a output	- Moagem de Cana-de-Açúcar (t)	- Produção de Etanol (m³) - Produção de Açúcar (t)
Xavier (2014)	Desenvolver e aplicar um critério para mensurar a eficiência econômica da produção do setor sucroenergético	67 empresas no Brasil	Safra 2012/2013	DEA, CRS (CCR), com orientação a insumo	- Áreas de terra (ha) - ATR comprado (t) - Funcionários dos depts. administrativo e industrial (nº)	- ATR Açúcar (t) - ATR Etanol (t) - Produção de Eletricidade (MWh)
Salgado Junior <i>et al.</i> (2014)	Elaborar um mapa de potencial agrícola para investir em novas fábricas de cana no Brasil	355 empresas no Brasil	Safra 2008/2009	DEA, VRS (BCC), com orientação a output	- Moagem de Cana-de-Açúcar (t)	- Produção de Etanol (m³) - Produção de Açúcar (t)
Lemos <i>et al.</i> (2016)	Verificar as localizações que obtiveram maiores índices de eficiência na relação campo - indústria	352 empresas no Brasil	Safras de 2005/2006 a 2014/2015	DEA, VRS (BCC), com orientação a output	- Moagem de Cana-de-Açúcar (t)	- Produção de Etanol (m³) - Produção de Açúcar (t)
Pereira e Silveira (2016)	Analisar a Produtividade Total dos Fatores (PTF) e seus componentes	17 empresas da região Centro-Sul	Ano civil de 2001 a 2008	DEA-Malmquist, VRS (BCC), com orientação a insumo	- Moagem de Cana-de-Açúcar (t) - Funcionários do dep. industrial (nº)	- Produção de Etanol (m³) - Produção de Açúcar (t)
Braga (2016)	Análise do nível de eficiência das usinas de cana-de-açúcar brasileiras, focando na análise da eficiência industrial	117 empresas no Brasil	Safra 2011/12	DEA, VRS (BCC), com orientação a output	- Moagem de Cana-de-Açúcar (t) - Empregados dentro da usina (nº) - Mecanização (R\$/ha) - Mão-de-obra (R\$/ha)	- Produção de Etanol (m³) - Produção de Açúcar (t)
Pereira e Tavares (2017)	Identificar a eficiência técnica e de escala das principais regiões produtoras de cana-de-açúcar	3 Regiões do Brasil (Tradicional, Expansão e Nordeste)	Safras de 2007/2008 a 2011/2012	DEA, CRS (CCR), com orientação a insumo	- Insumos R\$/ha) - Arrendamentos (R\$/ha) - Despesas administrativas (R\$/ha) - Rem. do capital e da terra (R\$/ha)	- Produção de cana-de-açúcar (t)

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3. Metodologia

Esta seção tem como objetivo apresentar o ferramental utilizado neste trabalho. Num primeiro momento, faz-se o detalhamento da Análise Envolvória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA), a qual trata do conceito de fronteira eficiente. Posteriormente, discute-se o índice de Malmquist, o qual mede a evolução da produtividade no tempo. Esta seção apresentará os principais conceitos ligados a estas temáticas técnicas.

2.3.1. Análise envoltória de dados

A Análise Envolvória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA) é um método não-paramétrico de mensuração da eficiência através de programação linear¹. A sua aplicação reside na obtenção da eficiência técnica relativa entre as unidades operacionais ou tomadoras de decisão (DMUs)², a partir dos recursos utilizados (múltiplas entradas – *inputs*) e de bens produzidos (múltiplas saídas – *outputs*) (Aldamak, Abdullah; Zolfaghari, 2017). Sua origem está associada aos trabalhos de Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e Banker, Charnes e Cooper (1984), ambos baseados no conceito de eficiência apresentado por Farrell (1957).

A DEA permite que cada unidade no conjunto de dados tenha sua própria função de produção e, na sequência, avalia-se a eficiência de cada unidade comparativamente às demais unidades do conjunto de dados. Em outras palavras, permite-se otimizar individualmente cada unidade em relação às demais, formando uma fronteira eficiente. A fronteira é definida pelo conceito de Pareto-Koopmans, segundo o qual é impossível obter alguma melhoria no uso de qualquer *input* ou obtenção de *output* sem piorar algum dos outros *inputs* e/ou *outputs* (Mirdehghan e Fukuyama, 2016).

Uma das vantagens dos modelos DEA não paramétricos é a sua flexibilidade, bem como a imposição de poucas hipóteses sobre o comportamento das variáveis e que, consequentemente, não implicam em nenhuma forma funcional *a priori* para a fronteira de produção (Delgado e Machado, 2007). Além disso, outra vantagem em relação aos métodos paramétricos, está na possibilidade de identificação das unidades em termos de eficiência, através dos escores de eficiência gerados pelo modelo. Alguns autores, pelos motivos supramencionados, alegam predileção pela DEA como técnica não-paramétrica, em relação aos modelos paramétricos, tal como a fronteira de produção estocástica (Abramo, Cicero e D'Angelo, 2011; Bonaccorsi e Daraio, 2004; Chen, Delmas e Lieberman, 2015).

A partir de um conjunto de dados, os quais determinam a combinação entre *inputs* e *outputs*, pode-se definir a medida de eficiência como a distância de um ponto à sua projeção na função fronteira. Os índices de eficiência são medidas comparativas entre as DMUs analisadas. A função distância $D(x, y)$ poderá assumir valores menores ou iguais a 1 (um). Uma empresa é eficiente se: $D(x, y) = 1$, de forma que estará sobre a fronteira de produção.

A análise de eficiência e, consequentemente, a sua mensuração através da função distância, depende da sua orientação (*input* ou *output*). A abordagem originalmente apresentada por Farrell (1957) considera a orientação insumo, a qual caracteriza a tecnologia de produção pela minimização proporcional do vetor insumo, dado um nível fixo de produção – *Farrell-eficiência*. Por outro lado, a orientação produto caracteriza a tecnologia de produção pela

¹ Sugere-se a consulta de Coelli (1998) para o detalhamento da programação matemática e das premissas associadas à resolução e obtenção dos escores de eficiência pelo método DEA.

² As unidades produtivas, isto é, as unidades operacionais ou tomadoras de decisão sob análise serão denominadas de DMUs, da sigla em inglês *Decision Making Units*.

maximização proporcional do vetor produto, a partir de uma dada quantidade de insumos – *Shephard-eficiência* (Clemente, Gomes e Lício, 2015).

A delimitação da fronteira de produção está assentada em algumas propriedades microeconômicas, com destaque para a livre disponibilidade de insumos, a possibilidade de combinação convexa dos fatores de produção e o tipo de retornos de escala. Neste contexto, as questões relacionadas aos efeitos na quantidade produzida do aumento da escala dos fatores produtivos, resultam em dois modelos explicados a seguir.

O primeiro desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) foi denominado de CCR (iniciais dos nomes dos autores) ou CRS - *Constant Returns to Scale*. Neste modelo, assume-se retornos constantes à escala, em que uma variação de todos os fatores de produção leva uma variação proporcional do nível de produção total. Em função desta hipótese, a fronteira de eficiência é definida pela bissetriz do primeiro quadrante (reta com um ângulo de 45° passando pela origem dos eixos cartesianos).

O segundo de Banker, Charnes e Cooper (1984), denominado BCC ou também por modelo VRS - *Variant returns to scale* - relaxa a hipótese de tecnologia com retornos constantes e admite que as DMUs apresentem retornos variáveis à escala. Desta forma, é possível que um incremento no input promova um incremento no output, não necessariamente proporcional. A eficiência total ou produtiva é derivada do modelo CCR, enquanto que o modelo BCC fornece a eficiência técnica (Pérez-López, Prior e Zafra-Gómez, 2017). A eficiência de escala (ES), a qual corresponde às variações de produtividade em função das alterações na escala de produção, pode ser calculada pela divisão da eficiência total pela eficiência técnica, conforme Equação (1).

$$ES = \frac{ET_{CCR}(X_k, Y_k)}{ET_{BCC}(X_k, Y_k)} \quad (1)$$

Em que $ET_{CCR}(X_k, Y_k)$ é eficiência técnica com retornos constantes à escala (CCR) e $ET_{BCC}(X_k, Y_k)$ é a eficiência técnica com retornos variáveis (BCC).

2.3.2. Índice de produtividade de Malmquist

Caves, Christensen e Diewert (1982), baseado em Malmquist (1953), desenvolveram um índice para mensurar a variação da produtividade de uma DMU ao longo do tempo. O índice de Malmquist (IM), a partir desta abordagem, leva à derivação da produtividade em mudanças de eficiências técnicas e tecnológicas. O índice é capaz de medir a variação da produtividade total dos fatores de uma DMU, entre diferentes períodos de tempo, e decompô-la em mudança de eficiência e mudança técnica.

O índice de produtividade de Malmquist (IM) avalia a variação da produtividade total dos fatores de uma DMU entre dois períodos de tempo, sendo definido como o produto das alterações da eficiência (*catch-up*) e das alterações tecnológicas (inovação). Tratam-se de dois fatores que tem capacidade para alterar a produtividade intertemporalmente. Dada uma tecnologia disponível, o efeito de *catch-up* ou efeito de recuperação corresponde ao processo de melhoria na utilização dos insumos na obtenção de produto, aproximando a DMU da fronteira de eficiência (mudança pura de eficiência). Por outro lado, há o deslocamento da fronteira de eficiência no tempo, o qual reflete o segundo efeito e as alterações na tecnologia (Maciel, Piza e Penoff, 2009).

Neste estudo, a variação da produtividade será calculada através dos índices de Malmquist, seguindo a abordagem de Färe *et al.* (1994). Estes autores desenvolveram e integraram o IM na DEA. Desde então, há vários

estudos de mudanças da produtividade ao longo do tempo em diferentes campos, por exemplo, na área energética e de gases de efeito estufa (Huang, Du e Hao, 2017; Pérez, González-Araya e Iriarte, 2017), na avaliação de algumas empresas e setores da economia, tais como, petrolíferas (Sueyoshi e Goto, 2015), semicondutores (Liu e Wang, 2008), indústria de computadores (Chen e Ali, 2004), escritórios fiscais (Fuentes e Lillo-Bañuls, 2015), produção de grãos (Odeck, 2009) e aeroportos (Nicola, Gitto e Mancuso, 2013).

Há uma vasta gama de trabalhos na literatura que discutem e aplicam a técnica de fronteira não paramétrica de cálculo da produtividade baseada no índice de Malmquist, para diferentes campos e áreas de atuação, conforme supramencionado. Adicionalmente, o método de Malmquist-DEA é particularmente adequado para lidar com dados em painel e são capazes de analisar a mudança no desempenho ao longo do tempo (Li, Crook e Andreeva, 2017).

Este trabalho aplica os escores da DEA de Malmquist às usinas do setor sucroenergético brasileiro, levando em consideração a dimensão do tempo e preenchendo uma lacuna na literatura das aplicações DEA e a modelagem de eficiência produtiva para o setor no país. A descrição a seguir se embasa principalmente nos trabalhos de Caves, Christensen e Diewert (1982), Färe *et al.* (1994) e Färe *et al.* (1992).

Baseados no índice de produtividade de Malmquist (Malmquist, 1953), Caves, Christensen e Diewert (1982) definiram uma função distância $D(\cdot)$ para calcular a eficiência técnica (ET). Considerando que $\mathbf{x}_0^t$ e $\mathbf{y}_0^t$ representam os vetores de insumos e produtos no período t , respectivamente, para uma DMU_0 , a eficiência relativa da DMU_0 no período t , $D_0^t(\mathbf{x}_0^t, \mathbf{y}_0^t) = \theta_0^*$, é calculada como a quantidade pela qual o insumo $\mathbf{x}_0$ pode ser reduzido, ao produzir um nível de produto $\mathbf{y}_0$, em comparação com a empresa mais eficiente na fronteira. Da mesma forma, $D_0^{t+1}(\mathbf{x}_0^{t+1}, \mathbf{y}_0^{t+1}) = \theta_0^*$, é a medida de eficiência em $t + 1$. Para múltiplos períodos, $D_0^t(\mathbf{x}_0^{t+1}, \mathbf{y}_0^{t+1})$ e $D_0^{t+1}(\mathbf{x}_0^t, \mathbf{y}_0^t)$ são as medidas de eficiência utilizando um conjunto de insumos e produtos em um período, $t + 1$ e t , respectivamente, em comparação com a fronteira do outro período, t e $t + 1$, respectivamente.

O índice de produtividade de Malmquist (IM) pode ser decomposto em dois componentes, a saber, i) medida das mudanças de eficiência (ET) e ii) medida das mudanças técnicas ou alterações equivalentes na tecnologia de fronteira (MT). Portanto, a partir da decomposição do IM, é possível determinar o incremento da eficiência relativa entre dois períodos de tempo ao esforço individual de cada agente (DMU, por exemplo) e à inovação da indústria. Seguindo a abordagem apresentada por Färe *et al.* (1992), o IM orientado para o insumo para medir as mudanças de produtividade, entre o período t e $t + 1$, de DMU_0 é dado pela média geométrica de dois quocientes de funções distância - equação (2):

$$IM_0 = \left[\frac{D_0^t(\mathbf{x}_0^{t+1}, \mathbf{y}_0^{t+1})}{D_0^t(\mathbf{x}_0^t, \mathbf{y}_0^t)} \cdot \frac{D_0^{t+1}(\mathbf{x}_0^{t+1}, \mathbf{y}_0^{t+1})}{D_0^{t+1}(\mathbf{x}_0^t, \mathbf{y}_0^t)} \right]^{1/2} \quad (2)$$

O resultado numérico da expressão matemática dada pela equação (2) pode assumir três valores, a saber: i) maior do que 1,0 – indica que houve crescimento de produtividade entre os períodos analisados (DMU_0 é mais produtiva em relação ao período inicial); ii) menor do que 1,0 - indica que houve declínio de produtividade entre os períodos analisados e iii) igual a 1,0 - indica que a produtividade manteve-se constante entre os períodos analisados (Liu e Wang, 2008).

As distâncias do índice de Malmquist podem ser calculadas através de técnicas paramétricas, conforme apresentado por Aigner e Chu (1968), ou através de uma abordagem não-paramétrica como a DEA (Análise

Envoltória de Dados) e seguindo os procedimentos de Färe *et al.* (1994). Neste estudo será utilizada a última abordagem.

O IM emprega as funções distância de dois períodos distintos ou tecnologias, $D_0^t(\cdot, \cdot)$ e $D_0^{t+1}(\cdot, \cdot)$, dois pares de vetores insumo-produto $(\mathbf{x}_0^t, \mathbf{y}_0^t)$ e $(\mathbf{x}_0^{t+1}, \mathbf{y}_0^{t+1})$, e pode ser decomposto em dois componentes, conforme a equação (3):

$$IM_0 = \frac{D_0^{t+1}(\mathbf{x}_0^{t+1}, \mathbf{y}_0^{t+1})}{D_0^t(\mathbf{x}_0^t, \mathbf{y}_0^t)} \left[\frac{D_0^t(\mathbf{x}_0^{t+1}, \mathbf{y}_0^{t+1})}{D_0^{t+1}(\mathbf{x}_0^{t+1}, \mathbf{y}_0^{t+1})} \cdot \frac{D_0^t(\mathbf{x}_0^t, \mathbf{y}_0^t)}{D_0^{t+1}(\mathbf{x}_0^t, \mathbf{y}_0^t)} \right]^{1/2} \quad (3)$$

Em que o quociente fora dos colchetes na equação (3) é um índice de mudança na eficiência relativa (eficiência técnica – ET). As proporções dentro dos colchetes mensuram um índice de progresso tecnológico (mudança técnica – MT), enquanto deslocamento da fronteira tecnológica entre os períodos t e $t + 1$. A eficiência técnica (ET) é dada pela equação (4), ao passo que a equação (5) apresenta a mudança técnica (MT).

$$ET = \frac{D_0^{t+1}(\mathbf{x}_0^{t+1}, \mathbf{y}_0^{t+1})}{D_0^t(\mathbf{x}_0^t, \mathbf{y}_0^t)} \quad (4)$$

$$MT = \left[\frac{D_0^t(\mathbf{x}_0^{t+1}, \mathbf{y}_0^{t+1})}{D_0^{t+1}(\mathbf{x}_0^{t+1}, \mathbf{y}_0^{t+1})} \cdot \frac{D_0^t(\mathbf{x}_0^t, \mathbf{y}_0^t)}{D_0^{t+1}(\mathbf{x}_0^t, \mathbf{y}_0^t)} \right]^{1/2} \quad (5)$$

A eficiência técnica é uma função que mede a fronteira de produção, no caso de orientação ao insumo, na redução dos insumos utilizados no processo produtivo (Pereira e Silveira, 2016). Em outras palavras, isolando-se o efeito da eficiência de escala - equação (1), a eficiência técnica corresponde à componente da eficiência produtiva associada à capacidade gerencial de administração da empresa. Por outro lado, a eficiência produtiva pode ser decomposta em eficiência de escala e eficiência técnica.

De forma a facilitar a compreensão das medidas de eficiência, a Tabela 2 apresenta uma síntese das variáveis que são apresentadas e analisadas neste artigo.

Tabela 2. Resumo das medidas de eficiência e suas definições.

Termo	Definição	Valores ¹
Eficiência	A eficiência é um conceito relacionado ao problema da alocação ideal dos recursos. Ela diz respeito ao máximo produto que pode ser obtido, considerando um determinado conjunto de recursos ou insumos ou a um produto alvo a ser obtido a partir do menor nível de insumos e, conseqüentemente, de dispêndio. Em outras palavras, trata-se de uma comparação entre valores observados e valores ótimos de insumos e produtos.	-
Eficiência Econômica	Eficiência econômica é dada ao se estabelecer uma meta para o produto e definir a forma de consegui-lo, despendendo os menores custos. Para compreender este conceito é preciso distinguir dois tipos de eficiência: a eficiência técnica e a eficiência alocativa. A eficiência técnica ocorre quando, dada uma certa quantidade de insumos e definida uma tecnologia, o produto máximo é alcançado, isso equivale a dizer que a firma está “sobre” a Fronteira de Possibilidades de Produção. Já a eficiência alocativa leva em consideração a relação de preços dos insumos ou produtos, uma firma possui eficiência alocativa, na orientação de insumos, quando sua produtividade marginal se iguala à relação de preço de seus insumos.	-
Eficiência Técnica (ET)	Capacidade de produzir o máximo de produtos a partir de um dado grupo de insumos. Isso reflete a habilidade da firma em maximizar sua produção dado os seus insumos.	0,920
Mudança Técnica (MT)	A mudança técnica (MT) fornece uma medida das mudanças (deslocamento) da fronteira tecnológica, isto é, capta as inovações (alteração na tecnologia entre os dois períodos). A mudança de eficiência técnica pode ser decomposta em eficiência de escala e eficiência técnica pura.	1,072
Eficiência de Escala (ES)	A eficiência de escala corresponde às variações de produtividade em função das alterações na escala de produção. Pode ser calculada pela divisão da eficiência total (retornos constantes à escala) pela eficiência técnica (retornos variáveis à escala).	0,937
Índice de Malmquist (IM)	O índice de Malmquist avalia os índices de produtividade em diferentes períodos de tempo, decompondo-os em sub-índices que refletem a variação da eficiência técnica (ET) e mudança técnica (MT).	0,985

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: ¹Referência Tabela 7 para o período 2014/2015. Melhorias na produtividade estariam associadas a índices cujos valores excedam a unidade.

2.4. Variáveis selecionadas e dados

Embora o método DEA permita flexibilidade no processo de seleção das variáveis (Ozcan e Luke, 1993), neste trabalho, foram empregadas variáveis selecionadas de acordo com a literatura (Tabela 1) e considerando a abordagem delimitada por Norman e Stoker (1991) e Nataraja e Johnson (2011).

Foram incluídas 2 (duas) variáveis de entrada para medir os recursos utilizados na produção, a saber, (i) processamento de cana-de-açúcar de cada usina, em toneladas, ao longo dos anos e (ii) valor monetário do ativo imobilizado, em milhares de reais, a preços constantes de 2015. Neste caso, utilizou-se como deflator o Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI) Centrado³. Por outro lado, consideraram-se 2 (duas) variáveis de saída, tais como, (i) produção total de etanol (anidro e hidratado) em milhares de metros cúbicos (m³) e (ii) produção total

³ Calculado a partir da média geométrica dos valores dos meses corrente e seguinte (meses t e $t+1$) da série original do IGP-DI.

de açúcar (VHP, cristal, demerara e etc.) em milhares de toneladas. A Tabela 3 apresenta o detalhamento das variáveis utilizadas no modelo empírico deste trabalho.

Tabela 3. Detalhamento das variáveis empregadas no modelo empírico.

	Variável	Sigla	Descrição	Fonte
Input	Moagem	M	Volume de cana-de-açúcar, em toneladas, processado pela usina	ProCana (2018)
	Ativo Imobilizado	AI	Valor monetário, em milhares de reais, do ativo imobilizado	DF ¹
Output	Açúcar	A	Produção total de etanol em milhares de metros cúbicos (m³)	ProCana (2018)
	Etanol	E	Produção total de açúcar em milhares de toneladas	ProCana (2018)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Nota: ¹ Demonstrações Financeiras.

Será considerado um modelo com orientação ao insumo (*input*), a partir da imposição de retornos constantes à escala (CRS), de forma a se obter a quantidade de insumos que pode ser reduzida sem alterar o produto obtido pelas empresas (Figura 2). Dito de outra forma, será utilizada a medida de eficiência técnica orientada ao insumo, uma vez que há necessidade de melhorarias na utilização destes recursos pelas empresas com vistas ao incremento de competitividade.

Figura 2. Esquema simplificado do modelo empírico.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Todas as empresas da amostra estão constituídas juridicamente como sociedades anônimas e cujas demonstrações financeiras foram publicadas no órgão oficial da União ou do Estado em que a sede da companhia está situada, conforme estabelece o Art. 289 da Lei de S/A (BRASIL, 2018). Desta forma, obteve-se individualmente as Demonstrações Financeiras de cada empresa para o período de análise, o qual compreende os anos de 2006 a 2015, e, posterior, tabulação das informações necessárias, dentre elas, o Ativo Imobilizado. As informações de moagem e produção por produto foram obtidas nos anuários da indústria canavieira elaborados por ProCana (2018).

O processo de amostragem não é probabilístico, uma vez que foram selecionadas as empresas das quais havia disponibilidade e acessibilidade às informações primordiais ao estudo. A amostra é fixa a partir de 2010 em 32 empresas, uma vez que algumas empresas iniciaram as suas operações em períodos subsequentes ao do início de análise, isto é, em 2006. Se tomarmos como exemplo o ano de 2015, o grupo amostral é composto por 32 (trinta e duas) empresas, sendo usinas independentes e grupos econômicos, localizadas principalmente no Estado de São Paulo, conforme Figura 3.

Embora sejam 32 (trinta e duas) empresas, a amostra contém dados, mesmo que agrupados, de 101 unidades industriais. Deste conjunto de empresas há 19 usinas independentes e 13 grupos econômicos, os quais

detinham 82 usinas em operação em 2015. De acordo com BRASIL (2015), em 2015, haviam 366 usinas em operação no Brasil, perfazendo a amostra uma proporção de 27,6% do total de unidades.

Figura 3. Distribuição da produção de cana-de-açúcar por mesorregião geográfica e localização das usinas amostradas.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de IBGE (2015).

Notas: Cada ponto representa o município em que a unidade industrial está instalada.

2.5. Resultados

2.5.1. Estatística Descritiva

A Tabela 4 apresenta o volume de cana-de-açúcar processada pelas usinas da amostra, bem como a evolução da produção de açúcar e etanol, comparativamente, às produções do país entre 2006 e 2015. Neste intervalo temporal, em média, as empresas da amostra responderam por 35,7%, 33,9% e 38,6% da produção nacional de cana-de-açúcar, etanol e açúcar, respectivamente.

Há uma tendência, relativamente, similar entre o comportamento da moagem nacional de cana-de-açúcar e aquela observada na amostra. No entanto, ao longo do período analisado, o processamento de cana-de-açúcar no Brasil cresceu a uma taxa média anual⁴ de 3,84%, ao passo que a amostra apresentou um incremento anual médio de 10,38%.

⁴ A taxa de crescimento, conforme apresentado em Ramanathan (2002), foi calculada por meio da seguinte regressão geral: $\ln y_{it} = a_i + b_i T + \varepsilon_t$, em que y representa a variável de interesse, T é uma variável de tendência ($t=1$, para 2006, ..., $t=10$, para 2015) e ε é o termo de erro aleatório. A taxa de crescimento composta é obtida da relação $[\text{antiln}(b) - 1]$, expressa em % a.a.

Tabela 4. Evolução comparativa do processamento de cana-de-açúcar (moagem), produção de etanol e açúcar no Brasil e entre a amostra da pesquisa - 2006 a 2015.

Ano	Cana-de-Açúcar (Milhões ton.)			Etanol (Milhões m ³)			Açúcar (Milhões ton.)		
	Amostra	Brasil	Share ¹	Amostra	Brasil	Share ¹	Amostra	Brasil	Share ¹
2006	104,1	427,7	24,3	3,9	17,8	22,0	8,0	30,0	26,7
2007	147,8	495,7	29,8	6,5	22,5	28,8	10,0	31,0	32,3
2008	170,6	569,2	30,0	8,0	27,5	29,0	10,3	31,0	33,1
2009	196,9	602,2	32,7	7,6	25,7	29,8	11,8	33,0	35,7
2010	236,8	620,4	38,2	10,0	27,4	36,5	15,8	38,0	41,6
2011	212,4	559,2	38,0	8,4	22,7	36,9	14,6	35,9	40,7
2012	241,3	588,5	41,0	9,1	23,2	39,2	16,1	38,2	42,2
2013	284,0	651,3	43,6	12,1	27,5	44,2	17,1	37,6	45,5
2014	267,1	633,9	42,1	11,3	28,5	39,7	16,3	35,6	45,9
2015	286,3	666,8	42,9	11,8	30,2	39,2	16,4	33,8	48,5
Média ²	205,8	576,9	35,7	8,5	25,0	33,9	13,2	34,3	38,6

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de UNICA (2017).

Notas: ¹ Participação da amostra, em percentagem, em relação à produção do país;

² Corresponde à média geométrica.

