

Gestão da eficiência dos custos na produção da cana-de-açúcar no Brasil

Recebimento dos originais: 04/11/2020
Aceitação para publicação: 06/09/2021

Dryelle Laiana de Jesus Silva dos Santos

Bacharel em Ciências Contábeis – Universidade Federal de Uberlândia
Universidade Federal de Uberlândia
Avenida João Naves de Ávila, n. 2121, Santa Mônica, Uberlândia.
E-mail: dryellelayana@gmail.com

Geovane Camilo dos Santos

Doutorando em Ciências Contábeis – Universidade Federal de Uberlândia
Universidade Federal de Uberlândia
Avenida João Naves de Ávila, n. 2121, Santa Mônica, Uberlândia.
E-mail: geovane_camilo@yahoo.com.br

Elis Regina de Oliveira

Doutora em Ciências Ambientais – Universidade Federal de Goiás
Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Rua 235, n. 722, Setor Leste Universitário, Goiânia.
E-mail: elisreg@gmail.com

Resumo

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar e lidera o ranking de exportação desse produto, que é uma *commodity* valorizada no mercado internacional. Contudo, os estudos que analisam a eficiência nos custos da cana-de-açúcar nas regiões produtoras do Brasil ainda são escassos e, assim, esta pesquisa visa preencher essa lacuna. Dessa forma, com uma amostra de 40 *Decisions Makings Units* (DMUs) e dados coletados no site da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) para as safras 2011/2012 a 2017/2018, esta pesquisa visa identificar as regiões produtoras eficientes na gestão dos custos de produção da cana-de-açúcar. Para isso, utilizou-se de pesquisa quantitativa, documental e descritiva. Os dados foram tratados mediante análise descritiva, correlação e Análise Envoltória de Dados (DEA). Os custos variáveis representam 72,7% dos custos totais, sendo o custeio da lavoura (preparação do solo até a colheita) os mais relevantes. A DEA evidenciou que a DMU RIB4 – safra 2015/2016 da região produtora de Ribeirão-PE – é a mais eficiente e, portanto, *benchmarking* para as demais regiões. Assim, os produtores de cana-de-açúcar podem verificar junto aos gestores dessa região as estratégias utilizadas para maximização da produção a fim de alcançarem maior lucratividade.

Palavras-chave: Custos na agricultura. Produção Sucroalcooleira. Análise Envoltória de Dados.

1. Introdução

O Brasil é o maior exportador de *commodities* do planeta e esse fato torna o setor de agronegócios a locomotiva da economia, contribuindo significativamente para a geração de

riqueza do país. Isso advém da maneira como as empresas entendem seus clientes e gerenciam os fatores ligados à tomada de decisão, tornando o agronegócio responsável por parcela significativa do PIB brasileiro (THOMPSON; BIR; WIDMAR, 2019). Em 2018, o agronegócio foi responsável por 21,1% do PIB do país, cujo valor somou R\$ 1,4 trilhão (CEPEA, 2019).

Dentre as diversas atividades envolvidas pelo agronegócio, destaca-se a produção agrícola, especificamente, a cultura canavieira. O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar no ranking internacional e, a cada ano, há um aumento na participação desse produto, tanto na balança comercial quanto no PIB do agronegócio (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS [FAO], 2019). Na visão de Pereira *et al.* (2016), a cultura canavieira reflete na sustentabilidade da cadeia do agronegócio, com destaque para os fatores financeiros, sociais e ambientais.

Em relação ao aspecto financeiro, a cana-de-açúcar contribui significativamente com a economia brasileira, visto que, em 2019, a participação no Valor da Produção Bruta (VBP) foi de 10,7% da agricultura nacional, correspondendo a, aproximadamente, R\$ 61,08 bilhões (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO [MAPA], 2019). Em relação ao aspecto social, a cadeia sucroenergética (produção da cana-de-açúcar, açúcar e etanol) tem alto potencial de geração de empregos (3,2% do total do agronegócio, em 2017), com a maioria (80%) dos empregados com carteira assinada (CEPEA, 2018). E, no aspecto ambiental, Liboni e Cezarino (2012) afirmam que as condições de vida do planeta constituem-se em preocupações e incertezas do futuro, podendo o Brasil, como maior produtor mundial de cana-de-açúcar, influenciar nesse cenário em virtude do uso do álcool como alternativa aos combustíveis fósseis.

Todavia, nos últimos anos, os agricultores perceberam a importância do alinhamento, em longo prazo, do lucro imediato com a sustentabilidade. Dessa forma, emergiu uma maior preocupação com a preservação dos recursos hídricos, com a redução dos desmatamentos, com o uso desenfreados de agrotóxicos, com as queimadas e com a erosão do solo (CLARO; CLARO, 2014; MAIA; PIRES, 2011; MEDINA; ISLEY; ARBUCKLE, 2020).

Destaca-se que a formação de um sistema integrado de gerenciamento de custos garante operações bem-sucedidas e condicionam aspectos estratégicos para auxiliar na tomada de decisão. Dessa forma, a otimização da eficiência acarreta em ganhos econômicos e financeiros e reduz o desperdício de tempo na realização das atividades. Logo, a modernização é pressionada pelo uso de tecnologias e maior controle com o objetivo de

crescimento dos resultados, além de permitir gerenciamento das operações de acordo com os parâmetros pré-estabelecidos (ARTUZO *et al.*, 2018; SOUZA; RASIA; ALMEIDA, 2015; ZAMBON; BEE, 2016).