A Tabela 5 apresenta as estatísticas descritivas anuais das variáveis de entrada (*inputs*) e de saída (*outputs*) utilizadas para mensurar a eficiência técnica das agroindústrias sucroenergéticas entre 2006 e 2015. Avaliando-se o volume médio de cana-de-açúcar processada pelas unidades industriais contidas na amostra, nota-se que houve um salto de 2,70 milhões de toneladas de cana em 2006 para 4,97 milhões de toneladas em 2015.

Tabela 5. Média geométrica e desvio-padrão das variáveis empregadas no modelo DEA.

Variável	Ano									
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<i>Inputs</i>										
M	2,70	3,05	3,41	3,79	4,18	3,68	4,08	4,45	4,55	4,97
	(3,71)	(7,30)	(8,04)	(9,73)	(10,83)	(10,01)	(11,00)	(13,06)	(11,42)	(12,55)
AI	287,95	268,94	458,15	497,04	506,38	569,00	535,89	545,15	504,62	522,68
	(821,70)	(905,53)	(1.008,18)	(1.648,94)	(1.462,48)	(2.057,98)	(2.016,18)	(1.858,10)	(1.906,23)	(1.797,33)
<i>Outputs</i>										
A	198,55	208,03	203,46	235,04	285,72	275,73	305,86	334,42	313,53	317,02
	(345,38)	(617,53)	(614,61)	(693,82)	(798,89)	(781,48)	(836,06)	(886,46)	(796,96)	(817,60)
E	99,58	141,46	170,26	157,82	183,43	151,55	155,32	184,60	193,02	208,47
	(125,64)	(282,44)	(323,45)	(349,30)	(436,43)	(374,69)	(410,90)	(629,87)	(476,78)	(514,21)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Notas: “M”, “AI”, “A” e “E” correspondem, respectivamente, ao volume de cana-de-açúcar processada pela unidade industrial, em milhões de toneladas; ativo imobilizado em milhões de reais a preços constantes de 2015; produção total de açúcar em milhões de quilogramas e produção total de etanol em milhões de litros;
O valor especificado entre parênteses corresponde ao desvio-padrão.

O setor vivenciou um período de construção de novas unidades industriais até 2008, beneficiando-se de um cenário promissor no mercado doméstico e internacional. Não obstante, a partir deste período, intensificaram-se as operações de fusões e aquisições, motivadas pela crise financeira que assolou o setor (Moraes e Zilberman, 2014). Portanto, as empresas analisadas passaram por um processo de ampliação da capacidade instalada de moagem,

principalmente, através de operações de fusões e aquisições. O valor monetário convertido em ativos fixos e empregues na produção industrial ou na comercialização dos produtos apresentou uma trajetória crescente, evidenciando que o incremento de moagem esteve associado ao aumento do ativo imobilizado.

A produção industrial média de açúcar e etanol foi crescente entre 2006 e 2015, acompanhando o incremento da moagem das empresas amostradas. Neste período, por outro lado, a produção de etanol cresceu, em termos médios anuais, cerca de 1,95 pontos percentuais acima do crescimento médio da produção de açúcar. Esse fato sublinha a introdução e consolidação dos veículos *flex-fuel* no mercado doméstico, atrelado ao processo de diferenciação tributária do etanol em relação à gasolina, tendência de aumento dos preços do petróleo e aumento do interesse internacional pelos biocombustíveis (Rodrigues e Rodrigues, 2018).

2.5.2. Modelo empírico

O método DEA permite que as empresas sejam organizadas e analisadas em termos de níveis de eficiência, enquanto o índice de Malmquist permite que as variações na produtividade sejam estimadas dinamicamente. Desta forma, nesta seção, inicialmente, são apresentados os escores médios de eficiência (EME) das empresas oriundos do modelo DEA com orientação ao insumo e, em seguida, são apresentados os índices de produtividade total de Malmquist e duas decomposições.

A Tabela 6 apresenta os escores médios de eficiência técnica e de escala das empresas avaliadas entre 2006 e 2015. Calcularam-se os escores de eficiência de curto prazo para cada empresa em relação à fronteira de melhor prática (*best practice frontier*), isto é, em relação aos melhores desempenhos. Todos os escores de eficiência foram medidos em relação à fronteira do mesmo ano.

O escore médio de eficiência das usinas contidas na amostra, ao longo do período de análise, foi de 0,922, 0,951 e 0,970 para os modelos CRS, VRS e EE, respectivamente. Isso significa que, no modelo com retornos constantes à escala, as empresas poderiam reduzir, em média, 7,80% do consumo de seus insumos, sem necessariamente comprometer a produção de açúcar e etanol. No caso do modelo VRS, em que se inclui uma restrição de convexidade, uma redução de 4,91%⁵ na utilização dos fatores de produção faria com que as empresas do setor sucroenergético fizessem parte desta fronteira sob retornos variáveis à escala. Por outro lado, em termos médios de eficiência de escala, as empresas podem ampliar as suas escalas produtivas em 3,03%. Um aspecto importante identificado neste trabalho é que há ineficiências a serem corrigidas pelas empresas do setor sucroenergético brasileiro e cujas práticas de *benchmarking* podem atenuar essas distorções.

A metodologia de Análise Envolvente de Dados (DEA) é uma das ferramentas empregadas como *benchmarking* na identificação das fronteiras eficientes. Numa análise gráfica, a fronteira “Pareto-Eficiente” é definida pelas DMU’s (neste caso, usinas do setor sucroenergético) de forma a delimitar uma superfície envoltória linear que representa a fronteira de melhores práticas (*best practice frontier*). Considerando que se tem unidades comparáveis entre si, obteve-se um indicador de desempenho operacional para *benchmarking*, através do emprego do método DEA, para as usinas de açúcar e etanol no Brasil, com base em suas eficiências de operação. Desta forma, foi possível identificar a usina (ou grupo econômico) que operou mais eficientemente os seus recursos (*inputs*) na obtenção dos seus *outputs* (açúcar e etanol).

⁵ O potencial de economia de insumos no modelo VRS é menor do que no CRS (Grilo e Santos, 2015).

Tabela 6. Estatística descritiva dos escores de eficiência estimados anualmente para os modelos empíricos com orientação ao insumo.

Ano	Observações ¹	Modelo	Média ²	Desvio-Padrão	Mínimo	Máximo	Nº de 1s
2006	28	CRS	0,936	0,104	0,471	1,000	8
		VRS	0,964	0,078	0,634	1,000	16
		EE ³	0,971	0,054	0,743	1,000	8
2007	30	CRS	0,932	0,062	0,825	1,000	10
		VRS	0,956	0,054	0,827	1,000	14
		EE ³	0,975	0,038	0,858	1,000	10
2008	31	CRS	0,970	0,042	0,854	1,000	14
		VRS	0,978	0,040	0,868	1,000	20
		EE ³	0,992	0,016	0,922	1,000	16
2009	31	CRS	0,938	0,076	0,645	1,000	11
		VRS	0,954	0,072	0,663	1,000	16
		EE ³	0,984	0,024	0,891	1,000	12
2010	32	CRS	0,937	0,051	0,812	1,000	7
		VRS	0,957	0,050	0,844	1,000	15
		EE ³	0,979	0,024	0,921	1,000	9
2011	32	CRS	0,925	0,051	0,838	1,000	7
		VRS	0,954	0,049	0,841	1,000	15
		EE ³	0,970	0,034	0,882	1,000	9
2012	32	CRS	0,900	0,112	0,378	1,000	8
		VRS	0,929	0,112	0,386	1,000	16
		EE ³	0,969	0,036	0,880	1,000	11
2013	32	CRS	0,918	0,062	0,780	1,000	9
		VRS	0,945	0,060	0,781	1,000	14
		EE ³	0,971	0,034	0,871	1,000	9
2014	32	CRS	0,916	0,069	0,749	1,000	8
		VRS	0,944	0,066	0,749	1,000	14
		EE ³	0,971	0,034	0,892	1,000	10
2015	32	CRS	0,853	0,097	0,702	1,000	7
		VRS	0,930	0,076	0,770	1,000	14
		EE ³	0,917	0,075	0,750	1,000	8

Fonte: Elaborado pelo autor.

Notas: ¹ Número de usinas (DMUs) em cada ano;² Corresponde à média geométrica dos índices de Malmquist;³ Calculado conforme Eq. (1).

Neste sentido, uma parcela da ineficiência, identificada no trabalho para algumas empresas do setor sucroenergético brasileiro, pode ser atenuada com base na adoção das melhores práticas operacionais das empresas que foram definidas como unidades de referência (*best practice*). Em outras palavras, o *benchmarking* consiste num processo sistemático e contínuo de adoção das melhores práticas (operacionais e administrativas), de modo a alcançar um desempenho superior e, consequentemente, redução dos níveis de ineficiência.

Nos três os modelos, o comportamento é similar e indica uma redução dos níveis médios de eficiência ao longo do tempo. Por exemplo, em média, as usinas saíram de um nível de ineficiência de 6,40% em 2006 para 14,72% em 2015 (EME^{CRS}). O pior nível de eficiência foi observado em 2015 ($EME^{CRS} = 0,853$). Este escore de

eficiência sugere que 14,72% dos insumos variáveis convencionais poderiam ter sido economizados pelas usinas, mediante o aprimoramento do seu estilo gerencial e a partir de uma reorganização para a melhor prática observada. Trata-se de ganhos potenciais, ou melhor, redução na utilização de insumos no processo produtivo, considerando as melhores práticas de produção e alocação de recursos das agroindústrias avaliadas, especificamente, em 2015. A eliminação dessas ineficiências melhoraria a utilização de recursos escassos e contribuiria para uma redução dos custos de produção de cada empresa.

No modelo CRS, 21,87%, ou 7 (sete) das 32 (trinta e duas), empresas da amostra em 2015, foram classificadas como totalmente eficientes, em função das maiores produtividades dos seus fatores de produção e que se refletem no máximo escore de eficiência. Alternativamente, há mais 7 (sete) empresas que estão alocando seus recursos de forma eficiente com base no modelo VRS. Isso sinaliza que essas empresas não possuem problemas com a alocação dos fatores de produção, uma vez que se encontram sob a fronteira de retornos variáveis à escala, entretanto possuem entraves em relação à inadequada escala produtiva.

Os escores médios de eficiência oscilaram ao longo dos anos de análise, com tendência de deterioração dos seus níveis. Observaram-se flutuações nos escores médios de eficiência entre os anos, os quais estão ligados a diversos fatores e cujos impactos são diferentes entre as safras. Pode-se destacar as oscilações de mercado e as oscilações climáticas, com ênfase nos períodos de déficit hídrico e que comprometeram os níveis de produtividade da cana-de-açúcar ou a sua qualidade mensurada em quilogramas de Açúcares Totais Recuperáveis (ATR).

Avaliando os coeficientes de variação dos escores médios de eficiência ao longo do período, constatou-se uma menor variabilidade dos indicadores de eficiência em relação à escala de produção comparativamente ao uso dos insumos. De outro modo, há uma menor heterogeneidade em relação à escala de produção do que no emprego dos fatores de produção. Esse resultado vai ao encontro de Pachieli (2009) e de Brunozi Júnior *et al.* (2012) que identificaram a eficiência técnica como o maior gargalo das agroindústrias sucroenergéticas, em especial em relação ao uso incorreto dos fatores de produção.

Segmentando as empresas ineficientes ($EME^{VRS} < 1$) das totalmente eficientes ($EME^{VRS} = 1$), pôde-se verificar que as empresas eficientes obtiveram maiores níveis de produto, utilizando menores níveis de insumos, o que decorre em maiores produtividades dos fatores de produção. Por exemplo, ao avaliar a *proxy* para o capital, que neste trabalho equivale ao valor monetário convertido em ativo imobilizado, as empresas eficientes imobilizaram, em média entre 2006 e 2015, R\$ 130,73 por tonelada de cana processada, enquanto que no grupo de usinas ineficientes esse valor foi de R\$ 198,41/tonelada.

Esse resultado sugere que há oportunidade para algumas empresas do setor reduzirem o volume de recursos monetários imobilizados em ativos agroindustriais, com vistas à uma estrutura mais otimizada e associada a maiores níveis de recuperação de açúcar e etanol por tonelada de cana-de-açúcar. Este processo poderá implicar numa diminuição do volume de recursos ligados ao custo ou à remuneração do capital fixo, bem como das depreciações destes ativos. Desta forma, sobrevém espaço para que algumas empresas obtenham maiores níveis de produtividade dos fatores de produção e, por conseguinte, redução dos seus custos de produção.

A origem da ineficiência observada junto às usinas do setor sucroenergético não pode ser compreendida, unicamente, pelo processo de gestão industrial (eficiência técnica). Ela é uma parcela responsável pela ineficiência, a qual é afetada por outras variáveis (tecnologia, escala, mix de produção, etc). O período de análise, entre 2006 e 2015, corresponde a um intervalo temporal em que se observaram alterações significativas no sistema de produção de cana-de-açúcar, em que se possa destacar: i) mudança no sistema de colheita (de queimada manual para crua e mecanizada); ii) mudança no sistema de plantio (de manual para mecanizado). Se avaliarmos apenas esses dois

movimentos, tem-se um impacto: a) na alocação entre os fatores capital (neste trabalho, mensurado pelo capital imobilizado) e trabalho; b) no volume de impurezas minerais e vegetais levadas do campo à indústria e, consequentemente, na perda de capacidade de moagem, desgaste de equipamentos, dificuldade para tratamento do caldo, redução do rendimento de fermentação, dentre outros.

Neste caso, o modelo está captando a eficiência industrial sob as condições de conversão de insumo em produto, dado um nível tecnológico empregado pela usina. Por outro lado, conforme mencionado, essa eficiência está sendo afetada por outras variáveis (sobremaneira agronômicas). Não obstante, é importante destacar que ao empregar o Índice de Malmquist este trabalho limitou-se a decompor a PTF em mudança técnica e eficiência técnica, isto é, no que corresponde à parcela que não é explicada nem pela quantidade de cana processada (moagem) e nem pela quantidade de capital empregue no processo produtivo. Adicionalmente, cabe enfatizar que o mote do trabalho reside na eficiência produtiva industrial, ou seja, dada uma quantidade de insumos, será que as usinas exploram todas as potencialidades da indústria e, mais do que isso, será que as usinas conseguem acompanhar as unidades mais inovadoras?

A Figura 4 exibe a distribuição empírica dos indicadores (escores) de eficiência obtidos pelos modelos DEA (CRS, VRS e EE) em formato de diagramas de *boxplots*.

Figura 4. *Boxplots* dos indicadores de eficiência obtidos entre os modelos DEA (CRS, VRS e EE) entre 2006 e 2015.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: Não foram representados e identificados nos respectivos *boxplots* os *outliers*, isto é, valores 1,5 vezes superiores ao (3º quartil + AIQ⁶) ou 1,5 vezes inferiores ao (1º quartil – AIQ).

Independentemente do modelo analisado, fica evidente o aumento da variabilidade ao longo dos anos para o conjunto amostral e para cada empresa isoladamente. Em outras palavras, dilatou-se a amplitude dos níveis de eficiência, refletindo num aumento do hiato entre as empresas do setor naquilo que diz respeito à eficiência. Esse resultado traz robustez à hipótese de um setor heterogêneo em níveis de eficiência, corroborando com o que figura na literatura econômica para períodos da década de 1990 e anos 2000, tal como apresentado por Shikida, Azevedo e Vian (2011). Isto posto, ao longo do seu processo histórico, o setor conviveu num ambiente heterogêneo em termos de práticas de gestão, desempenho técnico e resultados econômicos. Por outro lado, no período mais recente, essa diferença se aprofundou.

⁶ Amplitude Interquartil (AIQ).

Desde a sua formação e evolução histórica, o setor sucroenergético brasileiro tem sido marcado por intensa heterogeneidade no âmbito de práticas de gestão e de difusão tecnológica. No período mais recente, em face das severas dificuldades financeiras e comprometimento dos níveis de produtividade, o setor ampliou ainda mais esse *gap*. A diferença tem se intensificado, de forma que coexistem empresas tecnologicamente atrasadas e com baixos níveis de eficiência, em oposição a empresas com modernas práticas de gestão e de tecnologias produtiva, resultando em elevados níveis de eficiência. Portanto, rejeita-se a hipótese nula (H_0) deste trabalho e pode-se afirmar que não há um padrão único e bem definido de eficiência e produtividade entre as empresas do setor ao longo do tempo.

Observou-se um volume significativo de empresas que finalizaram as suas operações (decretando falência) e outras que estão em recuperação judicial. Essa situação é reflexo de um cenário que envolve diversos elementos, dentre eles, *i*) elevado endividamento; *ii*) preços deprimidos ou sob controle governamental e *iii*) redução dos níveis de investimentos.

Esse cenário é reflexo da ineficiência existente no setor e, conforme observado no trabalho, da elevada heterogeneidade técnica e econômica entre as empresas. Desta forma, provavelmente, o que se observará é um movimento de consolidação e concentração do setor sucroenergético, isso poderá implicar em: *i*) aumento de eficiência e crescimento da escala da produção agrícola e industrial, reduzindo custos e *ii*) redução da volatilidade na produção de açúcar e etanol. Neste contexto, o setor sucroenergético brasileiro pode passar por mais mudanças estruturais que devem colaborar para o seu desenvolvimento de longo prazo.

Em síntese, trata-se de um setor, conforme constatado, em que coexistem empresas cujo “*gap*” tecnológico e econômico é abissal. Isso deve propiciar um movimento de consolidação e concentração do setor no curto prazo, com ênfase na absorção e aquisição das empresas com dificuldades por aquelas que apresentam melhores resultados operacionais e maior geração de caixa.

Após a análise dos escores de eficiência, a Tabela 7 apresenta os índices de variação da produtividade total dos fatores (PTF) de Malmquist para cada uma das empresas analisadas entre os anos de 2006 e 2015. Pode-se observar que, em média, houve uma perda de produtividade de 2,18% entre 2006 e 2015, com oscilações entre ganhos e perdas de produtividade, ao longo do período. Por exemplo, houve um ganho de produtividade de 0,88% entre 2013 e 2014, enquanto que entre 2014 e 2015 observou-se uma perda de produtividade de cerca de 1,46%.

Numa análise similar, Pereira e Silveira (2016) constataram que, entre 2001 e 2008, os índices da produtividade total dos fatores das usinas localizadas na região Centro-Sul do Brasil apresentaram uma média anual negativa de 0,2%. Isso evidencia que o setor não seguiu uma trajetória crescente de ganhos de produtividade e que, embora tenha intercalado entre períodos de resultados negativos e positivos, houve um declínio dos seus níveis de produtividade.

Tabela 7. Índice de Malmquist para as empresas do setor sucroenergético brasileiro (variação anual entre dois períodos de tempo consecutivos t e $t+1$, de 2006 a 2015).

Usina	Período t e $t+1$									Média ¹	Desvio Padrão
	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/013	2013/14	2014/15		
1	1,01	0,98	1,03	1,28	0,74	0,87	0,94	0,99	1,07	0,98	0,14
2	0,94	1,00	0,89	1,13	0,92	1,04	1,00	0,97	1,02	0,99	0,07
3	1,50	0,35	0,63	1,48	1,00	0,98	0,99	1,01	0,98	0,92	0,36
4	1,16	0,93	0,92	1,11	0,97	0,98	0,97	1,02	0,96	1,00	0,08
5	0,89	0,86	0,95	1,04	1,10	0,42	2,09	0,93	1,01	0,96	0,44
6	0,98	0,99	0,93	1,12	0,94	0,98	0,99	0,98	1,11	1,00	0,07
7	0,93	0,90	0,94	0,99	1,14	1,02	1,01	1,28	0,81	0,99	0,14
8	0,97	0,94	0,78	1,27	1,00	0,95	1,02	0,98	1,01	0,98	0,13
9	0,97	0,99	0,88	1,09	1,14	1,11	0,98	0,85	1,71	1,06	0,25
10	1,83	0,90	1,01	1,11	0,94	1,00	1,08	0,84	1,05	1,06	0,29
11	-	0,04	0,87	1,16	0,98	0,99	1,05	0,91	0,96	0,66	0,35
12	1,02	1,01	0,92	1,09	0,97	1,01	1,02	1,07	0,95	1,01	0,05
13	0,99	0,93	1,11	1,04	0,94	0,97	1,00	1,01	0,94	0,99	0,06
14	0,95	1,03	0,93	1,06	0,96	1,01	1,00	1,03	0,91	0,98	0,05
15	0,99	0,90	0,89	1,13	0,97	1,02	1,01	1,02	0,95	0,98	0,07
16	-	-	-	-	1,02	1,03	0,91	0,97	1,00	0,98	0,05
17	0,97	0,95	0,94	1,21	0,88	0,85	1,14	1,07	0,97	0,99	0,12
18	0,96	1,03	0,88	1,07	0,99	1,00	0,98	1,03	0,96	0,99	0,05
19	0,91	0,96	1,05	1,06	1,03	0,96	0,93	1,12	0,95	0,99	0,07
20	0,92	1,01	0,99	1,11	1,03	0,98	1,00	0,99	0,97	1,00	0,05
21	0,95	1,03	0,88	1,09	1,06	0,97	0,97	1,07	1,00	1,00	0,07
22	0,97	0,99	0,97	1,05	0,91	1,03	1,00	1,06	0,96	0,99	0,05
23	0,92	0,94	0,91	1,07	0,97	1,03	1,00	1,05	0,91	0,97	0,06
24	0,85	1,03	0,84	1,15	1,13	1,00	0,94	1,03	0,83	0,97	0,12
25	0,97	0,97	1,02	1,18	0,92	0,97	1,02	1,01	0,92	0,99	0,08
26	0,95	1,01	0,98	1,07	0,97	0,98	1,00	0,99	0,94	0,99	0,04
27	0,99	0,97	1,01	1,05	0,92	1,01	1,00	0,97	1,01	0,99	0,04
28	-	-	0,93	1,09	1,02	1,01	0,95	1,00	1,02	1,00	0,05
29	-	0,95	0,97	1,07	0,96	1,01	0,94	1,04	1,01	0,99	0,05
30	1,14	0,98	0,97	1,07	0,97	1,02	0,97	1,11	1,01	1,03	0,07
31	1,01	0,90	0,94	0,98	1,00	0,99	1,00	1,00	0,96	0,98	0,04
32	0,94	0,84	0,95	1,09	1,04	1,01	1,00	0,95	0,93	0,97	0,07
Média ¹	1,01	0,83	0,93	1,11	0,98	0,96	1,02	1,01	0,98	0,98	0,09
Desvio Padrão	0,20	0,21	0,09	0,10	0,08	0,11	0,20	0,08	0,14	0,06	

Fonte: Elaborado pelos autores a partir do programa Stata.

Notas: - Unidade industrial com início de operação após o período de análise.

¹ Corresponde à média geométrica dos índices de Malmquist.

A Tabela 8 apresenta os índices médios de produtividade de Malmquist e sua decomposição em eficiência técnica, mudança técnica, eficiência técnica pura e eficiência de escala. Esta decomposição fornece uma visão mais detalhada sobre a natureza da variação da produtividade usinas da amostra.

Tabela 8. Média geométrica do índice de produtividade de Malmquist e suas decomposições.

Período	Índice de Malmquist (IM)	Eficiência Técnica (ET)	Mudança Técnica (MT)	Eficiência Técnica Pura (ETP)	Eficiência de Escala (ES)
2006/07	1,007 (7 / 0 / 21)	0,989 (8 / 4 / 16)	1,019 (16 / 0 / 12)	0,985 (3 / 11 / 14)	1,004 (11 / 4 / 13)
2007/08	0,833 (8 / 0 / 22)	1,043 (18 / 6 / 6)	0,799 (0 / 0 / 30)	1,027 (14 / 13 / 3)	1,015 (16 / 6 / 8)
2008/09	0,928 (6 / 0 / 25)	0,963 (6 / 7 / 18)	0,964 (3 / 0 / 28)	0,971 (6 / 12 / 13)	0,991 (6 / 7 / 18)
2009/10	1,108 (29 / 0 / 2)	0,996 (11 / 3 / 17)	1,113 (31 / 0 / 0)	1,003 (8 / 11 / 12)	0,994 (10 / 4 / 17)
2010/11	0,981 (11 / 0 / 21)	0,993 (10 / 6 / 16)	0,988 (12 / 0 / 20)	1,000 (11 / 11 / 10)	0,993 (11 / 6 / 15)
2011/12	0,965 (14 / 3 / 15)	0,972 (13 / 6 / 13)	0,992 (8 / 1 / 23)	0,974 (12 / 13 / 7)	0,998 (13 / 6 / 13)
2012/13	1,016 (12 / 1 / 19)	1,018 (8 / 6 / 18)	0,998 (18 / 0 / 14)	1,015 (8 / 13 / 11)	1,003 (11 / 7 / 14)
2013/14	1,009 (18 / 1 / 13)	1,002 (14 / 7 / 11)	1,007 (17 / 0 / 15)	1,006 (11 / 12 / 9)	0,996 (10 / 9 / 13)
2014/15	0,985 (12 / 0 / 20)	0,920 (3 / 4 / 25)	1,072 (28 / 0 / 4)	0,981 (8 / 11 / 13)	0,937 (5 / 4 / 23)

Fonte: Elaborado pelos autores a partir do programa Stata.

Notas: Os indicadores entre parênteses correspondem ao número de usinas com o índice maior, igual e inferior a 1 (um), respectivamente, isto é, mostrando progresso, sem alteração, regressão.

Uma das vantagens do método DEA é permitir que sejam examinadas as variações de produtividade individualmente, fornecendo mais informações do que as médias amostrais. Por exemplo, quase um sétimo das usinas da amostra exibiram uma tendência, de pelo menos três períodos consecutivos de progresso ou regressão, para a mudança no índice global de Malmquist. A maioria das usinas experimentou produtividade, relativamente, instável durante o período de amostragem.

Os pares de anos 2006/2007, 2009/2010 e 2014/2015 apresentam um comportamento semelhante: declínio dos níveis de eficiência técnica acompanhados de ganhos tecnológicos. A Teoria da Organizações explica em partes este processo, uma vez que a ineficiência produtiva pode estar correlacionada com o fracasso em aproveitar novas oportunidades para alcançar o crescimento de produtividade.

A Tabela 8 contém os resultados numa base de pares de anos. As diferenças nos índices num curto período de tempo, isto é, entre anos, são relativamente pequenas. No entanto, a análise acumulada reflete o impacto para um período de tempo mais longo, atingindo uma década no presente trabalho.

As variações anuais das medidas de Eficiência Técnica (ET), Mudança Técnica (MT), Eficiência de Escala (ES) e Índice de Malmquist (IM) foram calculadas para cada usina em cada par de ano adjacente utilizando-se da metodologia descrita na seção 2.3.2. Essas medidas individuais foram convertidas em médias para cada ano e, posteriormente, em índices de variação percentual acumulada⁷ pela multiplicação sequencial dos indicadores em cada ano, os quais são apresentados na Figura 5.

⁷ Para mais detalhes ver Klein, Schmidt e Yaisawarng (1992), o qual modificou Färe *et al.* (1992) para calcular índices cumulativos de variação de produtividade, considerando um ano-base fixo.

Figura 5. Índices da variação percentual acumulada das medidas de Eficiência Técnica (ET), Mudança Técnica (MT), Eficiência de Escala (ES) e Índice de Malmquist (IM).

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que houve uma perda de produtividade acumulada pelas usinas localizadas no Centro-Sul do Brasil ao longo do período de análise. Entretanto, não se pode definir um padrão comum ou uma tendência clara para a mudança na eficiência da escala e na mudança de eficiência produtiva. Trata-se de um período marcado por oscilações e cuja produtividade foi impactada por diferentes vetores.

Conforme se observa na Figura 5, os principais contribuintes para mudanças de produtividade variaram de ano para ano. Por exemplo, em 2009 os três componentes do índice de Malmquist contribuíram para a deterioração da produtividade. Em 2013, as mudanças na eficiência de escala e na eficiência produtiva compensam a mudança externa da fronteira de tecnologia, resultando em crescimento de produtividade.

Ao longo do período de dez anos, entre 2006 e 2015, a variação acumulada da produtividade total dos fatores de Malmquist sofreu um declínio de 1,5%. A redução da produtividade está associada aos resultados negativos dos efeitos de escala (-6,3%) e da eficiência técnica (-8,0%). Em contrapartida, as mudanças externas na fronteira tecnológica apresentaram uma alteração positiva de 7,2%. Desta forma, o recuo acumulado da produtividade deveu-se, principalmente, a um piora na eficiência produtiva, enquanto que mudança técnica atenuou este processo, demonstrando progresso tecnológico (isto é, deslocamento da isoquanta para a esquerda e para baixo). Esse declínio na produtividade se traduziu em um efeito deletério sobre o custo fixo de produção ao longo do período, ocasião em que o setor passou por expressivos aumentos dos custos unitários de produção (PECEGE, 2017).

O retrato do setor sucroenergético brasileiro captado por este trabalho dá ênfase à deterioração dos seus níveis de produtividade e na contramão de outros setores da agropecuária brasileira. Não houve um incremento contínuo de produtividade, pelo contrário essa variável apresentou redução dos seus níveis e intensa oscilação ao longo do período analisado.

O declínio acumulado da produtividade em 1,5%, entre 2006 e 2015, mensurado pelo índice de Malmquist, ocorreu principalmente em função dos resultados negativos dos efeitos de escala e da eficiência técnica. Infelizmente, os ganhos tecnológicos não compensaram os declínios na eficiência produtiva. No que concerne às duas componentes da eficiência produtiva, a maior heterogeneidade e variabilidade decorreram, principalmente, da

eficiência técnica. Isso reforça o fato de que as empresas não fizeram o *catching-up* em relação às mais eficientes, pelo contrário ampliaram essa diferença, principalmente naquilo que se refere às práticas de gestão e melhor utilização dos insumos.

2.6. Conclusões

O presente trabalho procurou analisar a evolução da eficiência técnica e de escala de algumas empresas do setor sucroenergético entre 2006 e 2015, bem como os impactos da mudança técnica e da eficiência técnica ao longo desse período como variáveis explicativas do comportamento da produtividade. Embora a amostra não seja probabilística, o que traz algumas limitações de inferência, não se inviabilizam os resultados encontrados.

As empresas fronteiriças apresentaram saltos tecnológicos, entre 2006 e 2015, os quais se refletiram através de deslocamentos da isoquanta para a esquerda e para baixo, havendo redução dos fatores de produção (capital e trabalho, por exemplo). Não obstante, as empresas ineficientes não sofreram mudanças tecnológicas na mesma intensidade, ficando ainda mais atrás daquelas com melhores práticas (*best practice frontier*). As mudanças tecnológicas, ocorridas principalmente em função das mudanças no sistema de produção a partir da safra 2011/2012, contribuíram positivamente para o desenvolvimento da produtividade. Entretanto, as mudanças técnicas atuaram em sentido contrário, reforçando que os fatores de produção não estão alocados de forma adequada.

Há um alto grau de heterogeneidade na alocação dos insumos produtivos entre as usinas de açúcar e etanol no Brasil, o que se reflete em diferentes níveis de custos de processamento industrial, num setor cuja rentabilidade é definida por um modelo de liderança de custos, dada a baixa diferenciação dos seus produtos. A competitividade do setor e, conseqüentemente a segurança de produção, depende cada vez de uma gestão eficiente das usinas.

Apesar da sua relevância no âmbito do agronegócio brasileiro, o setor carece de políticas públicas e privadas com vistas ao desenvolvimento tecnológico e difusão de melhores práticas produtivas e de gestão entre as unidades. Caso contrário, o que se observará é um processo de aprofundamento do *gap* entre as empresas e acomodação do mercado às custas de um desequilíbrio dos níveis de performance das usinas.

Há possibilidades de expansão do setor sucroenergético brasileiro no médio e longo prazo, principalmente em função das metas estabelecidas pelo país na 21ª Conferência das Partes - Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática - (COP21) e que se refletiram em novas políticas de estímulo aos biocombustíveis no país, tal como o RenovaBio⁸. No entanto, no curto prazo, ainda há problemas que, potencialmente, limitarão o crescimento e que impulsionarão uma consolidação baseada em fusões e aquisições, dada a intensa heterogeneidade técnica e econômica entre as empresas.

O crescimento desse setor ainda perpassa por programas de treinamento e capacitação, incorporação de novas tecnologias que impulsionem a recuperação da produtividade dos fatores de produção e melhoria nas práticas de gestão e de organização das empresas que induzam à alocação adequada dos insumos. No caso desta última, este trabalho destacou o impacto da ineficiência técnica entre as empresas do setor para o período compreendido entre 2015 e 2016.

⁸ Política Nacional de Biocombustíveis, instituída pela Lei nº 13.576/2017, cujo objetivo é expandir a produção de biocombustíveis no Brasil, baseada na previsibilidade, na sustentabilidade ambiental, econômica e social, e compatível com o crescimento do mercado. A partir desta expansão, almeja-se uma importante contribuição dos biocombustíveis na redução das emissões de gases de efeito estufa no país.

Este estudo contribuiu para a literatura empírica na melhor compreensão do comportamento da eficiência do setor sucroenergético nos últimos dez anos. Adicionalmente, seus resultados geram uma maior robustez da análise, numa visão mais de médio a longo prazo sobre a eficiência setorial, mas não captado nos demais trabalhos da literatura, os quais versam sobre um ano safra específico.

Alguns tópicos estão intrinsecamente relacionados à desempenho, dentre eles, produtividade e eficiência. Neste trabalho essas variáveis foram analisadas de forma a compreender a performance das empresas do setor sucroenergético brasileiro e fornecer uma análise de *benchmarking* setorial. Entretanto, essa agenda de pesquisa pode ser aprimorada com novos trabalhos que visem comparar os resultados entre os modelos paramétricos e não-paramétricos e evoluir na identificação dos fatores de desempenho, com a inclusão de variáveis microeconômicas e outras que captem os efeitos de localização e influência geográfica das usinas.

Referências

- ABDALLAH, A. A. N.; ISMAIL, A. K. Corporate governance practices, ownership structure, and corporate performance in the GCC countries. **Journal of International Financial Markets, Institutions and Money**, v. 46, p. 98–115, 2017.
- ABRAMO, G.; CICERO, T.; D'ANGELO, C. A. A field-standardized application of DEA to national-scale research assessment of universities. **Journal of Informetrics**, v. 5, n. 4, p. 618–628, 2011.
- AIGNER, D. J.; CHU, S. F. On Estimating the Industry Production Function. **The American Economic Review**, v. 58, n. 4, p. 826–839, 1968.
- AKDAL, S. **How do Firm Characteristics Affect Capital Structure? Some UK Evidence**. Londres: [s.n.].
- ALDAMAK, ABDULLAH; ZOLFAGHARI, S. Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. **Measurement**, v. 106, p. 161–172, 2017.
- ALI, A.; JAN, A. U. Analysis of Technical Efficiency of Sugarcane Crop in Khyber Pakhtunkhwa: A Stochastic Frontier Approach. **Sarhad Journal of Agriculture**, v. 33, n. 1, p. 69–79, fev. 2017.
- ALTMAN, E. I. A Further Empirical Investigation of the Bankruptcy Cost Question. **The Journal of Finance**, v. 39, n. 4, p. 1067–1089, 1984.
- ANDERSON, R. C.; REEB, D. M. Founding-Family Ownership and Firm Performance: Evidence from the S&P 500. **The Journal of Finance**, v. 58, n. 3, p. 1301–1328, 2003.
- ANG, J. S.; COLE, R. A.; LIN, J. W. U. H. Agency costs and ownership structure. **The Journal of Finance**, v. LV, n. 1, p. 81–106, 2000.
- ASSAF NETO, A.; LIMA, F. G. **Curso de administração financeira**. 3a edição ed. São Paulo, SP: Atlas, 2014.
- BACEN. BANCO CENTRAL DO BRASIL. **SGS - Sistema Gerenciador de Séries Temporais**. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/acessoinformacao/legado?url=https:%2F%2Fwww4.bcb.gov.br%2Fpec%2Fseries%2Fport%2Faviso.asp>>. Acesso em: 24 jan. 2019.
- BANDYOPADHYAY, A.; BARUA, N. M. Factors determining capital structure and corporate performance in India: Studying the business cycle effects. **Quarterly Review of Economics and Finance**, v. 61, p. 160–172, 2016.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, set. 1984.

- BEINTEMA, N. M.; AVILA, A. F. D.; PARDEY, P. G. **P&D agropecuario no Brasil: política, investimentos e perfil institucional**. Washington, DC: [s.n.].
- BENITO, A.; HERNANDO, I. Labour demand, flexible contracts and financial factors: Firm-level evidence from Spain. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, v. 70, n. 3, p. 283–301, 2008.
- BERGER, A. N.; BONACCORSI DI PATTI, E. Capital structure and firm performance: A new approach to testing agency theory and an application to the banking industry. **Journal of Banking and Finance**, v. 30, n. 4, p. 1065–1102, 2006.
- BERTRAND, M.; SCHOAR, A. The Role of Family in Family Firms. **Journal of Economic Perspectives**, v. 20, n. 2, p. 73–96, 2006.
- BONACCORSI, A.; DARAIO, C. Econometric Approaches to the Analysis of Productivity of R&D Systems. *In: Handbook of Quantitative Science and Technology Research*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. p. 51–74.
- BRAGA, L. A. M. **Eficiência técnica das usinas sucroenergéticas: determinantes e impactos para a economia brasileira**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2016.
- BRANDER, B. J. A.; LEWIS, T. R. Oligopoly and Financial Structure: The Limited Liability Effect. **The American Economic Review**, v. 76, n. 5, p. 956–970, 1986.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sapcana/downloadBaseCompletaInstituicao.action>>. Acesso em: 17 ago. 2017.
- _____. **Lei Nº 6.404, de 15 de dezembro de 1976**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6404consol.htm>. Acesso em: 1 fev. 2018.
- BRASIL. **Emissão de Comprovante de Inscrição e de Situação Cadastral**. Disponível em: <http://www.receita.fazenda.gov.br/PessoaJuridica/CNPJ/cnpjreva/Cnpjreva_Solicitacao.asp>. Acesso em: 22 out. 2018.
- _____. **Instituições cadastradas no MAPA como produtores, cooperativas ou comercializadoras de produtos vinculados à produção canavieira**. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sapcana/downloadBaseCompletaInstituicao!downloadArquivoXLS.action>>. Acesso em: 24 jan. 2019.
- BREUSCH, T. S.; PAGAN, A. R. A Simple Test for Heteroscedasticity and Random Coefficient Variation. **Econometrica**, v. 47, n. 5, p. 1287–1294, 1979.
- _____. The Lagrange Multiplier Test and its Applications to Model Specification in Econometrics. **The Review of Economic Studies**, v. 47, n. 1, p. 239–253, 1980.
- BRITO, G. A. S.; CORRAR, L. J.; BATISTELLA, F. D. Fatores determinantes da Estrutura de Capital das Maiores Empresas que atuam no Brasil. **Revista de Contabilidade e Finanças**, v. 43, p. 9–19, 2007.
- BRUNOZI JÚNIOR, A. *et al.* Eficiência produtiva e análise econômica e financeira de usinas de cana-de-açúcar do estado de São Paulo. **Revista Ambiente Contábil**, v. 4, n. 2, Jul–Dez, p. 74–92, 2012.
- CAMPELLO, M. Capital structure and product markets interactions: Evidence from business cycles. **Journal of Financial Economics**, v. 68, n. 3, p. 353–378, 2003.
- CANO, A.; TUPY, O. **Eficiência produtiva de usinas de açúcar e álcool do Estado de São Paulo**XLIII Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. **Anais**. Ribeirão Preto, São Paulo: 2005

- CANTOR, R. Effects of leverage on corporate investment and hiring decisions. **Quarterly Review 15, Federal Reserve Bank of New York**, v. 15, n. 2, p. 31–41, 1990.
- CARLUCCI, F. V. **Aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliação do impacto das variáveis tamanho e localização na eficiência operacional de usinas de cana-de-açúcar na produção de açúcar e etanol no Brasil**. [s.l.] Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, 2012.
- CAVES, D. W.; CHRISTENSEN, L. R.; DIEWERT, W. E. Multilateral Comparisons of Output, Input, and Productivity Using Superlative Index Numbers. **The Economic Journal**, v. 92, n. 365, p. 73–86, 1982.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429–444, 1978.
- CHEN, C.-M.; DELMAS, M. A.; LIEBERMAN, M. B. Production frontier methodologies and efficiency as a performance measure in strategic management research. **Strategic Management Journal**, v. 36, p. 19–36, 2015.
- CHEN, C. J.; HSU, C. Y.; CHEN, Y. L. The impact of family control on the top management compensation mix and incentive orientation. **International Review of Economics and Finance**, v. 32, p. 29–46, 2014.
- CHEN, Y.; ALI, A. I. DEA Malmquist productivity measure: New insights with an application to computer industry. **European Journal of Operational Research**, v. 159, p. 239–249, 2004.
- CHENG, M.-C.; TZENG, Z.-C. Does Leverage and Efficiency Affect Each Other. **Journal of Accounting, Finance and Economics**, v. 1, n. 1, p. 77–95, 2011.
- CLAESSENS, S. *et al.* Disentangling the Incentive and Entrenchment Effects of Large Shareholdings. **The Journal of Finance**, v. 57, n. 6, p. 2741–2771, 2002.
- CLEMENTE, F.; GOMES, M. F. M.; LÍRIO, V. S. Análise da eficiência técnica de propriedades citrícolas do Estado de São Paulo. **Economia Aplicada**, v. 19, n. 1, p. 63–79, 2015.
- COELLI, T. A multi-stage methodology for the solution of orientated DEA models. **Operations Research Letters**, v. 23, p. 143–149, 1998.
- COLE, R. A.; MEHRAN, H. The effect of changes in ownership structure on performance: Evidence from the thrift industry. **Journal of Financial Economics**, v. 50, n. 3, p. 291–317, 1998.
- COMPEÁN, R. G.; POLENSKE, K. R. Antagonistic bioenergies: Technological divergence of the ethanol industry in Brazil. **Energy Policy**, v. 39, n. 11, p. 6951–6961, 2011.
- COOK, R. D.; WEISBERG, S. Diagnostics for Heteroscedasticity in Regression. **Biometrika**, v. 70, n. 1, p. 1–10, 1983.
- COOK, W. D.; SEIFORD, L. M. Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on. **European Journal of Operational Research**, v. 192, p. 1–17, 2009.
- COSTA, C. C. DA; BURNQUIST, H. L. Impactos do controle do preço da gasolina sobre o etanol biocombustível no Brasil. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 46, n. 4, p. 1003–1028, 2016.
- CUI, Y. *et al.* Top management team knowledge heterogeneity, ownership structure and financial performance: Evidence from Chinese IT listed companies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 140, n. August 2018, p. 14–21, 2019.
- DAMODARAN, A. **Finanças corporativas: teoria e prática**. 2a. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2004.
- DELGADO, V. M. S.; MACHADO, A. F. Eficiência das escolas públicas estaduais de minas gerais. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 37, n. 3, p. 427–464, 2007.

- DEMSETZ, H. The Structure of Ownership and the Theory of the Firm. **The Journal of Law & Economics**, v. 26, n. 2, p. 375–390, 1983.
- DEMSETZ, H.; VILLALONGA, B. Ownership structure and corporate financing. **Applied Financial Economics**, v. 19, n. 24, p. 1975–1986, 2001.
- DENIS, D. J.; DENIS, D. K. Majority owner-managers and organizational efficiency. **Journal of Corporate Finance**, v. 1, n. 1, p. 91–118, 1994.
- DIAMOND, D. W. Financial Intermediation and Delegated Monitoring. **The Review of Economic Studies**, v. 51, n. 3, p. 393–414, 1984.
- DIAMOND, D. W. Monitoring and Reputation: The Choice between Bank Loans and Directly Placed Debt. **Journal of Political Economy**, v. 99, n. 4, p. 689–721, 1991.
- EPE. **Cenários de oferta de etanol e demanda do Ciclo Otto: Versão Estendida 2018-2030**. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/cenarios-oferta-etanol-e-demanda-ciclo-otto>>.
- FAMA, E. F.; FRENCH, K. R. Disappearing dividends: changing firm characteristics or lower propensity to pay? **Journal of Financial Economics**, v. 3, p. 3–42, 2001.
- FÄRE, R. *et al.* Productivity Changes in Swedish Pharmacies 1980-1989: A Non-Parametric Malmquist Approach. **The Journal of Productivity Analysis**, v. 3, n. 1/2, p. 85–101, 1992.
- FÄRE, R. *et al.* Productivity growth, technical progress and efficiency change in Industrialised Countries. **American Economic Association**, v. 84, n. 1, p. 66–83, 1994.
- FARRELL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 120, n. 3, p. 253–290, 1957.
- FERRAZ DIAS DE MORAES, M. A.; ZILBERMAN, D. The Free Market: The Profound Changes and the New Agenda. *In*: **Production of Ethanol from Sugarcane in Brazil**. Cham: Springer International Publishing, 2014. p. 149–193.
- FLANNERY, M. J. Asymmetric Information and Risky Debt Maturity Choice. **The Journal of Finance**, v. 41, n. 1, p. 19–37, 1986.
- FOSU, S. Capital structure, product market competition and firm performance: Evidence from South Africa. **Quarterly Review of Economics and Finance**, v. 53, n. 2, p. 140–151, 2013.
- FUENTES, R.; LILLO-BAÑULS, A. Smoothed bootstrap Malmquist index based on DEA model to compute productivity of tax offices. **Expert Systems with Applications**, v. 42, p. 2442–2450, 2015.
- FURTADO, A. T.; SCANDIFFIO, M. I. G.; CORTEZ, L. A. B. The Brazilian sugarcane innovation system. **Energy Policy**, v. 39, n. 1, p. 156–166, 2011.
- GALAI, D.; MASULIS, R. W. The option pricing model and the risk factor of stock. **Journal of Financial Economics**, v. 3, p. 53–81, 1976.
- GASQUES, J. G. *et al.* Produtividade da agricultura brasileira e os efeitos de algumas políticas. **Revista de Política Agrícola**, v. XXI, n. 3, p. 83–92, 2012.
- GLEASON, K. C.; MATHUR, L. K.; MATHUR, I. The interrelationship between culture, capital structure, and performance: Evidence from European retailers. **Journal of Business Research**, v. 50, n. 2, p. 185–191, 2000.
- GOMEZ-MEJIA, L. R. *et al.* The Bind that ties: Socioemotional wealth preservation in family firms. **The Academy of Management Annals**, v. 5, n. 1, p. 653–707, 2011.

- GRASSI, M. C. B.; PEREIRA, G. A. G. Energy-cane and RenovaBio: Brazilian vectors to boost the development of Biofuels. **Industrial Crops and Products**, v. 129, p. 201–205, 2019.
- GREENE, W. H. **Econometric Analysis**. Fifth Edit ed. New Jersey: Upper Saddle River, 2003.
- GRILO, A.; SANTOS, J. Measuring efficiency and productivity growth of new technology-based firms in business incubators: the Portuguese case study of Madan Parque. **The Scientific World Journal**, v. 2015, p. 11, 2015.
- GROSSMAN, S. J. ; HART, O. D. The Economics of Information and Uncertainty. *In*: MCCALL, J. J. (Ed.). . **The Economics of Information and Uncertainty**. [s.l.] University of Chicago Press, 1982. p. 107–140.
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. 5a Edição ed. Porto Alegre, RS: AMGH Editora Ltda, 2011.
- HALL, J. *et al.* Managing technological and social uncertainties of innovation: The evolution of Brazilian energy and agriculture. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 78, n. 7, p. 1147–1157, 2011.
- HARRIS, M.; RAVIV, A. The Theory of Capital Structure The Theory of Capital Structure. **The Journal of Finance**, v. XLVI, n. 1, p. 297–355, 1991.
- HIMMELBERG, C. P.; HUBBARD, R. G.; PALIA, D. Understanding the determinants of managerial ownership and the link between ownership and performance. **Journal of Financial Economics**, v. 53, p. 353–384, 1999.
- HUANG, J.; DU, D.; HAO, Y. The driving forces of the change in China's energy intensity: An empirical research using DEA-Malmquist and spatial panel estimations. **Economic Modelling**, v. 65, p. 41–50, 2017.
- HUBER, P. J. **The behavior of maximum likelihood estimates under nonstandard conditions**Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. **Anais...**Berkeley: University of California Press, 1967Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33846983865&partnerID=tZOtx3y1>>
- IAF. INSTITUTO ASSAF NETO. **Estrutura de capital e alavancagem**. Disponível em: <<http://www.institutoassaf.com.br/2012/painel.aspx>>. Acesso em: 24 jan. 2019.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 9 fev. 2018.
- JENSEN, M. C. Agency Costs of Free Cash Flow, Corporate Finance, and Takeovers. **American Economic Review**, v. 76, n. 2, p. 323–329, 1986.
- JENSEN, M. C.; MECKLING, W. H. Theory of the firm: managerial behavior, agency costs and ownership structure. **Journal of Financial Economics**, v. 3, p. 305–360, 1976.
- JOHNSON, J. L.; ZAPATA, H. O.; HEAGLER, A. M. Technical Efficiency in Louisiana Sugar Cane Processing. **Journal of Agribusiness**, v. 13, n. 2, p. 85–98, 1995.
- KHANNA, G. **Technical efficiency in production and resource use in sugar cane: A stochastic production function analysis**. Geneva: [s.n.]. Disponível em: <http://repec.graduateinstitute.ch/pdfs/Working_papers/HEIWP15-2006.pdf>.
- KING, M. R.; SANTOR, E. Family values: Ownership structure, performance and capital structure of Canadian firms. **Journal of Banking and Finance**, v. 32, n. 11, p. 2423–2432, 2008.
- KLEIN, J. D.; SCHMIDT, S.; YAISAWARNG, S. Productivity changes in the U.S. electric power industry. *In*: **Empirical Studies in Industrial Organization**. [s.l.] Springer, Dordrecht, 1992. p. 207–235.
- LEI, J.; QIU, J.; WAN, C. Asset tangibility, cash holdings, and financial development. **Journal of Corporate Finance**, v. 50, p. 223–242, 2018.
- LEIBENSTEIN, H. Allocative efficiency vs. “X-efficiency”. **American Economic Review**, v. 56, p. 392–415, 1966.

- LEMOS, S. V. *et al.* Análise comparativa entre produtividade agrícola e industrial do setor sucroenergético brasileiro nos últimos 10 anos. **Custos e @gronegócio on line**, v. 12, n. 4, p. 154–174, 2016.
- LI, Z.; CROOK, J.; ANDREEVA, G. Dynamic prediction of financial distress using Malmquist DEA. **Expert Systems with Applications**, v. 80, p. 94–106, 2017.
- LIPSON, M. L. ; MORTAL, S. Liquidity and capital structure Marc. **Journal of Financial Markets**, v. 12, p. 611–644, 2009.
- LIU, F. H. F.; WANG, P. HSIANG. DEA Malmquist productivity measure: Taiwanese semiconductor companies. **International Journal of Production Economics**, v. 112, p. 367–379, 2008.
- LOVELL, C. A. K. Production frontiers and productive efficiency. *In*: FRIED, H. O.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, S. S. (Eds.). . **The Measurement of productive efficiency : techniques and applications**. New York: Oxford University Press, 1993. p. 426.
- MACEDO, M. A. D. S.; CÍPOLA, F. C.; FERREIRA, A. F. R. Desempenho social no agronegócio brasileiro: aplicando DEA no segmento de usinas de processamento de cana-de-açúcar. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 48, n. 1, p. 223–243, 2010.
- MACIEL, V. F.; PIZA, C. C. DE T.; PENOFF, R. N. Desigualdades regionais e bem-estar no Brasil: quão eficiente tem sido a atividade tributária dos estados para a sociedade? **Planejamento e Políticas Públicas**, v. 33, n. Jul./Dez., p. 291–318, 2009.
- MAKSIMOVIC, V. Capital Structure in Repeated Oligopolies. **The RAND Journal of Economics**, v. 19, n. 3, p. 389–407, 1988.
- MALMQUIST, S. Index Number and Indifference Surfaces. **Trabajos de Estadística**, v. 4, p. 209–242, 1953.
- MARGARITIS, D.; PSILLAKI, M. Capital structure and firm efficiency. **Journal of Business Finance and Accounting**, v. 34, n. 9–10, p. 1447–1469, 2007.
- _____. Capital structure, equity ownership and firm performance. **Journal of Banking and Finance**, v. 34, n. 3, p. 621–632, 2010.
- MARIN, F. R. *et al.* Climate change impacts on sugarcane attainable yield in southern Brazil. **Climatic Change**, v. 117, n. 1–2, p. 227–239, 2013.
- MARTINS, H. H. *et al.* Estrutura de capital e alavancagem financeira de empresas da agroindústria canavieira: um estudo multicaso para o Centro-Oeste. **Gestão & Regionalidade**, v. 31, n. 93, p. 76–93, 2015.
- MCCONNELL, J. J.; SERVAES, H. Equity ownership and the two faces of debt. **Journal of Financial Economics**, v. 39, n. 1, p. 131–157, 1995.
- MENDONÇA, M. L.; PITTA, F. T. ; XAVIER, C. V. **A agroindústria canavieira e a crise econômica mundial**. São Paulo, SP: [s.n.].
- MILANEZ, E. F. **Efeitos de alavancagem e oportunidades de crescimento sobre o investimento das empresas brasileiras** (En, Ed.)XXXVI Encontro da ANPAD. **Anais...**Rio de Janeiro, RJ: EnANPAD, 2012
- MIRDEHGHAN, S. M.; FUKUYAMA, H. Pareto-Koopmans efficiency and network DEA. **Omega (United Kingdom)**, v. 61, p. 78–88, 2016.
- MODIGLIANI, F.; MILLER, M. H. The cost of capital, corporation finance and the theory of investment. **The American Economic Review**, v. 48, n. 3, p. 261–297, 1958.
- MONTASSER, G. EL *et al.* Are there multiple bubbles in the ethanol-gasoline price ratio of Brazil? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 19–23, 2015.

- MORAES, M. A. F. D. DE; ZILBERMAN, D. de Moraes, Márcia Azanha Ferraz Dias Zilberman, David. *In*: MORAES, M. A. F. D. DE; ZILBERMAN, D. (Eds.). . **Production of Ethanol from Sugarcane in Brazil**. Cham: Springer International Publishing, 2014. p. 149–193.
- MORCK, R.; SHLEIFER, A.; VISHNY, R. W. Management ownership and market valuation. An empirical analysis. **Journal of Financial Economics**, v. 20, n. C, p. 293–315, 1988.
- MORCK, R.; YEUNG, B. Agency Problems in Large Family Business Griups. **Entrepreneurship Theory and Practice**, v. 27, n. 4, p. 367–382, 2003.
- MOREIRA, J. R.; PACCA, S. A.; PARENTE, V. The future of oil and bioethanol in Brazil. **Energy Policy**, v. 65, p. 7–15, 2014.
- MYERS, S. C. Determinants of corporate borrowing. **Journal of Financial Economics**, v. 5, p. 147–175, 1977.
- NATARAJA, N. R.; JOHNSON, A. L. Guidelines for using variable selection techniques in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 215, p. 662–669, 2011.
- NICKELL, S.; NICOLITSAS, D. How does financial pressure affect firms? **European Economic Review**, v. 43, n. 8, p. 1435–1456, 1999.
- NICOLA, A. DE; GITTO, S.; MANCUSO, P. Airport quality and productivity changes: A Malmquist index decomposition assessment. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 58, p. 67–65, 2013.
- NORILLER, R. M. *et al.* Comparação econômico-financeira por índices-padrão de usinas sucroenergéticas listadas nas BM&F Bovespa S.A. **Revista de Administração da UEG**, v. 2, n. 2, p. 58–78, 2011.
- NORMAN, M.; STOKER, B. **Data envelopment analysis : the assessment of performance**. [s.l.] Wiley, 1991.
- NOVACANA. **As usinas de Açúcar e Etanol do Brasil**. Disponível em: <https://www.novacana.com/usinas_brasil>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- ODECK, J. Statistical precision of DEA and Malmquist indices: A bootstrap application to Norwegian grain producers. **Omega**, v. 37, p. 1007–1017, 2009.
- ONOUR, I. Technical Efficiency of Sugar Industry in Sudan: Stochastic Frontier Approach. **University of Khartoum Engineering (UofKEJ)**, v. 5, n. 2, p. 19–22, 2015.
- OPLER, T. C. ; TITMAN, S. Financial Distress and Corporate Performance. **The Journal of Finance**, v. 49, n. 3, p. 1015–1040, 1994.
- OZCAN, Y. A.; LUKE, R. D. A national study of the efficiency of hospitals in urban markets. **Health services research**, v. 27, n. 6, p. 719–739, 1993.
- OZKAN, A. Determinants of capital structure and adjustment to long run target: Evidence from UK company panel data. **Journal of Business Finance and Accounting**, v. 28, n. 1–2, p. 175–198, 2001.
- PACHIEL, M. G. **Eficiência produtiva de usinas de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- PANIAGUA, J.; RIVELLES, R.; SAPENA, J. Corporate governance and financial performance: The role of ownership and board structure. **Journal of Business Research**, v. 89, n. February, p. 229–234, 2018.
- PECEGE. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade no Brasil: fechamento da safra 2016/2017**. Piracicaba: [s.n.].
- ____. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade no Brasil: Fechamento da Safra 2017/2018**. Piracicaba, São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<http://bioscirep.org/cgi/doi/10.1042/BSR20130081>>.

- 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**, v. 54, n. 1, p. 147–166, 2016.
- PEREIRA, N. A.; TAVARES, M. Eficiência das principais regiões produtoras de cana-de-açúcar por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA). **Custos e @gronegocio on line**, v. 13, p. 37–70, 2017.
- PÉREZ-LÓPEZ, G.; PRIOR, D.; ZAFRA-GÓMEZ, J. L. Temporal scale efficiency in DEA panel data estimations. An application to the solid waste disposal service in Spain. **Omega**, p. 1–10, 2017.
- PÉREZ, K.; GONZÁLEZ-ARAYA, M. C.; IRIARTE, A. Energy and GHG emission efficiency in the Chilean manufacturing industry: Sectoral and regional analysis by DEA and Malmquist indexes. **Energy Economics**, v. 66, p. 290–302, 2017.
- PETERSEN, M. A.; RAJAN, R. G. The Benefits of Lending Relationships: Evidence from Small Business Data. **The Journal of Finance**, v. XLIX, n. 1, p. 3–37, 1994.
- POWELL, D. **Did the Economic Stimulus Payments of 2008 Reduce Labor Supply? Evidence from Quantile Panel Data Estimation Did the Economic**. Santa Monica: [s.n.].
- PROCANA. **Anuário da Cana**. Disponível em: <<https://www.anuariousinas.com.br/>>. Acesso em: 1 fev. 2018.
- RAJAN, R. G.; ZINGALES, L. What Do We Know about Capital Structure? Some Evidence from International Data. **The Journal of Finance**, v. 50, n. 5, p. 1421–1460, 1995.
- RAMANATHAN, R. **Introductory econometrics with applications**. 15. ed. [s.l.] Harcourt College Publisher, 2002.
- RAMOS, C. S. **Mais usinas ficarão sem processar cana na safra 2018/19**. Disponível em: <<https://www.valor.com.br/agro/5204657/mais-usinas-ficaram-sem-operar-na-proxima-safra>>. Acesso em: 24 fev. 2019.
- _____. **Queda do açúcar e alta do dólar inflam dívidas das usinas**. Disponível em: <<https://www.valor.com.br/agro/5676479/queda-do-acucar-e-alta-do-dolar-inflam-dividas-das-usinas>>. Acesso em: 24 jan. 2019.
- RAMOS, C. S.; ROCHA, A. DO A. São Martinho e Raízen confirmam compra de canaviais da Usina Furlan. **Valor Econômico**, p. Agronegócios, 5 jul. 2018.
- RAMOS, P.; SZMRECSÁNYI, T. Evolução histórica dos grupos empresariais da agroindústria canavieira paulista. **História Econômica & História de Empresas**, v. 1, p. 85–115, 2002.
- REBELO, S. C. F. **A estrutura de capital e a performance das empresas hoteleiras portuguesas e espanholas**. [s.l.] Universidade do Algarve, 2016.
- REDDY, M.; YANAGIDA, J. F. Technical Efficiency Analysis of Fiji's Sugar Industry: An Application of the Stochastic Frontier Production Function Approach. **South African Journal of Economic and Management Sciences**, v. 2, n. 1, p. 77–92, 1999.
- REZENDE, M. L.; RICHARDSON, J. W. Economic feasibility of sugar and ethanol production in Brazil under alternative future prices outlook. **Agricultural Systems**, v. 138, p. 77–87, 2015.
- RISSARDI JÚNIOR, D. J. **Três ensaios sobre a agroindústria canavieira no Brasil pós-desregulamentação**. [s.l.] Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2015.
- RODRIGUES, L.; RODRIGUES, L. Economic-financial performance of the Brazilian sugarcane energy industry: An empirical evaluation using financial ratio, cluster and discriminant analysis. **Biomass and Bioenergy**, v. 108, n. April, p. 289–296, 2018.

- RODRIGUES, M. A. *et al.* **Eficiência técnica do setor canavieiro do Estado de São Paulo** VIII Congresso da APDEA e o II Encontro Lusófono em Economia, Sociologia, Ambiente e Desenvolvimento Rural, ESADR 2016. **Anais...**2016Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2993636>>
- RODRIGUES, R. L. **Teoria de Agência, governança corporativa e política de dividendos: evidências nas empresas brasileiras de capital aberto**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2015.
- ROSA, J. H. M. *et al.* Cana-de-Açúcar. *In: Campo Futuro: resultados 2017*. Brasília: Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil, 2017. p. 113–128.
- ROSS, S. A. . *et al.* **Administração Financeira**. 10a. ed. [s.l.] McGraw-Hill Education, 2015.
- SALGADO JUNIOR, A. P. *et al.* **Investment potential for new sugarcane plants in brazil based on assessment of operational efficiency**International Food and Agribusiness Management Review. **Anais...**2014
- SALLES-FILHO, S. *et al.* Innovation in the Brazilian Bioethanol Sector: Questioning Leadership. *In: Global Bioethanol*. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 122–141.
- SALLES-FILHO, S. L. M. *et al.* Perspectives for the Brazilian bioethanol sector: The innovation driver. **Energy Policy**, v. 108, n. May, p. 70–77, 2017.
- SANTOS, G. R. DOS; *et al.* A agroindústria canavieira e a produção de etanol no Brasil: características, potenciais e perfil da crise atual. *In: SANTOS, G. R. DOS (Ed.). . Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil : desafios, crises e perspectivas*. Brasília, DF: IPEA, 2016. p. 17–45.
- SCHULZE, W. S. *et al.* Agency Relationships in Family Firms: Theory and Evidence. **Organization Science**, v. 12, n. 2, p. 99–116, 2001.
- SHARPE, S. A. Financial Market Imperfections, Firm Leverage, and the Cyclicity of Employment. **The American Economic Review**, v. 84, n. 4, p. 1060–1074, 1994.
- SHIKIDA, P. F. A.; AZEVEDO, P. F.; VIAN, C. E. DE F. Desafios da Agroindústria Canavieira no Brasil Pós-desregulamentação : uma análise das capacidades tecnológicas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 03, p. 599–628, 2011.
- SHIROTA, R. **Efficiency in Financial Intermediation: A Study of The Chilean Banking Industry**. [s.l.] Ohio State University, 1996.
- SILVA, H. J. T. DA; MARQUES, P. V. Evolution of Production Costs in Brazilian Sugar-Energy Sector. **China-USA Business Review**, v. 16, n. 3, p. 93–107, 28 mar. 2017.
- SIQUEIRA, P. H. DE L. **Análise das estratégias de crescimento e de localização da agroindústria canavieira no Brasil e suas externalidades**. [s.l.] Universidade Federal de Lavras, 2013.
- SIQUEIRA, P. H. DE L.; CASTRO JUNIOR, L. G. DE. Fusões e aquisições das unidades produtivas e da agroindústria de cana-de-açúcar no Brasil e nas distribuidoras de álcool hidratado etílico. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 48, n. 4, p. 709–735, 2010.
- SPALIARA, M.-E. Do financial factors affect the capital-labour ratio? Evidence from UK firm-level data. **Journal of Banking and Finance**, v. 33, n. 10, p. 1932–1947, 2009.
- STEPHAN, A.; TALAVERA, O.; TSAPIN, A. Corporate debt maturity choice in emerging financial markets. **Quarterly Review of Economics and Finance**, v. 51, n. 2, p. 141–151, 2011.
- STIGLER, G. J. The Xistence of X-Efficiency. **The American Economic Review**, v. 66, n. 1, p. 213–216, 1976.
- STULZ, R. M. Managerial discretion and optimal financing policies. **Journal of Financial Economics**, v. 2015, p. 3–27, 1990.

- SUEYOSHI, T.; GOTO, M. DEA environmental assessment in time horizon: Radial approach for Malmquist index measurement on petroleum companies. **Energy Economics**, v. 51, p. 329–345, 2015.
- TANNURI-PIANTO, M. E.; SOUSA, M. DA C. S. DE; ARCOVERDE, F. D. Fronteiras de eficiência estocásticas para as empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil: uma análise de dados de painel. **Estudos Econômicos**, v. 39, n. 1, p. 221–247, 2009.
- TTTMAN, S.; WESSELS, R. The Determinants of Capital Structure Choice. **The Journal of Finance**, v. XLIII, n. 1, p. 1–19, 1988.
- TUPY, O.; YAMAGUCHI, L. C. T. Eficiência e produtividade: conceitos e medição. **Agricultura em São Paulo**, v. 45, n. 2, p. 39–51, 1998.
- UNICA - UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **UNICADATA**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br>>. Acesso em: 11 ago. 2017.
- VIAN, C. E. F.; RODRIGUES, L.; SILVA, H. J. T. Evolution in Public Policies Designed to Develop the Sugar–Energy Industry in Brazil. *In*: CHANDEL, A.; SILVEIRA, M. H. L. (Eds.). . **Advances in Sugarcane Biorefinery. Technologies, Commercialization, Policy Issues and Paradigm Shift for Bioethanol and By-Products**. 1. ed. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 279–306.
- VILLALONGA, B.; AMIT, R. How do family ownership, control and management affect firm value? **Journal of Financial Economics**, v. 80, n. 2, p. 385–417, 2006.
- VU, M. C.; PHAN, T. T.; LE, N. T. Relationship between board ownership structure and firm financial performance in transitional economy: The case of Vietnam. **Research in International Business and Finance**, v. 45, n. September 2017, p. 512–528, 2018.
- WHITE, H. A Heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity. **Econometrica**, v. 48, n. 4, p. 817–838, 1980.
- WILLIAMS, J. Perquisites, Risk, and Capital Structure. **The Journal of Finance**, v. 42, n. 1, p. 29–48, 1987.
- WILLIAMSON, O. E. Hierarchical Control and Optimum Firm Size. **Journal of Political Economy**, v. 75, n. 2, p. 123–138, 1967.
- WOOLDRIDGE, J. W. **Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data**. London, England: The MIT Press, 2010.
- XAVIER, C. E. O. **Análise da eficiência do setor sucroenergético brasileiro**. [s.l.] Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2014.
- YAMADA, S. **Cadeia produtiva da cana-de-açúcar em Goiás e análise de desempenho em eficiência de sistemas produtivos**. [s.l.] Universidade de Brasília, 2014.
- ZHOU, X. Understanding the determinants of managerial ownership and the link between ownership and performance: comment. **Journal of Financial Economics**, v. 62, p. 559–571, 2001.

3. INTER-RELAÇÃO ENTRE PERFORMANCE E ESTRUTURA DE CAPITAL: EVIDÊNCIAS PARA AS USINAS DE AÇÚCAR E ETANOL NO BRASIL

Resumo

Este artigo investiga a relação entre performance e estrutura de capital das empresas de açúcar e etanol no Brasil. Em particular, abordam-se as seguintes questões: *i*) a maior alavancagem leva a um melhor desempenho da empresa? e *ii*) a eficiência exerce um efeito significativo sobre a alavancagem, além das métricas financeiras tradicionais? De forma a responder ambas as questões, o artigo se ampara em duas hipóteses, *i*) uma maior alavancagem reduz os custos de agência, bem como a ineficiência e, assim, leva a uma melhoria no desempenho da empresa, como preconizado por Jensen e Meckling (1976) (H_0) e *ii*) em sentido reverso, as empresas com melhor desempenho optam por menores níveis de alavancagem - hipótese eficiência-risco (*efficiency-risk hypothesis*) (H_2), conforme proposição de Berger e Bonaccorsi di Patti (2006). Utilizando-se dados anuais de uma amostra de usinas de açúcar e etanol, localizadas no Brasil, entre 2006 e 2015, não se descarta a hipótese do custo de agência dos acionistas externos junto ao setor sucroenergético brasileiro, de forma que uma maior alavancagem está associada a um melhor desempenho da empresa, especificamente, para empresas com níveis de dependência financeira superiores a 57,52%. Além disso, avalia-se a causalidade reversa entre desempenho da empresa e a dependência financeira através de duas hipóteses concorrentes: a hipótese eficiência-risco (*efficiency-risk hypothesis*) (H_2) e a hipótese do valor de franquia (*franchise-value hypothesis*) (H_{2a}). Utilizando a análise de regressão quantílica, constata-se que há um efeito negativo entre o desempenho da empresa e a sua alavancagem para todos os valores de eficiência até cerca de 0,57, indicando que a hipótese eficiência-risco não é válida para todos os valores relevantes de eficiência. No setor sucroenergético brasileiro, fica evidente o impacto da alavancagem sobre o desempenho das empresas e vice-versa. Aditivamente, o tamanho da empresa, a tangibilidade de seus ativos, a idade, a liquidez corrente e a categoria da propriedade (empresa familiar ou não) foram fatores relevantes na determinação da alavancagem das usinas de açúcar e etanol.

Palavras-chave: Eficiência; Endividamento; Alavancagem; Setor sucroenergético; Códigos de Classificação JEL; C58; G32; L25

Abstract

This paper investigates the relationship between performance and capital structure of sugar and ethanol companies in Brazil. In particular, the following questions are addressed: *i*) does higher leverage lead to better company performance? and *ii*) does efficiency have a significant effect on leverage besides traditional financial metrics? In order to answer both questions, the article relies on two hypotheses: *i*) higher leverage reduces agency costs as well as inefficiency, leading, thus, to an improvement in company performance as stated by Jensen e Meckling (1976) (H_0) and *ii*) in reverse, companies with better performances opt for lower levels of leverage - *efficiency-risk hypothesis* (H_2), as proposed by Berger e Bonaccorsi di Patti (2006). Using annual data from a sample of sugar and ethanol mills located in Brazil between 2006 and 2015, the results do not rule out the hypothesis of the agency cost of the external shareholders in the Brazilian sugar-energy industry, in such a way that greater leverage is associated to a better performance of the company, specifically for companies with levels of financial dependence higher than 57.52%. In addition, the reverse causality between company performance and financial dependency is assessed through two competing hypotheses: the efficiency-risk hypothesis (H_2) and the franchise-value hypothesis (H_{2a}). Using quantile regression analysis, it is possible to see that there is a negative effect between the company's performance and its leverage for all efficiency values up to about 0.57, indicating that the efficiency-risk hypothesis is not valid for all relevant values of efficiency. In the Brazilian sugar-energy industry, the impact of leverage on the performance of companies and vice versa is evident. Additionally, the size of the company, the tangibility of its assets, the age, the current liquidity and the category of the property (family company or not) were relevant factors in determining the leverage of the sugar and ethanol mills.

Keywords: Efficiency; Indebtedness; Leverage; Sugar-energy industry

3.1. Introdução

O setor sucroenergético vivenciou um crescimento expressivo após o estabelecimento do Programa Nacional do Álcool (Pró-Álcool), a partir de 1975, com a produção em larga escala de etanol no Brasil. Um novo ciclo de crescimento vertiginoso foi verificado na década de 2000, após a introdução dos veículos *flex-fuel*. Não obstante, a partir da década de 2010, a sua trajetória foi marcada por “crises” com destaque para as discussões sobre a persistente dificuldade financeira, o elevado endividamento e a baixa rentabilidade das empresas deste setor (Santos *et al.*, 2016).

Ao longo dos últimos anos, os tópicos mais importantes sobre o setor sucroenergético brasileiro perpassaram pelos itens supramencionados, além daqueles que versaram sobre os efeitos do clima na produtividade da cana-de-açúcar (Marin *et al.*, 2013) e o comprometimento da receita das agroindústrias com as despesas financeiras (El Montasser *et al.*, 2015; Ramos, 2018). O Brasil já contou com quase 500 unidades de processamento de cana-de-açúcar, todavia havia apenas 371 unidades ativas no país em 2018 (Brasil, 2019). Essa redução de agroindústrias, as quais faliram ou fecharam, é resultado da crise que assolou o setor sucroenergético na primeira metade da década de 2010, influenciando os níveis de produtividade dos canaviais, além das adversidades climáticas que impactaram diretamente as lavouras de cana-de-açúcar (Ramos, 2017; Rissardi Júnior, 2015; Siqueira, 2013).

A partir de 2008, o agravamento da situação financeira das empresas do setor também deu origem à entrada de novos atores no setor produtivo, o que alterou significativamente a configuração societária e organizacional do setor (Vian, Rodrigues e Silva, 2017). Desde então, o setor vive uma estagnação da produção de Açúcar Total Recuperável por hectare (ATR/ha). O investimento em projetos *greenfields* praticamente cessou, enquanto um processo de fechamento de unidades produtoras iniciou-se, causando uma nova era de crise para a agroindústria canavieira. Entre 2008 e 2015, 96 unidades interromperam as suas atividades no país (EPE, 2017; UNICA, 2017). Este indicador evidencia o momento pelo qual passou o setor no país, em oposição ao seu tamanho e potencial.

Observa-se, portanto, que o setor sucroenergético brasileiro foi acometido por diversos problemas, após a crise financeira internacional de 2008, tanto em questões econômico-financeiras quanto operacionais. Por isso, intensificou-se a alegação de que o elevado nível de endividamento das agroindústrias contribuiu para uma redução em seus níveis de investimento na lavoura de cana-de-açúcar e, conseqüentemente em menores níveis de produtividade agrícola, agravando ainda mais a situação destas empresas. Apesar das causas e conseqüências da crise do setor sucroenergético serem amplamente discutidas na literatura econômica (Mendonça, Pitta e Xavier, 2012; Rezende e Richardson, 2015; Santos *et al.*, 2016; Vian, Rodrigues e Silva, 2017), carecem análises sobre os determinantes da estrutura de capital das agroindústrias sucroenergéticas e o impacto sobre a sua performance.

Para ilustrar a necessidade de recursos do setor, pode-se citar que o custo caixa (*cash-cost*) agroindustrial, na safra 2017/18, foi de R\$ 98,33/tonelada⁹ de cana processada, no Estado de São Paulo (PECEGE, 2018). É sabido que as agroindústrias sucroenergéticas precisam manter um nível de caixa razoável tanto para as suas atividades recorrentes, quanto para as excepcionais, incluindo transações não programadas ou resultantes da própria sensibilidade do negócio, tal como adversidades climáticas ou perdas operacionais. Desta forma, anualmente, o setor sucroenergético demanda um volume significativo de recursos monetários, os quais são utilizados para garantir as

⁹ De acordo com PECEGE (2018), no Estado de São Paulo, uma usina média de açúcar e etanol processou 2.405.991 toneladas de cana-de-açúcar na safra 2017/2018. Isso significou um desembolso total da ordem de R\$ 236,6 milhões.

suas atividades, dentre elas, a renovação de canaviais, tratos culturais da lavoura, manutenção de máquinas e equipamentos, processamento industrial, etc.

Os recursos utilizados para o financiamento das atividades do setor podem ser derivados dos fluxos de caixa de suas operações, além daqueles aportados pelos acionistas (capital próprio) e obtido junto às instituições financeiras e aos parceiros comerciais (capital de terceiros). As formas de financiamento e o acesso aos recursos financeiros para financiar investimentos, influem no custo de capital das empresas e, por conseguinte, pode afetar o seu desempenho.

Um maior nível de participação do capital de terceiros na estrutura de capital da empresa, isto é, uma maior alavancagem pode levar a maiores níveis de risco de dissolução e liquidação da empresa. Além disso, em safras de maiores dificuldades, uma maior alavancagem tem um impacto negativo sobre o desempenho da empresa (Campello, 2003; Opler e Titman, 1994). Em alternativa, espera-se que um aumento na alavancagem financeira reduza os custos de informação, reduza a ineficiência, reforce a disciplina e, assim, melhore o desempenho da empresa (Fosu, 2013; Jensen, 1986; Jensen e Meckling, 1976).

O elevado nível de endividamento de uma empresa, especificamente de uma agroindústria sucroenergética, de acordo com Martins *et al.* (2015), traz diversas consequências, dentre elas, *i)* aumento das taxas de juros de novos empréstimos e financiamento; *ii)* dificuldades de acesso ao crédito, em função das restrições e limitações das suas garantias; *iii)* perda de flexibilidade na alocação dos recursos monetários e *iv)* redução dos níveis de investimentos, impedindo uma recuperação mais rápida do setor. Neste artigo, o interesse reside em avaliar empiricamente os efeitos da estrutura de capital sobre o desempenho das usinas de açúcar e etanol no Brasil, e vice-versa, no período de 2006 a 2015.

Tem-se por objetivo: *i)* avaliar o efeito da alavancagem sobre o desempenho da empresa, seguindo o modelo de custo de agência de Jensen e Meckling (1976); *ii)* discutir os determinantes do nível de endividamento das empresas; e *iii)* verificar se o desempenho¹⁰ da empresa tem um efeito sobre a sua estrutura de capital e se esse efeito é semelhante ou não em diferentes estruturas de capital. As duas hipóteses centrais deste artigo são: *i)* uma maior alavancagem reduz os custos de agência, bem como a ineficiência e, assim, leva a uma melhoria no desempenho da empresa (H_0) e *ii)* em sentido reverso, as empresas com melhor desempenho optam por maiores níveis de alavancagem - hipótese eficiência-risco (*efficiency-risk hypothesis*) (H_2). Desta forma, especificamente, pretende-se examinar se a alavancagem tem um efeito positivo sobre a eficiência e se o efeito reverso - da eficiência sobre a alavancagem - é semelhante em todo o espectro de diferentes estruturas de capital.

Dada a importância do setor sucroenergético ao agronegócio, faz-se necessário compreender a estrutura de capital e as variáveis condicionantes do endividamento das empresas produtoras de açúcar e etanol, tal como este artigo se propõe. Apesar da relevância do tema, nenhum¹¹ estudo analisou os impactos da estrutura de capital sobre o desempenho das empresas e vice-versa, especificamente, para as empresas deste setor. Os estudos disponíveis, tal como os realizados por Rodrigues e Rodrigues (2018), Martins *et al.* (2015) e Noriller *et al.* (2011), limitam-se a análises sobre a evolução dos indicadores econômico-financeiros sem, necessariamente, depreender sobre a performance das usinas. Destarte, este artigo, procurar suprimir a lacuna existente na literatura econômica sobre a inter-relação da performance e da estrutura de capital das usinas de açúcar e etanol no Brasil.

¹⁰ Este artigo utilizará uma estimativa da eficiência, derivado de um modelo DEA (*Data Envelopment Analysis*) para avaliar o papel da alavancagem na resolução de conflitos de agência no setor sucroenergético brasileiro.

¹¹ Trata-se de um dos primeiros estudos a considerar a associação entre eficiência produtiva e alavancagem no setor sucroenergético brasileiro. Desconhece-se a existência de algum trabalho que tenha analisado a inter-relação entre a performance e a estrutura de capital no setor de açúcar e etanol, em particular, no Brasil.

O artigo está organizado da seguinte forma: *i)* a próxima seção apresenta uma breve revisão de literatura sobre a relação entre o desempenho da empresa e a sua estrutura de capital (3.2.1); *ii)* a seção 3 descreve a metodologia empregada (modelo empírico e variáveis); *iii)* a seção 4 relata os resultados obtidos e *iv)* a seção 5 apresenta as conclusões do trabalho.

3.2. Revisão de Literatura

3.2.1. Relação entre desempenho das empresas e a sua estrutura de capital

Há uma vasta literatura contendo as argumentações teóricas dos determinantes da estrutura de capital de uma empresa (Harris e Raviv, 1991; Jensen e Meckling, 1976; Modigliani e Miller, 1958; Myers, 1977; Titman e Wessels, 1988). Adicionalmente, o desempenho de uma empresa também é influenciado pelo seu nível de endividamento e vice-versa (Berger e Bonaccorsi di Patti, 2006; Margaritis e Psillaki, 2010). A seção 3.2.1.1 dedica-se a analisar os efeitos da estrutura de capital sob o desempenho corporativo, enquanto que a seção 3.2.1.2 discute a causalidade reversa entre desempenho da empresa e estrutura de capital.

3.2.1.1. Impacto da alavancagem sobre o desempenho da empresa

Conforme apresentado por Jensen e Meckling (1976), uma relação de agência consiste num contrato sob o qual os acionistas (principal ou diretor) contratam outra pessoa (agente), neste caso os gestores, para executar em seu nome a gestão da empresa, o que implica delegação de poder de decisão ao agente. Nesta linha, a teoria de agência, a qual analisa o problema do principal-agente ou dilema da agência, preconiza que os interesses¹² do principal e do agente nem sempre estão perfeitamente alinhados, gerando por sua vez os conflitos e custos de agência.

Os conflitos surgem quando os gestores coordenam atividades e ações com vistas a maximizarem a sua própria utilidade, ao invés de maximizarem o valor da empresa, o qual corresponde ao objetivo dos acionistas externos. Desse modo, os conflitos de agência surgem no momento em que os gestores tomam decisões sobre as políticas de investimento, de financiamento e de dividendos (Rodrigues, 2015). Visando aos próprios interesses, os gestores podem utilizar o fluxo de caixa livre¹³ para, por exemplo, consumir gratificações excessivas ou investir em projetos duvidosos e de elevado risco.

Elevados níveis de endividamento podem impor disciplina de investimento aos gestores, bem como impeli-los a reduzir desperdícios, de forma a pressioná-los a gerar fluxos de caixa para atender aos compromissos da dívida (pagamentos de juros e os valores das amortizações). Nestas situações, a dívida terá um efeito positivo sob o valor da empresa, isto é, a alavancagem financeira – ou uma baixa relação patrimônio líquido/ativo total – atua como um mecanismo disciplinar na mitigação dos custos de agência e, assim, contribui para uma melhoria no

¹² “Se ambas as partes da relação forem maximizadoras de utilidade, há boas razões para acreditar que o agente nem sempre agirá de acordo com os interesses do principal” (Jensen e Meckling, 1976, p.308).

¹³ O Fluxo de Caixa Livre para os Acionistas (*Free Cash Flow to Equity* – FCFE) corresponde ao caixa disponível após o pagamento das dívidas e das necessidades de reinvestimento, ou seja, equivale ao fluxo de caixa que poderia ser pago como dividendos (Damodaran, 2004). Jensen (1986) denomina essa situação de “*free cash flow theory*” ou “*free-cash-flow hypothesis*”.

desempenho¹⁴ da empresa (Fama e French, 2001; Jensen, 1986). Assim sendo, a hipótese do custo de agência dos acionistas externos (H_0) pressupõe que os altos níveis de alavancagem reduzem os custos de agência dos acionistas externos, aumentam o valor da empresa, ao restringir ou encorajar os gestores a agir de forma mais alinhada aos interesses dos acionistas, e aumentam o seu desempenho.

Assim sendo, se houver uma estrutura de governança ativa, maiores níveis de alavancagem financeira podem reduzir os custos de agência e, conseqüente, melhorar a performance da empresa, em função, de alguns fatores, tais como: *i*) a ameaça de dissolução e liquidação da empresa, a qual pode gerar perdas pessoais aos gestores na forma de salários, privilégios e benefícios (Grossman e Hart, 1982; Williams, 1987); *ii*) a pressão para gerar fluxo de caixa positivo para honrar os compromissos da dívida (Jensen, 1986); *iii*) a mitigação dos conflitos entre o principal e o agente em relação às decisões de investimentos (Myers, 1977); *iv*) aos riscos assumidos (Jensen e Meckling, 1976; Williams, 1987); e *v*) à política de dividendos (Jensen e Meckling, 1976; Jensen, 1986; Stulz, 1990; Fama e French, 2001; Rodrigues, 2015).

Enquanto o aumento da alavancagem pode reduzir os custos de agência dos acionistas externos, o efeito contrário pode surgir em relação aos custos de agência da dívida da empresa, ou seja, maior alavancagem poderia resultar em menor eficiência. Por exemplo, os credores exigirão maiores taxas de juros para compensar o maior nível de risco assumido, oriundo de eventuais problemas financeiros ou eventual falência da empresa, dado o seu elevado nível de alavancagem.

Os custos de agência também podem emergir da relação entre os provedores de capital, especificamente entre os credores (*debt*) e os acionistas (*equity investors*), quando há risco de inadimplência. Nesta situação, de acordo com Myers (1977), pode se manifestar o problema de “subinvestimento” (*underinvestment*) ou do “excesso de dívida” (*debt overhang*), em que uma empresa alavancada¹⁵ reduz os seus níveis de investimento, em especial em projetos mais rentáveis ou relacionados à estratégias de melhor desempenho operacional, pois os credores capturam a maior parte dos benefícios dos projetos, resultando em baixos níveis de retorno aos acionistas.

A postulação de que os credores passam a se beneficiar mais dos que os acionistas, contribui para que a empresa se abstenha de novas oportunidades de investimentos, as quais poderiam contribuir positivamente para o seu valor de mercado. Numa empresa alavancada, especialmente aquelas à beira da inadimplência o montante da dívida é uma variável limitante na avaliação de novos projetos e oportunidades de investimentos, os quais possuem maior risco de não serem financiados, uma vez que o fluxo de caixa gerado deve ser utilizado, inicialmente, para honrar os compromissos da dívida (Milanez, 2012). Neste caso, há um impacto negativo da alavancagem sob o investimento e, por conseguinte, sob o valor da empresa, conforme preconizado por Myers (1977)¹⁶.

Posto isso, enquanto os custos de agência dos acionistas externos amparam uma relação positiva da alavancagem sob o desempenho da empresa, os custos de agência da dívida acarretam em um efeito negativo. Desta forma, conforme destacado por Jensen e Meckling (1976), espera-se que o efeito da alavancagem sobre a performance das empresas não seja monotônico.

¹⁴ A ligação conceitual entre eficiência produtiva e os custos de agência foi inicialmente apresentado por Stigler (1976), sugerindo que a escolha da estrutura de capital ajuda a mitigar os custos de agência.

¹⁵ “a firm with risky debt outstanding, and which acts in its stockholders’ interest, will follow a different decision rule than one which can issue risk-free debt or which issues no debt at all” (Myers, 1977, p.149).

¹⁶ O valor de uma empresa pode ser influenciado, em conformidade com Myers (1977) e Galai e Masulis (1976), pelas decisões de financiamento. No entanto, essa teoria contrapõe a de Modigliani e Miller (1958), os quais argumentaram que as decisões de investimento podem ser tomadas, independentemente, das decisões de financiamento.

3.2.1.2. Causalidade reversa entre desempenho da empresa e estrutura de capital

Observa-se que há um impacto da estrutura de capital sob o desempenho da empresa. Contudo, o desempenho da empresa também pode afetar a determinação da sua estrutura de capital, realçando que há possibilidade de causalidade reversa do desempenho da empresa sobre a sua estrutura de capital. Além dos determinantes clássicos da estrutura de capital, Berger e Udell (2006) formularam duas hipóteses para analisar a relação entre o desempenho da empresa e a sua estrutura de capital, a saber: *i*) hipótese eficiência-risco (*efficiency-risk hypothesis*) (H_2) e *ii*) hipótese do valor de franquia (*franchise-value hypothesis*) (H_{2a}).

Sob a hipótese eficiência-risco (*efficiency-risk hypothesis*), as empresas mais eficientes (*best practice firms*) podem escolher uma maior alavancagem financeira, pois os melhores níveis de eficiência reduzem os custos de uma potencial falência, bem como de dificuldades financeiras. Sob essa hipótese, para uma dada estrutura de capital, tem-se que a eficiência está positivamente associada ao nível de retorno esperado. Essa maior eficiência substitui, em certa medida, o capital próprio (*equity investors*) pelo capital de terceiros (*debt*) (Berger e Udell, 2006). As diferenças de eficiência permitem que as empresas ajustem a sua estrutura de capital, de forma que os ganhos resultantes de eficiência substituem o capital próprio contra os custos de falência e insolvência (Rebelo, 2016).

Em oposição, a hipótese do valor de franquia (*franchise-value hypothesis*) concentra-se no efeito renda gerado pela eficiência na determinação da estrutura de capital. As rendas econômicas derivadas da eficiência estimulam os acionistas a aportes adicionais de recursos, como forma de evitar a perda dessa renda em caso de liquidação da empresa. As empresas tentam proteger os resultados esperados oriundos de elevados níveis de eficiência através da obtenção de capital próprio incremental. As empresas mais eficientes optam por menores níveis de alavancagem e, consequentemente, maior participação do capital próprio para proteger as suas rendas ou o valor da empresa, em uma eventual situação de dissolução e liquidação. Assim, além do efeito de substituição, a relação entre a eficiência e a estrutura de capital também pode ser caracterizada pela presença de um efeito de renda.

Até mesmo as empresas mais eficientes enfrentam um *trade-off* entre os benefícios de uma maior alavancagem (principalmente, benefícios fiscais) e os eventuais custos e dificuldades financeiras de honrar os compromissos da dívida. Uma empresa de maximização de valor operaria no ponto em que os benefícios se igualam aos custos esperados, embora possam optar por maiores ou menores níveis de endividamento, conforme preconizado pelas hipóteses de eficiência-risco e do valor de franquia (Berger e Udell, 2006; Demsetz e Villalonga, 2001).

A *efficiency-risk hypothesis* e a *franchise-value hypothesis* fornecem visões opostas sobre os efeitos do desempenho da empresa em sua estrutura de capital e, por conseguinte, na sua alavancagem. O primeiro concentra-se no efeito substituição, enquanto que o segundo foca no efeito renda. A análise empírica deste trabalho pretende determinar qual o efeito líquido derivado destas hipóteses, isto é, se há uma dominância de um efeito sobre o outro na determinação da estrutura de capital, tal como realizado por Berger e Udell (2006), Cheng e Tzeng (2011), Margaritis e Psillaki (2010) e Rebelo (2016).

3.3. Metodologia

Esta seção está dividida em duas partes. A primeira contém a especificação do modelo empírico (3.3.1) e a segunda o detalhamento das variáveis empregadas nos modelos econométricos e a descrição dos dados e da amostra (3.3.2).

3.3.1. Modelo empírico

Utilizaram-se duas equações, com modelos de regressão com dados em painel, para testar as hipóteses deste artigo. Inicialmente, apresenta-se a equação de desempenho da empresa para testar a hipótese do custo de agência dos acionistas externos (H_o) (3.3.1.1) e, na sequência, a equação de alavancagem da empresa para testar as hipóteses de causalidade reversa (*efficiency-risk hypothesis* e a *franchise-value hypothesis*) (3.3.1.2).

3.3.1.1. Desempenho da empresa

Os testes da hipótese de custos de agência, geralmente, são realizados através de regressões das medidas de desempenho da empresa em relação à alavancagem, além de outras variáveis de controle (Berger e Bonaccorsi di Patti, 2006). Nesta linha e seguindo-se as premissas do modelo de custo de agência e permitindo efeitos defasados na especificação do modelo empírico, a regressão para estimar o desempenho das usinas brasileiras, tal como apresentado por Margaritis e Psillaki (2010), é dado pela Eq. (6).

$$EE_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 LEV_{i,t-1} + \alpha_2 LEV_{i,t-1}^2 + \alpha_3 Z_{1i,t-1} + u_{i,t} \quad (6)$$

Em que $EE_{i,t}$ é a medida de desempenho de cada empresa i no período de tempo t ; $LEV_{i,t-1}$ é a alavancagem da empresa i no período de tempo $t-1$; $Z_{1i,t-1}$ é um vetor de covariáveis (variáveis de controle) e $u_{i,t}$ é o distúrbio estocástico (termo de erro estocástico).

Considerando a hipótese do custo de agência, o efeito da dependência financeira (LEV) sob o escore de eficiência deve ser positivo, de forma que $\alpha_1 > 0$ e $\alpha_1 + 2\alpha_2 LEV_{i,t-1} > 0$. Por outro lado, em situações cujo nível de dependência financeira - e, consequentemente, de alavancagem - for suficientemente elevado, o seu efeito sob o escore de eficiência pode ser negativo¹⁷.

A especificação quadrática da Eq. (6) é coerente com a possibilidade de que a relação entre o escore de eficiência e a dependência financeira não seja monotônica, isto é, podendo ser positiva ou negativa, a depender do nível de alavancagem. A dependência financeira terá um efeito negativo sobre o escore de eficiência para os valores que atendam as condições da Eq. (7).

¹⁷ As empresas mais alavancadas tendem a enfrentar restrições de crédito, o que as impede de ajustar a relação entre capital (K) e trabalho (L) e, por conseguinte, obter uma alocação eficiente dos fatores de produção (Spaliara, 2009). Adicionalmente, de acordo com Sharpe (1994), as empresas altamente alavancadas são menos propensas a acumular mão-de-obra, comparativamente a empresas menos alavancadas. Nessa linha, há uma gama de trabalhos que analisaram os efeitos negativos da alavancagem e do serviço da dívida sobre o trabalho (L) (Benito e Hernando, 2008; Cantor, 1990; Nickell e Nicolitsas, 1999). Além desta visão, a elevada dependência financeira pode ter um efeito negativo sob o desempenho das empresas que apresentam boas oportunidades de crescimento (Jensen, 1986; McConnell e Servaes, 1995; Myers, 1977).

$$LEV_{i,t-1} < \frac{-\alpha_1}{2\alpha_2} \quad (7)$$

A condição suficiente para garantir a relação inversa entre as variáveis $EE_{i,t}$ e $LEV_{i,t-1}$ é que $\alpha_2 < 0$. As variáveis de controle incluídas em Z_1 contém as características de cada empresa e são apresentadas na seção 3.3.2.1 (itens de *iii* a *xj*). A teoria sobre a estrutura de capital não é consensual, de forma que prevalecem hipóteses antagônicas em algumas situações. No entanto, há um entendimento de que os custos de sinalização e de informação, além de questões de controle corporativo possuem um papel importante da determinação da estrutura de capital, de forma que estas variáveis comporão o vetor Z_1 e Z_2 .

3.3.1.2. Modelo de alavancagem

Devido à possibilidade de causalidade reversa do desempenho da empresa sobre a sua estrutura de capital, será estimada a Equação (8). O objetivo é testar as duas hipóteses do desempenho da empresa (hipótese eficiência-risco - *efficiency-risk hypothesis* - e hipótese do valor de franquia - *franchise-value hypothesis*) sobre estrutura de capital da empresa.

A regressão para estimar a alavancagem das empresas, em função da sua medida de desempenho e de outros fatores previamente identificados na literatura, os quais são abarcados pelo vetor Z_2 , é dada pela Eq. (8).

$$LEV_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 EE_{i,t-1} + \beta_2 EE_{i,t-1}^2 + \beta_3 Z_{2i,t-1} + v_{i,t} \quad (8)$$

Em que $LEV_{i,t}$ é a alavancagem da empresa i no período de tempo t ; $EE_{i,t-1}$ é a medida de desempenho de cada empresa i no período de tempo $t-1$; Z_2 é um vetor de covariáveis (variáveis de controle) e $v_{i,t}$ é o distúrbio estocástico (termo de erro estocástico). O vetor de controle Z_2 contém todas as variáveis de Z_1 , além da variável *CAMBIO* - seção 3.3.2.1 (itens de *iii* a *xii*). Desta forma, diferentemente de Z_1 , o vetor controle Z_2 contém uma variável adicional, especificamente, *CAMBIO*.

Sob a hipótese eficiência-risco, a eficiência tem um efeito positivo sobre alavancagem, de forma que $\beta_1 > 0$ e $\beta_1 + 2\beta_2 EE_{i,t-1} > 0$. A condição suficiente para garantir a relação inversa, em forma de “U”, entre $LEV_{i,t}$ e $EE_{i,t-1}$ é que $\beta_2 < 0$. No entanto, o desempenho da empresa terá um efeito negativo sobre a alavancagem para os valores que atendam as condições da Eq. (9).

$$EE_{i,t-1} < \frac{-\beta_1}{2\beta_2} \quad (9)$$

3.3.2. Variáveis selecionadas, dados e amostra

A primeira parte desta seção dedica-se a descrição das variáveis inseridas no modelo, além da apresentação do referencial teórico e empírico que embasa a escolha destas variáveis e o sinal esperado dos parâmetros estimados (3.3.2.1). A segunda parte faz uma especificação dos dados e da amostra (3.3.2.2)

3.3.2.1. Variáveis selecionadas

Inicialmente, são apresentadas as variáveis dependentes das Equações (6) e (8), respectivamente. Na sequência, faz-se um detalhamento das variáveis que compõem os vetores Z_1 e Z_2 .

i. Desempenho da Empresa - (EE):

Na literatura econômica observam-se diferentes medidas para capturar o desempenho da empresa e testar a hipótese do custo de agência dos acionistas externos. Essas medidas incluem: *i)* índices financeiros derivados do Balanço Patrimonial (BP) e da Demonstração do Resultado do Exercício (DRE) (Ang, Cole e Lin, 2000); *ii)* retorno das ações da empresa e a sua volatilidade (Cole e Mehran, 1998); e *iii)* q de Tobin, dado pela razão entre o valor da empresa e o valor de reposição dos seus ativos (Zhou, 2001).

Neste trabalho, será utilizada a abordagem apresentada por Margaritis e Psillaki (2007, 2010) em que o desempenho das usinas sucroenergéticas brasileiras será mensurado pelo escore de eficiência obtido pelo modelo DEA (*Data Envelopment Analysis*) com orientação ao insumo (*input*), a partir da imposição de retornos constantes à escala (CRS).

O modelo DEA foi construído utilizando-se duas variáveis de entrada e duas de saída. As duas variáveis de entrada incluídas para medir os recursos utilizados na produção foram: *i)* processamento de cana-de-açúcar de cada usina, em toneladas, ao longo dos anos e *ii)* valor monetário do ativo imobilizado, em milhares de reais, a preços constantes de 2015. Neste caso, utilizou-se como deflator o Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI) Centrado¹⁸. Por outro lado, as duas variáveis de saída foram: *i)* produção total de etanol (anidro e hidratado) em milhares de metros cúbicos (m^3) e *ii)* produção total de açúcar (VHP, cristal, demerara e etc.) em milhares de toneladas.

Teoricamente, a capacidade de uma empresa melhorar o seu desempenho (escores de eficiência) em relação à fronteira de melhor prática (*best practice frontier*), isto é, em relação aos melhores desempenhos, estará comprometida em função do seu nível de alavancagem. Seguindo Leibenstein (1966), utilizou-se a medida de desempenho como uma *proxy* para os custos de agência, derivados da discrepância entre a produção potencial e efetiva da empresa. Neste caso, empresas individuais com tecnologias semelhantes podem ser comparadas com seus pares de melhor desempenho (*best practice frontier*).

ii. Participação do capital de terceiros - (LEV):

Conhecido como dependência financeira¹⁹, o indicador representa a proporção dos recursos totais de uma empresa (ativo total) que são financiados com capital de terceiros, isto é, por fontes de financiamento que não próprias (Assaf Neto; Lima, 2014). O seu cálculo é dado pela Eq. (10).

$$LEV_{i,t} = \frac{\text{Exigível Total}_{i,t}}{\text{Ativo Total}_{i,t}} \quad (10)$$

¹⁸ Calculado a partir da média geométrica dos valores dos meses corrente e seguinte (meses t e $t+1$) da série original do IGP-DI.

¹⁹ Utiliza-se a participação do capital de terceiros como uma *proxy* para alavancagem financeira. Indistintamente, qualquer menção à alavancagem faz alusão, neste trabalho, à participação do capital de terceiros na estrutura de capital da empresa ou à dependência financeira.

Em que o **Exigível Total** $_{i,t}$ corresponde ao somatório do passivo circulante com o exigível a longo prazo da empresa i no período t .

A estrutura de capital e, conseqüentemente, a sua dependência financeira é um importante determinante do desempenho de uma empresa (Brander e Lewis, 1986; Maksimovic, 1988). Espera-se que o efeito da alavancagem sobre a performance das empresas não seja monotônico, desta forma, também se incluiu no modelo o quadrado desta variável para permitir a não-linearidade em LEV.

As variáveis que compõem os vetores Z_1 e Z_2 , respectivamente, nas Equações (6) e (8), são apresentadas a seguir. Elas correspondem aos fatores condicionantes²⁰ do nível de endividamento das empresas, aplicado às usinas de açúcar e etanol no Brasil, respaldadas pela literatura econômica.

iii. **Tamanho da Empresa - (SZ):**

O tamanho de uma empresa pode ser representado pelo volume das suas vendas, deste modo o logaritmo natural da Receita Operacional Líquida será utilizado como *proxy* para mensurar o tamanho da empresa.

Espera-se que o sinal desta variável seja positivo sobre o escore de eficiência - Eq. (6), uma vez que há uma expectativa de utilização de melhores tecnologias – diversificadas e melhores gerenciadas – pelas maiores empresas. Aditivamente, essas empresas também podem desfrutar de economias de escala, através da diluição dos custos fixos, levando a um nível ótimo de custo de produção e de propriedade gerencial (Himmelberg, Hubbard e Palia, 1999).

No entanto, o tamanho de uma empresa tem um efeito ambíguo *a priori* sob a ótica do risco moral (*moral hazard*). As maiores empresas podem apresentar ineficiências e incorrer em maiores custos de monitoramento e de agência, aumentando a estrutura gerencial desejada. Nesta situação, de acordo com Williamson (1967), há retornos decrescentes de escala. Será flexibilizado, no modelo, a não-linearidade do tamanho da empresa (SZ) sobre a eficiência ($EE_{i,t}$), através da inclusão do quadrado do logaritmo natural da receita operacional líquida (SZ2), conforme procedimento proposto e efetuado por Himmelberg, Hubbard e Palia (1999) e Margaritis e Psillaki (2010).

iv. **Tangibilidade - (TANG):**

Representa a proporção dos ativo fixos tangíveis, dado pela rubrica do ativo imobilizado, em relação ao total de ativos da empresa, tal como empregado por Rajan e Zingales (1995) e apresentado pela Eq. (11).

$$TANG_{i,t} = \frac{\text{Ativo Imobilizado}_{i,t}}{\text{Ativo Total}_{i,t}} \quad (11)$$

O indicador de tangibilidade é facilmente monitorado, de forma a mitigar os conflitos de agência, e fornece uma boa medida da garantia, enquanto colateral. Desta forma, quanto maior a tangibilidade, maior a capacidade de tomar recursos de terceiros utilizando os ativos físicos como garantia. Ademais, maior tangibilidade exprime um maior valor de liquidação, as quais as empresas podem recorrer em momentos de situação financeira delicada. Quanto maior a tangibilidade, menor será a dificuldade na obtenção de financiamento externo, pois haverá menor assimetria de informação e, conseqüentemente, maior é a alavancagem (Harris e Raviv, 1991; Titman e Wessels, 1988).

²⁰ Além das variáveis apresentadas nesta seção, segundo Gleason, Mathur e Mathur (2000), os determinantes do endividamento das empresas possuem forte correlação com os ambientes cultural, legal, político, econômico e tecnológico.

v. Intangibilidade - (INT):

Reflete a razão entre os ativos intangíveis e o capital próprio empregado numa empresa, conforme Eq. (12).

$$INT_{i,t} = \frac{\text{Ativo Intangível}_{i,t}}{\text{Patrimônio Líquido}_{i,t}} \quad (12)$$

Essa variável representa as oportunidades futuras²¹ de crescimento, conforme apresentado por Myers (1977). Todavia, o seu efeito sobre o desempenho de uma empresa pode ser ambíguo, especialmente se essas oportunidades resultarem de um comportamento excessivo de risco em relação ao capital próprio (Titman e Wessels, 1988).

vi. Qualidade da Empresa - (QDE):

O giro do ativo será utilizado como uma *proxy* para a qualidade de uma empresa, pois identifica o grau de eficiência com que os seus ativos são utilizados para a efetivação e geração de receita (Assaf Neto; Lima, 2014). Em outras palavras, ele mensura quantas vezes as vendas líquidas cobriram, em um determinado período de tempo, os ativos totais da empresa, de acordo com a Eq. (13).

$$QDE_{i,t} = \frac{\text{Receita Operacional Líquida}_{i,t}}{\text{Ativo Total}_{i,t}} \quad (13)$$

As empresas de alta qualidade optam por evitar o ônus do pagamento de juros de longo prazo e, conseqüentemente, preferem mais dívidas de curto prazo em sua estrutura de capital. Quanto maior o giro do ativo, melhor a qualidade da empresa e menor a maturidade (vencimento) da dívida (Stephan, Talavera e Tsapin, 2011). Indiretamente, considerando a hipótese da sinalização a partir da teoria da informação assimétrica, as empresas que emitem dívida de curto prazo enviam um sinal de que são empresas de baixo risco e, por conseguinte, de alta qualidade (Diamond, 1984, 1991; Flannery, 1986; Stephan, Talavera e Tsapin, 2011).

vii. Idade - (AGE):

Neste trabalho, AGE será dado pelo logaritmo natural da diferença entre o ano de referência e o ano da abertura da empresa junto à Receita Federal do Brasil (Brasil, 2018).

À medida que as empresas envelhecem, há uma maior disponibilidade de informações a seu respeito e uma reputação de mercado estabelecida gerando, conseqüentemente, menor assimetria de informação. Ademais, há uma relação negativa entre a idade de uma empresa e a dependência financeira, isto é, resultando em menor endividamento em sua estrutura de capital (Bandyopadhyay e Barua, 2016; Petersen e Rajan, 1994).

viii. Rentabilidade - (RENT):

A rentabilidade de uma empresa pode ser expressa pelo lucro antes de juros e impostos (EBIT) em relação ao total de seus ativos, conforme Eq. (14).

²¹ Os ativos intangíveis constituem opções de compra de unidades adicionais em períodos futuros (Myers, 1977).

$$RENT_{i,t} = \frac{EBIT_{i,t}}{Ativo\ Total_{i,t}} \quad (14)$$

Trata-se de um indicador que reflete quão efetivamente a empresa está utilizando os seus ativos para gerar lucro antes que as obrigações contratuais sejam pagas. Espera-se um efeito positivo da rentabilidade (passada) sobre a eficiência de uma empresa, tal como constatado por Margaritis e Psillaki (2007).

ix. Liquidez Corrente - (LC):

Mensura a relação existente entre o ativo circulante e o passivo circulante, tal como apresentado na Eq. (15) e utilizado por Stephan, Talavera e Tsapin (2011).

$$LC_{i,t} = \frac{Ativo\ Circulante_{i,t}}{Passivo\ Circulante_{i,t}} \quad (15)$$

O índice de liquidez corrente representa o volume de recursos que a empresa dispõe em haveres e direitos circulantes (disponível, valores a receber e estoques) em relação à sua dívida de curto prazo (duplicatas a pagar, impostos e contribuições sociais, empréstimos a curto prazo e etc) (Assaf Neto e Lima, 2014).

O índice de liquidez pode ter um impacto ambíguo sobre a estrutura de capital das empresas. Quanto maior a liquidez dos ativos de uma empresa (por exemplo, a comercialização do etanol em relação ao açúcar) e maior o índice de liquidez corrente, menor será a sensibilidade ao pagamento de juros e maior a dívida de longo prazo. As empresas com índices de liquidez mais elevados, isto é, superiores à unidade, podem optar por mais dívidas, especialmente as de longo prazo, evidenciando uma relação positiva entre essas variáveis - liquidez e dívida de longo prazo (Bandyopadhyay e Barua, 2016).

Por outro lado, as empresas com maior liquidez podem usar estes ativos para financiar seus investimentos. Desta forma, a posição de liquidez da empresa pode exercer um impacto negativo sobre a sua alavancagem (Ozkan, 2001).

x. Dívida de Longo Prazo - (DLP):

A razão entre a dívida de longo prazo e o total dos ativos de uma empresa, expressa pela Eq. (16), representa o volume dos ativos que são financiados com empréstimos ou outras obrigações de dívida que vencem em um prazo superior a um ano.

$$DLP_{i,t} = \frac{Empréstimos\ e\ Financiamentos\ de\ Longo\ Prazo_{i,t}}{Ativo\ Total_{i,t}} \quad (16)$$

Este índice de solvência ou cobertura mede a porcentagem de ativos que uma empresa precisaria liquidar para saldar sua dívida de longo prazo e, simplificada, representa uma medida de endividamento de longo prazo (Brito, Corrar e Batistella, 2007).

xi. Propriedade - (PROP):

A agroindústria canavieira no Brasil, dentre 1930 e 1990, foi intensamente marcada pela intervenção estatal e pela formação de grupos empresariais familiares, em sua maioria de italianos e seus descendentes (Ramos e

Szmrecsányi, 2002). Por outro lado, a partir dos anos 2000, novas usinas foram instaladas e/ou adquiridas no país sob propriedade de organizações não familiares, com destaques para grupos e fundos estrangeiros (Siqueira e Castro Junior, 2010).

Há uma literatura relativamente extensa em relação aos efeitos da propriedade sobre o desempenho da empresa (Abdallah e Ismail, 2017; Cui *et al.*, 2019; Demsetz e Villalonga, 2001; Denis e Denis, 1994; Gomez-Mejia *et al.*, 2011; Paniagua, Rivelles e Sapena, 2018; Vu, Phan e Le, 2018). No entanto, as proposições teóricas acabam sendo concorrentes sobre o impacto da propriedade familiar no desempenho da empresa, tal como elencado abaixo.

Nas propriedades familiares reduz-se o problema do principal–agente ou dilema da agência, de forma que, pela teoria da agência, se prevê um efeito positivo da propriedade familiar sobre o desempenho da empresa (Anderson e Reeb, 2003; Morck, Shleifer e Vishny, 1988; Villalonga e Amit, 2006).

Não obstante, há uma outra corrente na literatura econômica que associa uma redução no nível de desempenho da empresa à propriedade familiar, pois os membros da família tendem a ocupar posições-chave de gestão dentro destas organizações. Neste contexto, as empresas familiares são ineficientes devido a problemas de seleção de gestores e prática de nepotismo (Claessens *et al.*, 2002), além da busca por interesses não financeiros²² (Bertrand e Schoar, 2006; Chen, Hsu e Chen, 2014; Morck e Yeung, 2003).

A disciplina gerencial pode ser mais fraca, ou até mesmo ausente, nas empresas familiares, se os gestores forem escolhidos por conta do seu parentesco e não pelas suas habilidades e capacidades técnicas (Anderson e Reeb, 2003; Schulze *et al.*, 2001). Ademais, empresas familiares encorajam a consolidação e a exploração de benefícios privados de controle, o que pode impedir mecanismos efetivos de monitoramento interno, tal como o Conselho de Administração, e mecanismos externos de governança corporativa (Denis e Denis, 1994).

Neste trabalho, controlou-se o efeito do tipo de propriedade, dividindo-se as empresas da amostra em dois grupos: *i*) empresas pertencentes a famílias ou indivíduos relacionados (empresas familiares) e *ii*) empresas de propriedade de instituições financeiras - bancos, fundos de investimento e seguradoras - e empresas com outros tipos de propriedade (outros). Utilizou-se uma variável binária (*dummy*), a qual assume valor 1 para empresas familiares e 0 para as demais.

xii. Taxa de Câmbio - (CAMBIO):

As usinas de açúcar e etanol no Brasil captaram recursos no exterior em dólar, através de bancos privados, aproveitando-se dos subsídios internos, das baixas taxas de juros no mercado internacional e da valorização do real durante o seu período de expansão, especificamente na década de 2000 (Mendonça, Pitta e Xavier, 2012; Santos *et al.*, 2016). Se por um lado, o acesso ao crédito permitiu maiores níveis de investimento no setor naquele período, com a desvalorização do real frente ao dólar, a partir de 2008, o setor passou a acumular uma dívida milionária.

Desta forma, a taxa de câmbio é uma variável importante na determinação do nível de alavancagem do setor sucroenergético brasileiro, estando inserida apenas no vetor controle Z_2 . Utilizou-se a taxa de câmbio comercial para compra (R\$/US\$), média anual, fornecida pelo (BACEN, 2019) e não houve distinção desta variável entre as empresas, figurando-se o mesmo valor para todas as usinas em cada ano.

²² O interesse em fatores não financeiros está associado à preocupação com proposições de “riqueza sócio-emocional”. As empresas familiares são mais propensas a ter alguma ênfase em fatores não financeiros (Gomez-Mejia *et al.*, 2011).

3.3.2.2. Dados e amostra

Os dados utilizados são anuais e compreendem informações das usinas de açúcar e etanol, localizadas no Brasil, entre 2006 e 2015. Esse corte temporal permitiu a estrutura defasada das Equações (6) e (8), além disso o período também foi suficiente para incorporar os efeitos dos custos de agência e práticas de gestão que, provavelmente, foram refletidas nas medidas de desempenho das empresas. A Tabela 9 apresenta um resumo das variáveis empregadas nos modelos econométricos, da mesma maneira como descrito na seção 3.3.2.1, além de uma breve descrição, a fonte de obtenção informações e os autores que fundamentam a escolha destas variáveis.

Tabela 9. Variáveis utilizadas nos modelos econométricos.

Variável	Sigla	Descrição	Fonte	Referencial teórico e empírico
Participação do capital de terceiros	LEV	Participação do capital de terceiros.	DF*	Gleason, Mathur e Mathur (2000); Brander e Lewis (1986); Maksimovic (1988).
	LEV2	Quadrado da participação do capital de terceiros.	DF*	
Tamanho da Empresa	SZ	Logaritmo natural da Receita Operacional Líquida, utilizado como <i>proxy</i> para mensurar o tamanho da empresa.	DF*	Gleason, Mathur e Mathur (2000); Himmelberg, Hubbard e Palia (1999); Margaritis e Psillaki (2010).
	SZ2	Quadrado do logaritmo natural da Receita Operacional Líquida, incluído para permitir a não-linearidade em SZ.	DF*	
Tangibilidade	TANG	Razão entre o ativo imobilizado e o total de ativos da empresa.	DF*	Gleason, Mathur e Mathur, (2000); Harris e Raviv (1991); Lei, Qiu e Wan (2018); Titman e Wessels (1988).
Intangibilidade	INT	Razão entre o ativo intangível e o patrimônio líquido.	DF*	Myers (1977); Titman e Wessels (1988).
Qualidade da Empresa	QDE	Giro do ativo (razão entre a receita operacional líquida e o total de ativos da empresa).	DF*	Diamond (1984); Diamond (1991); Flannery (1986); Stephan, Talavera e Tsapin (2011).
Idade	AGE	Logaritmo natural da diferença entre o ano de referência e a data da abertura da empresa junto à Receita Federal do Brasil.	Brasil (2018)	Bandyopadhyay e Barua, (2016); Petersen e Rajan (1994).
Rentabilidade	RENT	Razão entre o EBIT (<i>Earnings Before Interest and Taxes</i>) e o total de ativos da empresa.	DF*	Margaritis e Psillaki (2007).
Liquidez Corrente	LC	Razão entre o ativo circulante e o passivo circulante.	DF*	Bandyopadhyay e Barua (2016); Stephan, Talavera e Tsapin (2011).
Dívida de Longo Prazo	DLP	Razão entre a dívida de longo prazo e o total de ativos da empresa.	DF*	Brito, Corrar e Batistella (2007).
Propriedade	PROP	Variável binária (<i>dummy</i>), a qual assume valor 1 para empresas familiares e 0 para as demais.	NovaCana (2018)	Demsetz (1983); Demsetz e Villalonga (2001); King e Santor (2008).
Taxa de Câmbio	CAMBIO	Logaritmo natural da taxa de câmbio média anual em R\$/US\$.	Bacen (2019)	Mendonça, Pitta e Xavier (2012); Santos <i>et al.</i> (2016).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: * Demonstrações Financeiras²³.

²³ Todas as empresas da amostra estão constituídas juridicamente como sociedades anônimas e cujas demonstrações financeiras foram publicadas no órgão oficial da União ou do Estado em que a sede da companhia está situada, conforme estabelece o Art. 289 da Lei de S/A (BRASIL, 2018). Desta forma, obteve-se individualmente as Demonstrações Financeiras de cada empresa para o período de análise, o qual compreende os anos de 2006 a 2015, e, posterior, tabulação das informações necessárias.

O processo de amostragem não é probabilístico, uma vez que foram selecionadas as empresas das quais havia disponibilidade e acessibilidade às informações primordiais ao estudo. A amostra é fixa a partir de 2010 em 32 empresas, uma vez que algumas empresas iniciaram as suas operações em períodos subsequentes ao do início de análise, isto é, em 2006. Entre 2006 e 2015, em média, as empresas da amostra responderam por 35,7%, 33,9% e 38,6% da produção nacional de cana-de-açúcar, etanol e açúcar, respectivamente.

3.4. Resultados e discussões

3.4.1. Estatística Descritiva

A Tabela 10 apresenta as estatísticas descritivas anuais (média aritmética e desvio-padrão) das variáveis utilizadas nos modelos econométricos, conforme delimitado pelas Equações (6) e (8).

Tabela 10. Estatística descritiva (média aritmética e desvio-padrão) das variáveis empregadas nos modelos econométricos.

Variável	Ano									
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
CRS ¹	0,936 (0,104)	0,930 (0,062)	0,971 (0,038)	0,934 (0,076)	0,929 (0,050)	0,922 (0,052)	0,896 (0,114)	0,913 (0,062)	0,914 (0,070)	0,841 (0,095)
VRS ¹	0,964 (0,078)	0,953 (0,055)	0,979 (0,036)	0,951 (0,073)	0,951 (0,050)	0,951 (0,050)	0,926 (0,115)	0,940 (0,061)	0,946 (0,067)	0,928 (0,077)
EE ¹	0,971 (0,054)	0,976 (0,038)	0,991 (0,016)	0,982 (0,024)	0,976 (0,025)	0,969 (0,035)	0,968 (0,036)	0,971 (0,035)	0,967 (0,035)	0,906 (0,076)
LEV	0,585 (0,120)	0,620 (0,167)	0,750 (0,151)	0,706 (0,131)	0,646 (0,159)	0,650 (0,158)	0,673 (0,169)	0,699 (0,178)	0,731 (0,220)	0,773 (0,3)
SZ ²	0,685 (0,851)	0,589 (1,099)	0,595 (0,793)	0,814 (0,898)	1,004 (1,147)	1,265 (1,895)	1,324 (2,091)	1,375 (2,184)	1,422 (2,253)	1,729 (2,912)
TANG	0,503 (0,189)	0,506 (0,210)	0,555 (0,174)	0,512 (0,175)	0,476 (0,158)	0,464 (0,138)	0,437 (0,124)	0,430 (0,130)	0,388 (0,119)	0,419 (0,154)
INT	0,001 (0,002)	0,022 (0,120)	0,044 (0,138)	0,051 (0,114)	0,038 (0,094)	0,064 (0,181)	0,268 (1,239)	0,368 (1,287)	0,047 (0,696)	0,133 (0,852)
QDE	0,739 (0,329)	0,486 (0,254)	0,481 (0,268)	0,568 (0,295)	0,581 (0,282)	0,555 (0,28)	0,540 (0,234)	0,526 (0,185)	0,505 (0,159)	0,599 (0,202)
AGE	28,357 (13,256)	27,400 (14,801)	27,645 (15,147)	28,645 (15,147)	28,750 (15,738)	29,750 (15,738)	30,750 (15,738)	31,750 (15,738)	32,750 (15,738)	33,750 (15,738)
RENT	0,102 (0,083)	0,008 (0,053)	-0,034 (0,238)	0,051 (0,061)	0,087 (0,062)	0,074 (0,086)	0,036 (0,079)	0,036 (0,061)	0,016 (0,058)	0,068 (0,088)
LC	1,729 (0,897)	1,812 (1,665)	1,132 (0,966)	0,945 (0,542)	1,086 (0,685)	1,189 (0,812)	1,322 (0,949)	1,221 (0,808)	1,281 (0,874)	1,278 (0,805)
DLP	0,161 (0,100)	0,221 (0,140)	0,229 (0,144)	0,217 (0,121)	0,199 (0,123)	0,234 (0,141)	0,263 (0,159)	0,276 (0,131)	0,315 (0,181)	0,284 (0,167)
PROP	0,857 (0,356)	0,867 (0,346)	0,839 (0,374)	0,839 (0,374)	0,813 (0,397)	0,813 (0,397)	0,813 (0,397)	0,813 (0,397)	0,813 (0,397)	0,813 (0,397)
CAMBIO	2,175 (0)	1,947 (0)	1,834 (0)	1,997 (0)	1,759 (0)	1,674 (0)	1,954 (0)	2,157 (0)	2,353 (0)	3,331 (0)
Observações ³	28	30	31	31	32	32	32	32	32	32

Fonte: Elaborado pelo autor.

Notas: O valor especificado entre parênteses corresponde ao desvio-padrão;

¹ Corresponde à média geométrica dos índices de Malmquist;

² Em milhões de reais a preços constantes de 2015;

³ Número de usinas (DMUs) em cada ano, isto é, corresponde ao número de unidades de corte transversal no modelo de regressão com dados em painel.

A Figura 6 apresenta a evolução da participação do capital de terceiros, entre 2006 e 2015, através de *boxplots*. Além disso, inclui-se um losango, o qual representa a média deste indicador para as empresas brasileiras de capital aberto, a partir dos dados fornecidos pelo Instituto Assaf Neto (2018).

Figura 6. *Boxplots* da participação do capital de terceiros (LEV) do setor sucroenergético e média da participação do capital de terceiros das empresas de capital aberto (losango) entre 2006 e 2015.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da pesquisa e Instituto Assaf Neto (2018).

As empresas do setor sucroenergético brasileiro apresentaram ao longo do período de análise, excetuando-se 2006, um nível de participação do capital de terceiros superior à média das empresas de capital aberto do país. Isto significa que as agroindústrias sucroenergéticas apresentaram níveis mais elevados de endividamento e alavancagem comparativamente as demais empresas da economia brasileira. A combinação de baixos níveis de crescimento deste setor e condições financeiras mais severas implicaram numa deterioração dos balanços destas empresas, um vez que os empréstimos bancários têm um peso importante nos seus passivos, resultando numa redução da rentabilidade (EBIT/Ativo Total) de 2010 a 2014 (Tabela 10).

Após 2008, fica patente a heterogeneidade do setor e o aprofundamento do hiato entre as empresas, reforçando que há grandes disparidades em termos técnicos e econômicos entre elas. Por exemplo, em 2015, a empresa com menor nível de alavancagem, possuía apenas 18,92% de participação de capital de terceiros em sua estrutura de capital. Em alternativa, no outro extremo, há uma empresa da amostra com 188,17% de participação de capital de terceiros. Isso indica que a usina apresenta patrimônio líquido negativo (*negative shareholder equity*) - passivo a descoberto -, dado que os prejuízos acumulados, ao longo das safras anteriores, superaram os recursos aportados pelos sócios da Companhia e os lucros acumulados, indicando que a mesma está operando essencialmente com recursos de terceiros.

3.4.2. Resultados dos modelos empíricos

3.4.2.1. Modelo de desempenho da empresa

Considerando os dados em painel, foram estimados, sequencialmente, o modelo de regressão por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para dados empilhados (*pooled data*), o modelo de efeitos fixos e o modelo de efeitos aleatórios. Os três modelos objetivaram estimar o desempenho das usinas brasileiras, tal como delineado pela Eq. (6). Os resultados estatísticos - contendo os coeficientes dos modelos - e demais testes econométricos, são apresentados na Tabela 11.

A fim de verificar que não há multicolinearidade entre as variáveis explanatórias, calculou-se o coeficiente de correlação linear de Pearson entre os pares de variáveis (Apêndice A). De forma similar a Bandyopadhyay e Barua (2016), todos os coeficientes de correlação entre as variáveis independentes ficaram abaixo de 0,70, indicando que não há problema sério de multicolinearidade entre as variáveis empregadas nos modelos empíricos.

Utilizando o teste de Wooldridge para autocorrelação com dados em painel (Wooldridge, 2010), rejeitou-se a hipótese nula de autocorrelação serial de primeira ordem. Não obstante, com a finalidade de detectar a presença de heterocedasticidade, realizaram-se os testes de Wald modificado para heterocedasticidade em grupo (Greene, 2003), bem como o teste de Breusch-Pagan/Cook-Weisberg, o qual se baseia no multiplicador de Lagrange (Breusch e Pagan, 1979; Cook e Weisberg, 1983). Ambos os testes sugeriram que a suposição de homocedasticidade não era válida. Desta forma, empregou-se o método de Huber-White para erros-padrão robustos à heterocedasticidade (Huber, 1967; White, 1980).

De forma a definir o modelo mais adequado, isto é, o modelo de mínimos quadrados com variáveis *dummy* para efeitos fixos ou o modelo de componentes dos erros (modelos de efeitos aleatórios), aplicou-se o teste de especificação de Hausman e o teste do multiplicador de Lagrange de Breusch e Pagan (Breusch e Pagan, 1980). O teste de Hausman não rejeita a hipótese nula²⁴, pois o valor χ^2 estimado não é significativo. À vista disto, conclui-se que o modelo de efeitos aleatórios é a opção mais apropriada.

A partir da indicação dos testes estatísticos, e de modo consequente à seleção do modelo de efeitos aleatórios como sendo o mais adequado, são analisados apenas os resultados dos coeficientes contidos na última coluna na Tabela 11, especificamente os fatores relacionados ao desempenho das usinas de açúcar e etanol no Brasil.

A especificação empírica do modelo de desempenho da empresa - Eq. (6) - prevê que a dependência financeira pode ter um efeito positivo (hipótese de custos de agência dos acionistas externos) ou negativo (hipótese de custos de agência da dívida) sobre o desempenho das empresas, de forma que o efeito possa ser revertido no ponto em que os custos esperados das dificuldades financeiras superem quaisquer ganhos obtidos através do uso de dívida (*debt*), ao invés do capital próprio (*equity investors*).

Desta forma, os resultados apontaram que tanto o termo de dependência financeira linear (LEV) quanto a quadrática (LEV²) tem um efeito estatisticamente significativo sobre o escore de eficiência. Não obstante, substituindo-se os coeficientes da regressão, estimados pelo modelo de efeitos aleatórios na Equação (7), a alavancagem tem um efeito negativo sobre a eficiência para os valores em que $LEV_{i,t-1} < 0,575$. Esse resultado demonstra que o efeito não é positivo para todos os valores assumidos pela dependência financeira das usinas

²⁴ A hipótese nula subjacente ao teste de especificação de Hausman é a de que os estimadores do modelo de efeito fixo e do modelo de efeito aleatório não diferem substancialmente (Gujarati e Porter, 2011).

brasileiras, ratificando o argumento de Jensen e Meckling (1976), de que o efeito da alavancagem sobre o desempenho das empresas não é monotônico.

Encontra-se suporte para a hipótese do custo de agência dos acionistas externos junto ao setor sucroenergético brasileiro - não se descarta H_0 -, de forma que uma maior alavancagem está associada a um melhor desempenho da empresa, especificamente para empresas com maiores níveis de dependência financeira, especificamente, superiores a 57,52%. Nesta situação, o aumento da alavancagem pode levar a uma redução do dispêndio de capital, fruto do benefício fiscal da dívida, e à uma melhoria dos fluxos de caixa, melhorando, assim, o desempenho das empresas.

Tabela 11. Resultados das estimações realizadas para o modelo em dados em painel: modelo de desempenho da empresa (variável dependente: $EE_{i,t}$)

Variável	Dados Empilhados (MQO)	Efeito Fixo ¹	Efeito Aleatório ¹
	Coeficientes		
Constante	0,432 (0,63)	-0,026 (-0,03)	0,046 (0,07)
LEV	0,355** (2,43)	0,104 (0,80)	0,237** (2,06)
LEV2	-0,293* (-2,72)	-0,117 (-1,10)	-0,206** (2,06)
SZ	0,095 (0,93)	0,191 (1,63)	0,165*** (2,06)
SZ2	-0,005 (-1,21)	-0,008*** (-1,91)	-0,007** (2,06)
TANG	-0,045 (-1,37)	-0,003 (-0,06)	-0,014 (2,06)
INT	0,010 (1,48)	0,013 (1,12)	0,011 (2,06)
QDE	0,014 (0,55)	0,030 (0,86)	0,021 (2,06)
AGE	-0,003 (-0,59)	-0,042** (-2,13)	-0,012 (2,06)
RENT	0,004 (0,05)	-0,011 (-0,19)	0,008 (2,06)
LC	0,022* (3,46)	0,004 (0,40)	0,014** (2,06)
DLP	-0,058 (-1,29)	-0,033 (-0,52)	-0,061 (2,06)
PROP	-0,053* (-3,20)	-	-0,056** (2,06)
Teste F / Wald (χ^2) ²	6,13*	4,51*	54,25*
R ²	0,219	0,089	0,191
Teste de Hausman		10,66	
Teste do Multiplicador de Lagrange de Breusch-Pagan (BP)		28,14*	
Teste de Autocorrelação de Wooldridge: F (1,31)		1,651	
Teste de Wald mod. para heterocedasticidade <i>groupwise</i> : χ^2		1.661,60*	
Teste de heterocedasticidade (BP/Cook-Weisberg): χ^2		28,14*	

Fonte: Elaborado pelos autores a partir do programa Stata.

Notas: Entre parênteses encontra-se a estatística *t* de Student (no caso do modelo de dados empilhados e de efeitos fixos) e a estatística *Z* (no caso do modelo de efeitos aleatórios);

¹ Estimativas de regressão GLS (Generalized Least Squares) com erros-padrão robustos (Huber-White Sandwich);

² Teste de Wald (χ^2) para o modelo de efeitos aleatórios;

- Variável omitida por colinearidade;

* Estatisticamente significativo o nível de 1%;

** Estatisticamente significativo o nível de 5%;

*** Estatisticamente significativo o nível de 10%.

Por outro lado, para níveis inferiores a 57,52% da participação do capital de terceiros, constata-se uma relação inversa entre eficiência e alavancagem. Não se pode inferir que o impacto da dependência financeira é positivo, em todo o intervalo de valores assumidos por essa variável, sobre o desempenho das usinas. Sendo assim, a hipótese de custos de agência dos acionistas externos (H_0) é válida apenas para valores de dependência financeira superiores a 57,52%. As usinas nesta situação, reduziram os custos de agência, reduziram a ineficiência e, assim,

conduziram a uma melhoria no seu desempenho. Entretanto, cabe ressaltar que a direção dessa relação pode mudar em um ponto, em que os efeitos disciplinares do aumento da alavancagem tornam-se insustentáveis.

Ao analisar a relação entre a estrutura de capital e o desempenho das indústrias francesas, Margaritis e Psillaki (2010) também observaram que a dependência financeira possui um efeito significativo sob a eficiência. Este efeito foi positivo na média de alavancagem para cada um dos setores analisados, não obstante permanecia positiva em toda a faixa relevante de valores de alavancagem, diferentemente dos resultados aqui encontrados para as usinas de processamento de cana-de-açúcar no Brasil.

Havia uma percepção de que, com um aumento substancial da alavancagem financeira das empresas do setor sucroenergético, a maior parte da geração de caixa seria direcionada para amortização do estoque da dívida, reduzindo os investimentos em tratamentos culturais e renovação dos canaviais e, por conseguinte, implicando em menores níveis de produtividade e de desempenho. Isto quer dizer que as usinas cortariam investimentos nos canaviais, enquanto tentavam se recuperar financeiramente, resultando em queda da produtividade agrícola e envelhecimento da lavoura. De acordo com Martins *et al.* (2015), quando uma empresa do setor passa um período de crise e com baixos níveis de rentabilidade, ela recorre a uma contratação de dívida (ou uma recontração) e nessa situação ela pode incorrer em custos financeiros mais elevados, os quais podem agravar ainda mais sua situação e o seu desempenho.

Não obstante, encontrou-se uma relação positiva, a partir de uma determinada faixa de valores, entre alavancagem e o desempenho da empresa. Esse resultado traz à baila o impacto das obrigações contratuais (“*covenants*”) firmadas nas operações de empréstimos pelas usinas, em que pese alguns aspectos, dentre eles: *i*) manutenção de uma determinada performance técnica-financeira; *ii*) manutenção de um caixa mínimo e *iii*) não distribuição de dividendos em valor superior ao mínimo exigido pelo estatuto social. Os “*covenants*”, desde que efetivamente exigidos e controlados, colaboram para uma redução do risco de não pagamento da dívida, mas também geram estímulos para manutenção da performance e desempenho das empresas através de uma “disciplina de investimento”. Em outras palavras, a imposição de disciplina na administração da empresa é extremamente importante, pois para empresas com baixas taxa de crescimento, tal como as do setor sucroenergético, o custo do excesso de investimento (*overinvestment problem*), certamente, será mais elevado.

A hipótese de custos de agência dos acionistas externos é válida para valores de dependência financeira superiores a 57,52%, pois à medida que a alavancagem aumenta, a empresa captura as economias adicionais de impostos (benefício fiscal) provenientes do pagamento de juros, além dos ganhos de controle e da disciplina aprimorados pela gestão. Não obstante, mesmo neste intervalo $[0,57, +\infty[$ essa relação não é monotônica. Conforme essa relação torna-se demasiadamente excessiva, esses benefícios são gradualmente contrabalanceados pelos custos de uma eventual falência e insolvência²⁵ da empresa até o ponto em que esses custos começam a superar os benefícios da alavancagem. Nesta situação, os níveis de alavancagem tornam-se insustentáveis e mais propensos a destruir o valor do acionista, dada a elevada probabilidade de insolvência da empresa e dos conflitos entre os investidores.

Em relação ao tamanho da empresa, o seu efeito também não é monotônico, isto é, o sinal foi positivo para a variável linear (SZ), mas negativo para a variável quadrática (SZ2). Este resultado evidencia que há um efeito positivo sob o escore de eficiência para as empresas menores, mas negativo para empresas maiores. Posto isso,

²⁵ Conforme apresentado por Ross *et al.* (2015), os custos relacionados à reestruturação financeira ou a falência são elevados. Altman (1984) estima que, em média, os custos totais de falência variaram de 11% a 17% do valor de mercado da empresa até três anos antes da ocorrência da empresa. Em alguns casos, eles excederam 20% do valor da empresa mensurado, imediatamente, antes da falência.

ratifica-se a hipótese presente na literatura econômica de que o tamanho de uma empresa tem um efeito ambíguo *a priori* sob a ótica do risco moral (*moral hazard*). Tannuri-Pianto, Sousa e Arcoverde (2009) obtiveram resultados similares ao analisar a eficiência das distribuidoras do setor elétrico brasileiro, ocasião em que inferiram que empresas de grande porte figuraram entre as mais ineficientes.

O efeito negativo do tamanho da empresa, no caso das maiores, sob o seu desempenho, pode refletir a perda de controle resultante de estruturas hierárquicas ineficientes na gestão. Exige-se das maiores unidades um maior raio de captação da matéria-prima e, portanto, um custo mais elevado para originação da cana-de-açúcar a ser processada. Nesse sentido, o maior tamanho da empresa pode representar uma perda de eficiência no transporte da matéria-prima, bem como maior risco de ociosidade do ativo industrial e deseconomias decorrentes da baixa utilização da capacidade.

As grandes usinas acabaram se tornando mais ineficientes ao longo do período analisado (2006-2015), pois estimaram a sua capacidade de processamento num período de euforia impulsionado pelo Estado. Por outro lado, devido à baixa rentabilidade ou pela incapacidade técnica derivada de fatores exógenos, tais como clima ou problemas fitossanitários (doenças e pragas), não havia estímulo ou até mesmo oferta de matéria-prima suficiente para se operar em plena capacidade. Desta forma, é importante destacar que os resultados refletem o período de análise e que não, necessariamente, se repetirão em análises futuras, pois, num cenário de maior rentabilidade, certamente essa relação não se verificaria, com as economias de escala sobrepujando outros efeitos.

Os resultados da Tabela 11 também mostram que o tipo de propriedade (empresas familiares versus não familiares) tem um efeito estatisticamente significativo sob o desempenho das usinas. As empresas familiares, em média, têm um desempenho inferior comparativamente às empresas não familiares, convergindo com os resultados encontrados por Schulze *et al.* (2001), Claessens *et al.* (2002), Anderson e Reeb (2003), Morck e Yeung (2003), Bertrand e Schoar (2006) e Chen, Hsu e Chen (2014). Adicionalmente, os resultados também são similares aos encontrados por Yamada (2014), o qual constatou que o desempenho em eficiência foi maior nas empresas capitalistas do que nas empresas familiares, especificamente na produção de cana-de-açúcar nos municípios de Quirinópolis/GO e Mineiros/GO.

Sob a perspectiva da teoria da agência, esperava-se um efeito positivo da propriedade familiar sobre o desempenho da empresa. Todavia, os resultados apontaram o contrário, afluindo para a outra corrente na literatura econômica que associa uma redução no nível de desempenho da empresa à propriedade familiar. Nessa linha, sobressai-se a necessidade de profissionalização do setor sucroenergético nos âmbitos de organização, gestão e governança, com destaque para a transição de uma gestão familiar tradicional para uma mais profissional e definição de princípios éticos e legais que atendam as melhores práticas do modelo de organização e de governança corporativa.

Outras variáveis, tais como, tangibilidade (TANG), intangibilidade (INT), qualidade da empresa (QDE), idade (AGE), rentabilidade (RENT), embora não tenham sido estatisticamente significativas, apresentaram os sinais dos coeficientes conforme preconizado pela literatura econômica.

3.4.2.2. Modelo de alavancagem

Conforme delineado na seção 3.1, este artigo também procura analisar os determinantes do nível de endividamento das empresas e se o desempenho da empresa tem um efeito sobre a sua estrutura de capital, tal como apresentado a seguir.

Na Tabela 12 são apresentados os resultados dos coeficientes da Equação (8) para avaliar a causalidade reversa, do desempenho da empresa para sua estrutura de capital, bem como para testar as duas hipóteses formuladas por Berger e Bonaccorsi di Patti (2006). Inicialmente, os resultados dos testes estatísticos apontaram que os dados não eram homocedásticos (Breusch e Pagan, 1979; Cook e Weisberg, 1983) e havia correlação serial de primeira ordem (Wooldridge, 2010), assim sendo, foram utilizados estimadores para erros-padrão robustos clusterizados. Ademais, rejeitou-se a hipótese nula do teste de Hausman, indicando que o melhor modelo é o de efeitos fixos. Adicionalmente, dada a heterogeneidade das agroindústrias sucroenergéticas, o modelo de efeito fixo é adequado, pois captará o não observável individual.

Considerou-se, para efeitos de análise, o modelo de regressão por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para dados empilhados (*pooled data*), o modelo de efeitos fixos e o modelo de efeitos aleatórios e o modelo de regressão quantílica para a mediana (quantil 50). Utilizou-se a regressão quantílica para considerar a assimetria na distribuição da variável dependente, uma vez que a distribuição de LEV é leptocúrtica²⁶ e assimétrica negativa, isto é, a cauda mais longa da distribuição fica à esquerda. Desta forma, em função dos resultados dos testes estatísticos, será analisada a última coluna da Tabela 12, a qual apresenta a estimação, em painel, da regressão quantílica de efeitos fixos com termo de distúrbio não-aditivo, conforme procedimento proposto por Powell (2014).

Independentemente do modelo analisado, o coeficiente da variável linear (EE) foi positivo ($\beta_1 > 0$), enquanto que o coeficiente da especificação quadrática (EE2) foi negativo ($\beta_2 < 0$). Este resultado mostra que há um ponto de inflexão entre as hipóteses apresentadas por Berger e Bonaccorsi di Patti (2006) - *efficiency-risk hypothesis* e *franchise-value hypothesis* -, em relação aos efeitos do desempenho da empresa em sua estrutura de capital. Não há uma dominância estrita de nenhuma das hipóteses de causalidade reversa entre o desempenho da empresa e a sua estrutura de capital dentro do intervalo de dados.

Há um efeito negativo entre o desempenho da empresa e a sua alavancagem para todos os valores de $EE_{i,t-1}$ até cerca de 0,57²⁷, considerando o quantil 0,50 da regressão quantílica. Por outro lado, prevalece a hipótese eficiência-risco (*efficiency-risk hypothesis*) para as empresas com escore de eficiência superior a 0,57, indicando que a hipótese eficiência-risco não é válida para todos os valores relevantes de eficiência. Adicionalmente, esses resultados são consistentes com a hipótese do custo de agência dos acionistas externos.

Assim, para baixos níveis do escore de eficiência, os resultados são consistentes com a predominância da hipótese do valor de franquia, sob a qual as empresas tentam proteger as rendas econômicas derivadas da eficiência, através de incrementos marginais de capital próprio na atividade. Por outro lado, para níveis elevados de eficiência, os resultados são mais consistentes com a predominância da hipótese eficiência-risco, em que os resultados da eficiência substituem o capital próprio pelo capital de terceiros. Estes resultados são similares aos de Berger e Bonaccorsi di Patti (2006), os quais concluíram que há primazia da hipótese do valor de franquia sobre a hipótese eficiência-risco para baixos níveis de eficiência e vice-versa para valores elevados de eficiência.

²⁶ O coeficiente de curtose é de 5,22 para a variável LEV, enquanto que o coeficiente de assimetria é 0,74.

²⁷ Dada a simultaneidade dos modelos de desempenho e de alavancagem, os valores de inflexão são relativamente próximos (~0,57).

Tabela 12. Resultados das estimações realizadas para o modelo em dados em painel: modelo de alavancagem (variável dependente: $LEV_{i,t}$)

Variável	Dados Empilhados (MQO)	Efeito Fixo ¹	Efeito Aleatório ²	Regressão Quantílica ³ q50
	Coeficientes			
Constante	1,416 (1,07)	3,934*** (1,79)	3,438*** (1,72)	- -
EE	0,619 (0,79)	0,429 (0,95)	0,418 (1,04)	0,739* (453,53)
EE2	-0,484 (-1,02)	-0,372 (-1,23)	-0,369 (-1,40)	-0,644* (-620,23)
SZ	-0,156 (-0,81)	-0,519 (-1,56)	-0,427 (-1,36)	-0,156* (-68,53)
SZ2	0,006 (0,76)	0,019 (1,48)	0,015 (1,27)	0,006* (66,26)
TANG	0,065 (1,02)	0,038 (0,43)	0,045 (0,62)	0,072* (171,65)
INT	0,007 (0,57)	0,004 (0,58)	0,004 (0,50)	0,039* (489,72)
QDE	0,232* (5,08)	0,082 (1,26)	0,110** (2,32)	0,232* (1.181,52)
AGE	-0,038** (-2,19)	- -	-0,045 (-0,99)	-0,065* (-724,39)
RENT	-0,251*** (-1,82)	-0,211 (-1,48)	-0,211 (-1,43)	-0,357* (-521,63)
LC	-0,085* (-7,85)	-0,061* (-3,37)	-0,069* (-4,55)	-0,057* (-1.034,91)
DLP	0,795* (11,91)	0,555* (3,59)	0,620* (4,90)	0,729* (2.640,04)
PROP	-0,009 (-0,27)	- -	0,016 (0,48)	0,044* (98,63)
CAMBIO	0,064 (1,61)	0,076*** (1,98)	0,074** (2,05)	0,040* (90,31)
Teste F / Wald (χ^2) ⁴	22,33*	15,30*	221,43*	
R ²	0,526	0,487	0,503	
Teste de Hausman		136,88*		
Teste de Autocorrelação de Wooldridge: F (1,31)		19,85*		
Teste de Wald mod. para heterocedasticidade <i>groupwise</i> : χ^2		935,91*		
Teste de heterocedasticidade (Breusch-Pagan/Cook-Weisberg): χ^2		13,06*		

Fonte: Elaborado pelos autores a partir do programa Stata.

Notas: Entre parênteses encontra-se a estatística *t* de Student (no caso do modelo de dados empilhados e de efeitos fixos) e a estatística *Z* (no caso do modelo de efeitos aleatórios e da regressão quantílica);

¹ Estimativas de regressão OLS (*Ordinary Least Squares*), estimador *Within*, para erros-padrão robustos clusterizados;

² Estimativas de regressão GLS (*Generalized Least Squares*) com erros-padrão robustos clusterizados;

³ Painel quantílico de efeitos fixos com termo não aditivo;

⁴ Teste de Wald (χ^2) para o modelo de efeitos aleatórios;

- Variável omitida por colinearidade ou ausente do modelo;

* Estatisticamente significativo o nível de 1%;

** Estatisticamente significativo o nível de 5%;

*** Estatisticamente significativo o nível de 10%.

O tamanho de uma usina influenciou na sua capacidade de endividamento. Não obstante, similar ao modelo de desempenho, constatou-se que o efeito do tamanho da empresa sobre a alavancagem não é monotônico, uma vez que o sinal de SZ e SZ2 são antagônicos. Dado que o coeficiente da variável SZ2 foi positivo, pode-se afirmar que quanto maior é a empresa, maior é a sua alavancagem financeira. Empresas maiores, sendo financeiramente mais fortes, estão em uma melhor posição para cuidar do risco de refinanciamento, bem como possuem custo de falência mais baixo e, conseqüentemente, possuem uma maior participação do capital de terceiros em sua estrutura de capital, tal como identificado por Titman e Wessels (1988).

De acordo com Santos *et al.* (2016), as maiores empresas necessitam de recursos expressivos para superar, principalmente, as elevadas barreiras à entrada do setor sucroenergético e a necessidade de investimentos em ativos tangíveis. Como esses investimentos possuem maturação e, conseqüentemente, um retorno a longo prazo, exige-se a manutenção de um equilíbrio financeiro da empresa, de forma que as suas obrigações se realizem num prazo mais dilatado e concentradas a longo prazo.

No início de 2010, as maiores empresas do setor e com acesso a financiamento aproveitaram para adquirir indústrias que estavam em recuperação judicial ou em situação financeira delicada. Isso resultou num processo de fusões e aquisições e, por conseguinte, ampliação do nível de endividamento das empresas/grupos econômicos, tal como reforçado pela variável SZ2 no modelo empírico.

Conforme destacado na seção 3.4.1, as agroindústrias sucroenergéticas apresentaram níveis mais elevados de alavancagem, comparativamente as demais empresas da economia brasileira. Tipicamente, as empresas mais alavancadas são maduras e intensivas em ativos fixos. Elas sustentam um nível mais elevado de endividamento, pois têm mais ativos que podem servir como garantia, mitigando os custos de falência e insolvência. Isso reforça o efeito positivo da variável tangibilidade (TANG) sobre a alavancagem das usinas sucroenergéticas. Em outras palavras, empresas com ativos fixos mais elevados (maior tangibilidade) recorrem a mais dívidas, satisfazendo a hipótese de sinalização, uma vez que haverá menos problemas de assimetria de informação.

No entanto, como há uma elevada especificidade de ativos nesta indústria, os custos de uma eventual falência e insolvência são elevados. Se uma usina entra em recuperação judicial, ela perde oportunidades de crescimento e quaisquer ativos restantes, em função da sua natureza única, terão pouco valor para terceiros. Essa constatação evidencia um processo recente do setor sucroenergético brasileiro, especificamente após 2015, em que movimentos pontuais de fusões e aquisições foram concentrados nas aquisições da matéria-prima para ocupar a capacidade de outras plantas existentes. Por exemplo, em 2018, os grupos Raízen e São Martinho adquiriram apenas os canaviais da Usina Furlan, evidenciando a baixa atratividade do ativo industrial (Ramos e Rocha, 2018).

A idade (AGE) apresentou um efeito negativo e significativo sobre a alavancagem das empresas, indicando que as empresas mais antigas recorreram menos ao capital de terceiro para o financiamento de suas atividades. Há uma reputação de mercado estabelecida e uma maior disponibilidade de informações sobre essas empresas, implicando em menor assimetria de informação. Adicionalmente, como são empresas mais antigas, há uma maior proporção de lucros acumulados ao longo do tempo, resultando em menor endividamento em sua estrutura de capital.

A liquidez da empresa, a qual se reflete na sua capacidade contínua de honrar as obrigações financeiras, afeta a sua estrutura de capital. O aumento da liquidez da empresa leva a uma diminuição da sua alavancagem financeira e vice-versa. Esse resultado sinaliza que a decisão sobre o endividamento de curto prazo é crucial para a empresa, de forma que não comprometa as suas operações, estabilidade financeira e a sua liquidez. Neste trabalho,

constatou-se uma relação negativa e significativa²⁸ da liquidez corrente (LC) sobre a estrutura de capital das usinas do setor sucroenergético brasileiro. Esse resultado vai ao encontro de Lipson e Mortal (2009), Akdal (2010) e Ozkan (2001), os quais também encontraram uma relação negativa entre essas variáveis, indicando que a liquidez da empresa exerce um impacto negativo sobre as suas decisões de endividamento.

Uma empresa consegue liquidez com a manutenção de uma caixa adequado ou com o alongamento das dívidas, mantendo-as a longo prazo. A liquidez corrente tem um efeito negativo sobre a dívida de longo prazo, indicando que as empresas com baixa liquidez, isto é, mais propensas a riscos de liquidez, prolongam os seus passivos para minimizar o risco de refinanciamento da dívida e optam por mais dívida de longo prazo. Esse é um dos motivos pelos quais observou-se uma relação positiva entre a dívida de longo prazo (DLP) e a participação do capital de terceiros (LEV).

A partir de 2007, com a desvalorização do real frente ao dólar, observou-se um aumento dos níveis de alavancagem financeira das usinas, em função da expressiva participação das dívidas em moeda estrangeira na composição da dívida total destas empresas. Os resultados encontrados confirmaram a relação positiva entre a taxa de câmbio (CAMBIO) e a participação do capital de terceiros (LEV).

A taxa de câmbio é uma variável relevante na explicação do nível de endividamento das usinas do setor sucroenergético brasileiro, uma vez que a maior parcela dos seus passivos, estava indexada em moeda estrangeira durante o período de análise (2006-2015). As usinas contraíram dívidas no mercado internacional, pois as exportações do açúcar funcionavam como um “hedge natural”. No entanto, após 2011, a queda no preço internacional do açúcar e a desvalorização do real frente ao dólar inflaram as suas dívidas (em reais), levando algumas a recuperação judicial e outras a finalizarem as suas atividades.

3.5. Conclusões

Procurou-se, a partir de uma amostra de usinas do setor sucroenergético brasileiro, abordar as seguintes questões: *i)* a maior alavancagem leva a um melhor desempenho da empresa? e *ii)* a eficiência exerce um efeito significativo sobre a alavancagem, além das métricas financeiras tradicionais? Em relação à primeira questão, a hipótese central deste artigo era de que uma maior alavancagem reduz os custos de agência, bem como a ineficiência e, assim, leva a uma melhoria no desempenho da empresa (H_0).

Não se descartou a hipótese do custo de agência dos acionistas externos (H_0) junto ao setor sucroenergético brasileiro, de forma que uma maior alavancagem está associada a um melhor desempenho da empresa, especificamente, para empresas com níveis de dependência financeira superiores a 57,52%. Os resultados deste artigo, os quais são consistentes com a hipótese do custo de agência de Jensen e Meckling (1976), corroboram as evidências empíricas presentes na literatura econômica para outros países e aplicados em outros setores.

Além disso, avaliou-se a causalidade reversa entre desempenho da empresa e a dependência financeira através de duas hipóteses concorrentes: a hipótese eficiência-risco (*efficiency-risk hypothesis*) (H_2) e a hipótese do valor de franquia (*franchise-value hypothesis*) (H_{2a}). Utilizando a análise de regressão quantílica, constatou-se que há um efeito negativo entre o desempenho da empresa e a sua alavancagem para todos os valores de eficiência até cerca de 0,57, indicando que a hipótese eficiência-risco não é válida para todos os valores relevantes de eficiência. Aditivamente, o

²⁸ A estimativa de coeficiente do índice de liquidez corrente é significativa ao nível de 1%.

tamanho da empresa, a tangibilidade de seus ativos, a idade, a liquidez corrente e a categoria da propriedade (empresa familiar ou não) foram fatores relevantes na determinação da alavancagem das usinas do setor sucroenergético.

Os resultados mostraram que a estrutura de capital, bem como o desempenho da empresa varia de em função de alguns fatores específicos. É importante destacar que os resultados representam a média setorial, no entanto as usinas brasileiras são bastante heterogêneas entre si, isto é, há uma enorme disparidade técnica e econômica entre elas, de forma que os resultados encontrados podem variar brutalmente da observação de uma empresa individualmente.

Embora uma estrutura de capital mal administrada possa levar a dificuldades financeiras e destruição de valor, tal como se observou no período de 2006 a 2015, o ponto central reside na definição de estratégias focadas no desempenho operacional, atrelado à vantagem competitiva da empresa, e no restabelecimento de condições técnicas adequadas à produção. Essas estratégias devem procurar minimizar os riscos inerentes à atividade, bem como garantir uma maior flexibilidade financeira para reposição dos bens na área industrial, afinal se trata de uma indústria intensiva em capital, e manutenção dos canaviais.

O planejamento e o gerenciamento da estrutura de capital de uma usina do setor sucroenergético contribui muito mais para evitar a destruição e deterioração de valor, do que em sentido contrário, isto é, para aumentar a criação e geração de valor. Quando os gestores (agente) tomam decisões sobre a estrutura de capital, eles têm mais a perder do que a ganhar em termos de valor, tal como evidenciado pelo forte número empresas do setor em recuperação judicial ou que encerram as suas atividades, principalmente, entre 2008 e 2015. Em geral, as empresas podem criar muito mais valor para os acionistas em suas atividades do que através de engenharia financeira.

Os resultados apresentados possibilitaram avaliar os determinantes do nível de endividamento das usinas de açúcar e etanol no Brasil e mostraram que a estrutura de capital influenciou no desempenho das empresas. Desta forma, ficou patente que há um potencial para as empresas deste setor reajustarem a sua situação financeira e estrutura de capital, em que pese as melhores práticas de gestão empresarial, de forma a recuperar o seu desempenho e eficiência e, por conseguinte, intensificar a produção de açúcar e etanol no médio e longo prazo.

Em suma, este artigo procurou fornecer informações para o melhor planejamento e tomada de decisão dos formuladores de políticas públicas, dos agentes desta indústria e dos potenciais investidores. Tendo-se diferenciado e contribuído para a literatura econômica em três pontos, a saber: *i)* utilizando o escore de eficiência obtido pelo modelo DEA (*Data Envelopment Analysis*), ao invés de métricas financeiras convencionais, como uma medida de desempenho da empresa; *ii)* mostrando que o escore de eficiência, como uma *proxy* para os custos de agência, é um fator importante na determinação da estrutura de capital e *iii)* fornecendo evidências empíricas sobre a relação entre a estrutura de capital e o desempenho das usinas brasileiras de açúcar e etanol.

No setor sucroenergético, ficou evidente o impacto da alavancagem sobre o desempenho das empresas e vice-versa. No entanto, próximos trabalhos poderão analisar real impacto da alavancagem sobre o desempenho, em oposição à ausência de opções e linhas de financiamento que garantam a continuidade dos investimentos, em especial, na área agrícola. Complementarmente, estudos futuros poderão estender essa análise de forma a comparar o desempenho e a estrutura de capital entre os demais *players* no mercado global de açúcar, incluindo, por exemplo, Índia, Tailândia, Paquistão, China e México, bem como examinar aspectos adicionais da propriedade e incluindo características de governança.

Referências

- ABDALLAH, A. A. N.; ISMAIL, A. K. Corporate governance practices, ownership structure, and corporate performance in the GCC countries. **Journal of International Financial Markets, Institutions and Money**, v. 46, p. 98–115, 2017.
- AKDAL, S. **How do Firm Characteristics Affect Capital Structure? Some UK Evidence**. Londres: [s.n.].
- ALTMAN, E. I. A Further Empirical Investigation of the Bankruptcy Cost Question. **The Journal of Finance**, v. 39, n. 4, p. 1067–1089, 1984.
- ANDERSON, R. C.; REEB, D. M. Founding-Family Ownership and Firm Performance: Evidence from the S&P 500. **The Journal of Finance**, v. 58, n. 3, p. 1301–1328, 2003.
- ANG, J. S.; COLE, R. A.; LIN, J. W. U. H. Agency costs and ownership structure. **The Journal of Finance**, v. LV, n. 1, p. 81–106, 2000.
- ASSAF NETO, A.; LIMA, F. G. **Curso de administração financeira**. 3a edição ed. São Paulo, SP: Atlas, 2014.
- BACEN. BANCO CENTRAL DO BRASIL. **SGS - Sistema Gerenciador de Séries Temporais**. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/acessoinformacao/legado?url=https:%2F%2Fwww4.bcb.gov.br%2Fpec%2Fseries%2Fport%2Faviso.asp>>. Acesso em: 24 jan. 2019.
- BANDYOPADHYAY, A.; BARUA, N. M. Factors determining capital structure and corporate performance in India: Studying the business cycle effects. **Quarterly Review of Economics and Finance**, v. 61, p. 160–172, 2016.
- BENITO, A.; HERNANDO, I. Labour demand, flexible contracts and financial factors: Firm-level evidence from Spain. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, v. 70, n. 3, p. 283–301, 2008.
- BERGER, A. N.; BONACCORSI DI PATTI, E. Capital structure and firm performance: A new approach to testing agency theory and an application to the banking industry. **Journal of Banking and Finance**, v. 30, n. 4, p. 1065–1102, 2006.
- BERTRAND, M.; SCHOAR, A. The Role of Family in Family Firms. **Journal of Economic Perspectives**, v. 20, n. 2, p. 73–96, 2006.
- BRANDER, B. J. A.; LEWIS, T. R. Oligopoly and Financial Structure: The Limited Liability Effect. **The American Economic Review**, v. 76, n. 5, p. 956–970, 1986.
- BRASIL. **Emissão de Comprovante de Inscrição e de Situação Cadastral**. Disponível em: <http://www.receita.fazenda.gov.br/PessoaJuridica/CNPJ/cnpjreva/Cnpjreva_Solicitacao.asp>. Acesso em: 22 out. 2018.
- BRASIL. **Lei Nº 6.404, de 15 de dezembro de 1976**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6404consol.htm>. Acesso em: 1 fev. 2018.
- BRASIL. **Instituições cadastradas no MAPA como produtores, cooperativas ou comercializadoras de produtos vinculados à produção canavieira**. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sapcana/downloadBaseCompletaInstituicao!downloadArquivoXLS.action>>. Acesso em: 24 jan. 2019.
- BREUSCH, T. S.; PAGAN, A. R. A Simple Test for Heteroscedasticity and Random Coefficient Variation. **Econometrica**, v. 47, n. 5, p. 1287–1294, 1979.
- _____. The Lagrange Multiplier Test and its Applications to Model Specification in Econometrics. **The Review of Economic Studies**, v. 47, n. 1, p. 239–253, 1980.

- BRITO, G. A. S.; CORRAR, L. J.; BATISTELLA, F. D. Fatores determinantes da Estrutura de Capital das Maiores Empresas que atuam no Brasil. **Revista de Contabilidade e Finanças**, v. 43, p. 9–19, 2007.
- CAMPELLO, M. Capital structure and product markets interactions: Evidence from business cycles. **Journal of Financial Economics**, v. 68, n. 3, p. 353–378, 2003.
- CANTOR, R. Effects of leverage on corporate investment and hiring decisions. **Quarterly Review 15, Federal Reserve Bank of New York**, v. 15, n. 2, p. 31–41, 1990.
- CHEN, C. J.; HSU, C. Y.; CHEN, Y. L. The impact of family control on the top management compensation mix and incentive orientation. **International Review of Economics and Finance**, v. 32, p. 29–46, 2014.
- CHENG, M.-C.; TZENG, Z.-C. Does Leverage and Efficiency Affect Each Other. **Journal of Accounting, Finance and Economics**, v. 1, n. 1, p. 77–95, 2011.
- CLAESSENS, S. *et al.* Disentangling the Incentive and Entrenchment Effects of Large Shareholdings. **The Journal of Finance**, v. 57, n. 6, p. 2741–2771, 2002.
- COLE, R. A.; MEHRAN, H. The effect of changes in ownership structure on performance: Evidence from the thrift industry. **Journal of Financial Economics**, v. 50, n. 3, p. 291–317, 1998.
- COOK, R. D.; WEISBERG, S. Diagnostics for Heteroscedasticity in Regression. **Biometrika**, v. 70, n. 1, p. 1–10, 1983.
- CUI, Y. *et al.* Top management team knowledge heterogeneity, ownership structure and financial performance: Evidence from Chinese IT listed companies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 140, n. August 2018, p. 14–21, 2019.
- DAMODARAN, A. **Finanças corporativas: teoria e prática**. 2a. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2004.
- DEMSETZ, H. The Structure of Ownership and the Theory of the Firm. **The Journal of Law & Economics**, v. 26, n. 2, p. 375–390, 1983.
- DEMSETZ, H.; VILLALONGA, B. Ownership structure and corporate financing. **Applied Financial Economics**, v. 19, n. 24, p. 1975–1986, 2001.
- DENIS, D. J.; DENIS, D. K. Majority owner-managers and organizational efficiency. **Journal of Corporate Finance**, v. 1, n. 1, p. 91–118, 1994.
- DIAMOND, D. W. Financial Intermediation and Delegated Monitoring. **The Review of Economic Studies**, v. 51, n. 3, p. 393–414, 1984.
- DIAMOND, D. W. Monitoring and Reputation: The Choice between Bank Loans and Directly Placed Debt. **Journal of Political Economy**, v. 99, n. 4, p. 689–721, 1991.
- EPE. **Cenários de oferta de etanol e demanda do Ciclo Otto: Versão Estendida 2018-2030**. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/cenarios-oferta-etanol-e-demanda-ciclo-otto>>.
- FAMA, E. F.; FRENCH, K. R. Disappearing dividends: changing firm characteristics or lower propensity to pay? **Journal of Financial Economics**, v. 3, p. 3–42, 2001.
- FLANNERY, M. J. Asymmetric Information and Risky Debt Maturity Choice. **The Journal of Finance**, v. 41, n. 1, p. 19–37, 1986.
- FOSU, S. Capital structure, product market competition and firm performance: Evidence from South Africa. **Quarterly Review of Economics and Finance**, v. 53, n. 2, p. 140–151, 2013.
- GALAI, D.; MASULIS, R. W. The option pricing model and the risk factor of stock. **Journal of Financial Economics**, v. 3, p. 53–81, 1976.

- GLEASON, K. C.; MATHUR, L. K.; MATHUR, I. The interrelationship between culture, capital structure, and performance: Evidence from European retailers. **Journal of Business Research**, v. 50, n. 2, p. 185–191, 2000.
- GOMEZ-MEJIA, L. R. *et al.* The Bind that ties: Socioemotional wealth preservation in family firms. **The Academy of Management Annals**, v. 5, n. 1, p. 653–707, 2011.
- GREENE, W. H. **Econometric Analysis**. Fifth Edit ed. New Jersey: Upper Saddle River, 2003.
- GROSSMAN, S. J. .; HART, O. D. The Economics of Information and Uncertainty. *In*: MCCALL, J. J. (Ed.). . **The Economics of Information and Uncertainty**. [s.l.] University of Chicago Press, 1982. p. 107–140.
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. 5a Edição ed. Porto Alegre, RS: AMGH Editora Ltda, 2011.
- HARRIS, M.; RAVIV, A. The Theory of Capital Structure The Theory of Capital Structure. **The Journal of Finance**, v. XLVI, n. 1, p. 297–355, 1991.
- HIMMELBERG, C. P.; HUBBARD, R. G.; PALIA, D. Understanding the determinants of managerial ownership and the link between ownership and performance. **Journal of Financial Economics**, v. 53, p. 353–384, 1999.
- HUBER, P. J. **The behavior of maximum likelihood estimates under nonstandard conditions**Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. **Anais...Berkeley**: University of California Press, 1967Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33846983865&partnerID=tZOtx3y1>>
- IAF. INSTITUTO ASSAF NETO. **Estrutura de capital e alavancagem**. Disponível em: <<http://www.institutoassaf.com.br/2012/painel.aspx>>. Acesso em: 24 jan. 2019.
- JENSEN, M. C. Agency Costs of Free Cash Flow, Corporate Finance, and Takeovers. **American Economic Review**, v. 76, n. 2, p. 323–329, 1986.
- JENSEN, M. C.; MECKLING, W. H. Theory of the firm: managerial behavior, agency costs and ownership structure. **Journal of Financial Economics**, v. 3, p. 305–360, 1976.
- KING, M. R.; SANTOR, E. Family values: Ownership structure, performance and capital structure of Canadian firms. **Journal of Banking and Finance**, v. 32, n. 11, p. 2423–2432, 2008.
- LEI, J.; QIU, J.; WAN, C. Asset tangibility, cash holdings, and financial development. **Journal of Corporate Finance**, v. 50, p. 223–242, 2018.
- LEIBENSTEIN, H. Allocative efficiency vs. “X-efficiency”. **American Economic Review**, v. 56, p. 392–415, 1966.
- LIPSON, M. L. .; MORTAL, S. Liquidity and capital structure Marc. **Journal of Financial Markets**, v. 12, p. 611–644, 2009.
- MAKSIMOVIC, V. Capital Structure in Repeated Oligopolies. **The RAND Journal of Economics**, v. 19, n. 3, p. 389–407, 1988.
- MARGARITIS, D.; PSILLAKI, M. Capital structure and firm efficiency. **Journal of Business Finance and Accounting**, v. 34, n. 9–10, p. 1447–1469, 2007.
- ____. Capital structure, equity ownership and firm performance. **Journal of Banking and Finance**, v. 34, n. 3, p. 621–632, 2010.
- MARIN, F. R. *et al.* Climate change impacts on sugarcane attainable yield in southern Brazil. **Climatic Change**, v. 117, n. 1–2, p. 227–239, 2013.
- MARTINS, H. H. *et al.* Estrutura de capital e alavancagem financeira de empresas da agroindústria canavieira: um estudo multicaso para o Centro-Oeste. **Gestão & Regionalidade**, v. 31, n. 93, p. 76–93, 2015.

- MCCONNELL, J. J.; SERVAES, H. Equity ownership and the two faces of debt. **Journal of Financial Economics**, v. 39, n. 1, p. 131–157, 1995.
- MENDONÇA, M. L.; PITTA, F. T. ; XAVIER, C. V. **A agroindústria canavieira e a crise econômica mundial**. São Paulo, SP: [s.n.].
- MILANEZ, E. F. **Efeitos de alavancagem e oportunidades de crescimento sobre o investimento das empresas brasileiras** (En, Ed.)XXXVI Encontro da ANPAD. **Anais...**Rio de Janeiro, RJ: EnANPAD, 2012
- MODIGLIANI, F.; MILLER, M. H. The cost of capital, corporation finance and the theory of investment. **The American Economic Review**, v. 48, n. 3, p. 261–297, 1958.
- MONTASSER, G. EL *et al.* Are there multiple bubbles in the ethanol-gasoline price ratio of Brazil? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 19–23, 2015.
- MORCK, R.; SHLEIFER, A.; VISHNY, R. W. Management ownership and market valuation. An empirical analysis. **Journal of Financial Economics**, v. 20, n. C, p. 293–315, 1988.
- MORCK, R.; YEUNG, B. Agency Problems in Large Family Business Griups. **Entrepreneurship Theory and Practice**, v. 27, n. 4, p. 367–382, 2003.
- MYERS, S. C. Determinants of corporate borrowing. **Journal of Financial Economics**, v. 5, p. 147–175, 1977.
- NICKELL, S.; NICOLITSAS, D. How does financial pressure affect firms? **European Economic Review**, v. 43, n. 8, p. 1435–1456, 1999.
- NORILLER, R. M. *et al.* Comparação econômico-financeira por índices-padrão de usinas sucroenergéticas listadas nas BM&F Bovespa S.A. **Revista de Administração da UEG**, v. 2, n. 2, p. 58–78, 2011.
- NOVACANA. **As usinas de Açúcar e Etanol do Brasil**. Disponível em: <https://www.novacana.com/usinas_brasil>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- OPLER, T. C. ; TITMAN, S. Financial Distress and Corporate Performance. **The Journal of Finance**, v. 49, n. 3, p. 1015–1040, 1994.
- OZKAN, A. Determinants of capital structure and adjustment to long run target: Evidence from UK company panel data. **Journal of Business Finance and Accounting**, v. 28, n. 1–2, p. 175–198, 2001.
- PANIAGUA, J.; RIVELLES, R.; SAPENA, J. Corporate governance and financial performance: The role of ownership and board structure. **Journal of Business Research**, v. 89, n. February, p. 229–234, 2018.
- PECEGE. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade no Brasil: Fechamento da Safra 2017/2018**. Piracicaba, São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<http://bioscirep.org/cgi/doi/10.1042/BSR20130081>>.
- PETERSEN, M. A.; RAJAN, R. G. The Benefits of Lending Relationships: Evidence from Small Business Data. **The Journal of Finance**, v. XLIX, n. 1, p. 3–37, 1994.
- POWELL, D. **Did the Economic Stimulus Payments of 2008 Reduce Labor Supply? Evidence from Quantile Panel Data Estimation Did the Economic**. Santa Monica: [s.n.].
- RAJAN, R. G.; ZINGALES, L. What Do We Know about Capital Structure? Some Evidence from International Data. **The Journal of Finance**, v. 50, n. 5, p. 1421–1460, 1995.
- RAMOS, C. S. **Mais usinas ficarão sem processar cana na safra 2018/19**. Disponível em: <<https://www.valor.com.br/agro/5204657/mais-usinas-ficaram-sem-operar-na-proxima-safra>>. Acesso em: 24 fev. 2019.

- ____. **Queda do açúcar e alta do dólar inflam dívidas das usinas.** Disponível em: <<https://www.valor.com.br/agro/5676479/queda-do-acucar-e-alta-do-dolar-inflam-dividas-das-usinas>>. Acesso em: 24 jan. 2019.
- RAMOS, C. S.; ROCHA, A. DO A. São Martinho e Raízen confirmam compra de canaviais da Usina Furlan. **Valor Econômico**, p. Agronegócios, 5 jul. 2018.
- RAMOS, P.; SZMRECSÁNYI, T. Evolução histórica dos grupos empresariais da agroindústria canavieira paulista. **História Econômica & História de Empresas**, v. 1, p. 85–115, 2002.
- REBELO, S. C. F. **A estrutura de capital e a performance das empresas hoteleiras portuguesas e espanholas.** [s.l.] Universidade do Algarve, 2016.
- REZENDE, M. L.; RICHARDSON, J. W. Economic feasibility of sugar and ethanol production in Brazil under alternative future prices outlook. **Agricultural Systems**, v. 138, p. 77–87, 2015.
- RISSARDI JÚNIOR, D. J. **Três ensaios sobre a agroindústria canavieira no Brasil pós-desregulamentação.** [s.l.] Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2015.
- RODRIGUES, L.; RODRIGUES, L. Economic-financial performance of the Brazilian sugarcane energy industry: An empirical evaluation using financial ratio, cluster and discriminant analysis. **Biomass and Bioenergy**, v. 108, n. April, p. 289–296, 2018.
- RODRIGUES, R. L. **Teoria de Agência, governança corporativa e política de dividendos: evidências nas empresas brasileiras de capital aberto.** [s.l.] Universidade de São Paulo, 2015.
- ROSS, S. A. . *et al.* **Administração Financeira.** 10a. ed. [s.l.] McGraw-Hill Education, 2015.
- SANTOS, G. R. DOS; *et al.* A agroindústria canavieira e a produção de etanol no Brasil: características, potenciais e perfil da crise atual. In: SANTOS, G. R. DOS (Ed.). . **Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas.** Brasília, DF: IPEA, 2016. p. 17–45.
- SCHULZE, W. S. *et al.* Agency Relationships in Family Firms: Theory and Evidence. **Organization Science**, v. 12, n. 2, p. 99–116, 2001.
- SHARPE, S. A. Financial Market Imperfections, Firm Leverage, and the Cyclicalities of Employment. **The American Economic Review**, v. 84, n. 4, p. 1060–1074, 1994.
- SIQUEIRA, P. H. DE L. **Análise das estratégias de crescimento e de localização da agroindústria canavieira no Brasil e suas externalidades.** [s.l.] Universidade Federal de Lavras, 2013.
- SIQUEIRA, P. H. DE L.; CASTRO JUNIOR, L. G. DE. Fusões e aquisições das unidades produtivas e da agroindústria de cana-de-açúcar no Brasil e nas distribuidoras de álcool hidratado etílico. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 48, n. 4, p. 709–735, 2010.
- SPALIARA, M.-E. Do financial factors affect the capital-labour ratio? Evidence from UK firm-level data. **Journal of Banking and Finance**, v. 33, n. 10, p. 1932–1947, 2009.
- STEPHAN, A.; TALAVERA, O.; TSAPIN, A. Corporate debt maturity choice in emerging financial markets. **Quarterly Review of Economics and Finance**, v. 51, n. 2, p. 141–151, 2011.
- STIGLER, G. J. The Xistence of X-Efficiency. **The American Economic Review**, v. 66, n. 1, p. 213–216, 1976.
- STULZ, R. M. Managerial discretion and optimal financing policies. **Journal of Financial Economics**, v. 2015, p. 3–27, 1990.
- TANNURI-PIANTO, M. E.; SOUSA, M. DA C. S. DE; ARCOVERDE, F. D. Fronteiras de eficiência estocásticas para as empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil: uma análise de dados de painel. **Estudos Econômicos**, v. 39, n. 1, p. 221–247, 2009.

- TTTMAN, S.; WESSELS, R. The Determinants of Capital Structure Choice. **The Journal of Finance**, v. XLIII, n. 1, p. 1–19, 1988.
- UNICA - UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **UNICADATA**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br>>. Acesso em: 11 ago. 2017.
- VIAN, C. E. F.; RODRIGUES, L.; SILVA, H. J. T. Evolution in Public Policies Designed to Develop the Sugar–Energy Industry in Brazil. *In*: CHANDEL, A.; SILVEIRA, M. H. L. (Eds.). . **Advances in Sugarcane Biorefinery. Technologies, Commercialization, Policy Issues and Paradigm Shift for Bioethanol and By-Products**. 1. ed. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 279–306.
- VILLALONGA, B.; AMIT, R. How do family ownership, control and management affect firm value? **Journal of Financial Economics**, v. 80, n. 2, p. 385–417, 2006.
- VU, M. C.; PHAN, T. T.; LE, N. T. Relationship between board ownership structure and firm financial performance in transitional economy: The case of Vietnam. **Research in International Business and Finance**, v. 45, n. September 2017, p. 512–528, 2018.
- WHITE, H. A Heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity. **Econometrica**, v. 48, n. 4, p. 817–838, 1980.
- WILLIAMS, J. Perquisites, Risk, and Capital Structure. **The Journal of Finance**, v. 42, n. 1, p. 29–48, 1987.
- WILLIAMSON, O. E. Hierarchical Control and Optimum Firm Size. **Journal of Political Economy**, v. 75, n. 2, p. 123–138, 1967.
- WOOLDRIDGE, J. W. **Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data**. London, England: The MIT Press, 2010.
- YAMADA, S. **Cadeia produtiva da cana-de-açúcar em Goiás e análise de desempenho em eficiência de sistemas produtivos**. [s.l.] Universidade de Brasília, 2014.
- ZHOU, X. Understanding the determinants of managerial ownership and the link between ownership and performance: comment. **Journal of Financial Economics**, v. 62, p. 559–571, 2001.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Matriz de correlação de Pearson das variáveis utilizadas nos modelos econométricos.

	CRS	VRS	EE	LEV	SZ	TANG	INT	QDE	AGE	RENT	LC	DLP	PROP	CAMBIO
CRS	1,000													
	-													
VRS	0,847*	1,000												
	(0,000)	-												
EE	0,557*	0,034	1,000											
	(0,000)	(0,552)	-											
LEV	-0,215*	-0,131	-0,199*	1,000										
	(0,000)	(0,022)	(0,000)	-										
SZ	-0,177*	0,065	-0,419*	0,104	1,000									
	(0,002)	(0,253)	(0,000)	(0,067)	-									
TANG	-0,159*	-0,212*	0,027	0,046	-0,182*	1,000								
	(0,005)	(0,000)	(0,641)	(0,425)	(0,001)	-								
INT	-0,053	0,042	-0,163*	0,172*	0,233*	-0,063	1,000							
	(0,351)	(0,459)	(0,004)	(0,002)	(0,000)	(0,271)	-							
QDE	0,162*	0,188*	0,006	-0,052	-0,136	-0,398*	-0,127	1,000						
	(0,004)	(0,001)	(0,913)	(0,359)	(0,017)	(0,000)	(0,026)	-						
AGE	-0,033	-0,102	0,094	-0,203*	-0,241*	0,045	-0,152*	0,049	1,000					
	(0,560)	(0,074)	(0,098)	(0,000)	(0,000)	(0,430)	(0,008)	(0,397)	-					
RENT	0,061	0,000	0,107	-0,308*	-0,126	-0,192*	-0,060	0,409*	0,272*	1,000				
	(0,287)	(0,994)	(0,062)	(0,000)	(0,027)	(0,001)	(0,291)	(0,000)	(0,000)	-				
LC	0,213*	0,185*	0,108	-0,475*	0,042	-0,335*	-0,089	0,174*	0,108	0,326*	1,000			
	(0,000)	(0,001)	(0,058)	(0,000)	(0,466)	(0,000)	(0,120)	(0,002)	(0,057)	(0,000)	-			
DLP	-0,207*	-0,150*	-0,151*	0,414*	0,192*	0,051	0,201*	-0,427*	-0,005	-0,090	-0,008	1,000		
	(0,000)	(0,009)	(0,008)	(0,000)	(0,001)	(0,371)	(0,000)	(0,000)	(0,933)	(0,114)	(0,895)	-		
PROP	0,017	-0,108	0,194*	-0,117	-0,495*	0,048	-0,048	0,234*	0,325*	0,268*	0,110	(0,000)	1,000	
	(0,767)	(0,059)	(0,001)	(0,040)	(0,000)	(0,400)	(0,402)	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,053)	(1,000)	-	
CAMBIO	-0,301*	-0,101	-0,424*	0,166*	0,127	-0,160*	0,025	0,063	0,099	0,035	0,042	0,134	-0,008	1,000
	(0,000)	(0,078)	(0,000)	(0,004)	(0,026)	(0,005)	(0,663)	(0,269)	(0,082)	(0,537)	(0,464)	(0,018)	(0,885)	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Notas: Entre parênteses encontra-se a estatística *t* de Student;

* Nível de significância de 1%.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho é composto por dois artigos que visam analisar a heterogeneidade produtiva das agroindústrias sucroenergéticas brasileiras em termos de desempenho e a relação entre a eficiência produtiva e a estrutura de capital destas empresas. A conjunção dos dois artigos procurou analisar a inter-relação entre o desempenho e a alavancagem financeira.

No primeiro artigo do trabalho, fica evidente que, ao longo da última década, o setor sucroenergético brasileiro perdeu eficiência e produtividade, cujo quadro se agravou pela expectativa frustrada por melhores preços de açúcar e etanol entre 2011 e 2015. A eficiência produtiva de uma usina de açúcar e etanol depende de uma gama de variáveis, em que pese: *i)* a participação da cana de fornecedores no volume total de cana-de-açúcar processada; *ii)* o *mix* de produtos finais (açúcar, etanol e bioeletricidade); *iii)* o percentual de área própria/arrendada; *iv)* o potencial agrônomo das suas áreas de cultivo de cana-de-açúcar; *v)* as práticas de gestão e *vi)* o nível tecnológico dos seus ativos e processos. Em contrapartida, este trabalho incorporou uma variável adicional, a qual foi analisada no segundo artigo: a dependência financeira das agroindústrias.

Constatou-se que a dependência financeira, mensurada em termos da participação do capital de terceiros, impactou o nível de performance e de eficiência produtiva das empresas entre 2006-2015, bem como em sentido contrário (causalidade reversa). Desta forma, somam-se aos vetores supramencionais, o papel da gestão financeira na geração de valor dos ativos e no incremento do desempenho das empresas de açúcar e etanol.

A agroindústria sucroenergética é intensiva em capital, tanto para reposição e manutenção dos ativos industriais, quanto para a renovação dos canaviais e garantia das operações de tratamentos culturais. Isto implica um volume significativo de recursos monetários, os quais são essenciais para a manutenção das condições técnicas adequadas à produção, em especial, na área agrícola. Isto significa, em sintonia com os resultados encontrados, que a estrutura de capital também é um impulsionador de valor neste segmento do agronegócio brasileiro.

Por outro lado, os custos agrícolas são o principal desafio do setor, afinal o rendimento do canavial, em t ATR/ha, está abaixo do potencial e da própria média histórica do setor. Ademais, a robustez e geração de caixa das empresas deste setor estarão associadas a operações mais eficientes e custos de produção mais baixos, embora o processo de ajuste da curva de custos seja lento, uma vez que o ciclo da cana-de-açúcar é longo. Neste contexto, o setor precisa alinhar a gestão financeira com os esforços para a redução de custos e ampliação da eficiência produtiva, de forma a priorizar investimentos que melhorem as margens operacionais e eficiência de seus ativos, seja na área agrícola ou na indústria. Uma elevação do patamar da produtividade perpassa pela adoção de novas tecnologias e variedades de cana, além da melhora na qualidade das operações agrícolas e industriais.

A heterogeneidade técnica entre as empresas do setor tornou-se abissal e dilatou-se ao longo do tempo, com destaque para o período entre 2006 e 2015. Nesta situação só há duas alternativas: *i)* *catching-up* ou *ii)* *falling behind*. Na primeira situação, para que haja uma convergência e redução do hiato entre as empresas, faz-se necessário a disseminação de práticas de *benchmarking*, com ênfase na difusão das melhores práticas agrônomicas e industriais e alteração das formas organizacionais, em que pese a adoção da governança corporativa, principalmente nas propriedades familiares. Na segunda situação, dada a vulnerabilidade externa, a dinâmica financeira, o fluxo de caixa apertado e o estado dos ativos (biológico e industrial), se observará um conjunto de usinas que ficarão para trás na trajetória de desenvolvimento deste setor, afinal apresentam um baixo dinamismo e estão aprisionadas (*lock-in*) numa estratégia de baixo crescimento. Estas empresas serão adquiridas por grupos empresariais mais estruturados e com foco na gestão financeira e operacional.

Tem-se observado, no período mais recente, entre 2016 e 2018, movimentos em direção ao segundo cenário supramencionado. Ele significa uma redução do número de *players* e consequentemente uma concentração setorial. No entanto, as potenciais fusões e aquisições (M&A) serão direcionadas à matéria-prima, captação fornecedores de cana-de-açúcar ou absorção das áreas agrícolas. Isto significa que embora algumas usinas sejam fechadas no curto prazo, o processamento da matéria-prima será deslocado para outras empresas.

Este cenário representa uma redução da oferta, em termos de capacidade industrial instalada, refletindo um movimento de ajuste na oferta e de seleção natural dentro do próprio setor sucroenergético brasileiro. Em outras palavras, a possibilidade de expansão significativa na capacidade de produção é baixa no curto prazo, prevalecendo uma consolidação, reestabelecimento das condições técnicas de produção e migração da matéria-prima para outras usinas. Esse será uma condição necessária para que, no médio e longo prazo, haja garantia de crescimento deste setor de forma sustentada. Nesta ocasião as empresas *forging ahead* apresentarão opções de crescimento mais elevado, menor volume de dívidas de longo prazo em sua estrutura de capital e menor custo de agência.