Em um contexto mais específico, isto é, na produção da cana-de-açúcar, há uma série de custos envolvidos. Nesse sentido, a Conab (2010) desenvolveu uma metodologia para apuração dos custos de produção do canavial, dividindo-os em seis categorias: i) custeio da lavoura, ii) despesa pós-colheita e iii) financeiras – classificados pela entidade como gastos variáveis, iv) depreciações e v) outros custos fixos – considerados como gastos fixos e vi) renda de fatores (custo de oportunidade).

Devido à concorrência do mercado global, os produtores e/ou empresas devem empregar a gestão dos custos com o objetivo de alcançar vantagem competitiva (FEHR; DUARTE, 2018). Segundo Leite, Lamas e Nóbrega (2018), para o empresário rural se sobressair aos concorrentes, é preciso adotar estratégias que mitiguem os custos e desperdícios e maximizem a produção. De acordo com Macedo e Jamil (2019), a Análise Envoltória de Dados (DEA) auxilia nas tomadas de decisões, pois essa técnica permite avaliar as empresas e as produções como um todo, evidenciando a relação dos resultados obtidos (*outputs*) com os insumos utilizados (*inputs*). Essa técnica também permite a evidenciação de possíveis melhorias para a diminuição dos custos e maximização da produtividade.

Diante desse contexto, esta pesquisa estabelece o seguinte problema: qual é a eficiência das regiões produtoras de cana-de-açúcar na gestão dos custos de produção durante as safras 2011/2012 a 2017/2018? Para responder a essa questão, o estudo tem por objetivo identificar a eficiência na gestão dos custos da cultura canavieira no Brasil mediante a aplicação da Análise Envoltória de Dados.

A gestão dos custos na produção da cana-de-açúcar no Brasil, tanto em grandes agroindústrias quanto em pequenas empresas, é fundamental para o aumento da lucratividade do setor (SIQUEIRA; SALES; LUCENA, 2008). Desse modo, a análise de eficiência dos custos de produção em contexto prático contribuirá com as decisões dos *players* envolvidos na cadeia produtiva da cana-de-açúcar, bem como para a elaboração de políticas públicas direcionadas a esse setor com vista à melhoria de produtividade e eficiência econômica (RASIA *et al.*, 2012). Ainda, segundo Kamiyama (2011), o aumento da eficiência ocasiona a não necessidade de novas áreas cultivadas para atingir os mesmos resultados, além da redução do uso de agrotóxicos com vista à maximização da lucratividade.

Esta pesquisa possibilita a ampliação dos resultados do estudo de Santos *et al.* (2018), pois eles identificaram a diferença estatística entre as regiões produtoras, porém não identificaram as regiões mais eficientes. Assim, este estudo preenche essa lacuna, pois a identificação da eficiência na gestão dos custos de produção da cana-de-açúcar gera informações mais precisas aos *stakeholders* dessa cadeia produtiva. E, por fim, sob o prisma da abordagem teórica, o estudo propicia discussões e fomenta a importância da eficiência dos custos de produção de cana-de-açúcar, possibilitando a compreensão dos arranjos produtivos locais e novos direcionamentos à medida que a logística de transporte, novas tecnologias e condições ambientais se alteram, conforme escala temporal (RASIA *et al.*, 2012).

O estudo também contribui com a visão panorâmica territorial, considerando a eficiência produtiva e econômica na produção de cana-de-açúcar por município e região, ratificando a robustez dos estudos de custos em oportunizar informações estratégicas para os *stakeholders*. Informações sobre as regiões produtoras mais eficientes conduzem à obtenção de vantagens competitivas, bem como ao estabelecimento de políticas de estímulo ao setor.

2. Referencial Teórico

2.1. Cadeia produtiva da cana-de-açúcar no Brasil

A abordagem mesoanalítica possibilita análise estrutural e funcional, corroborada por visão sistêmica dos subsistemas que compõem o sistema agroindustrial, caracterizando-o pela identificação dos elementos: agentes envolvidos, relações entre eles, organizações de apoio e ambiente institucional (BATALHA; SILVA, 2007). Essa visão ampliada decorre da evolução ao longo do tempo com contribuições significativas, principalmente, de Davis e Goldberg (1957), com a criação do termo agronegócio constituído pelo conjunto de operações realizadas pela indústria de insumos, produção agropecuária, armazenamento, processamento, logística, distribuição e consumo.

Em conformidade com esse arcabouço teórico, a cadeia de produção agroindustrial da cana-de-açúcar está estruturada pelos segmentos: indústria de insumos, produção agrícola, agroindústria, distribuição e consumidor (AMARAL; NEVES; MORAES, 2003; BATALHA; SILVA, 2007). O escopo desta pesquisa está centrado no segmento da produção da cana-de-açúcar com a compreensão da eficiência produtiva e econômica na gestão dos custos.

Hemerly (1998) ressalta que a competitividade internacional da *commodity* açúcar exige adoção de estratégias com visão sistêmica de modo a fortalecer a coordenação entre os agentes envolvidos. Destarte, o nível de produtividade da agroindústria se associa à eficiência

da produção da cana-de-açúcar, assegurando as especificidades necessárias de matéria-prima para alavancar o desempenho do processamento. Para Matos e Marafon (2018), a lógica produtiva de *commodity* está baseada na produção em grande escala que, nesse caso, depende de matéria, também, em grande escala.

Nesse sentido, a caracterização da produção de cana-de-açúcar está centrada em duas grandes regiões produtoras: Sudeste e Centro-Oeste. Essas regiões, em conjunto, responderam por 82,87% do total da área colhida no país (9.026.854 hectares) na safra 2019/2020, com produção total equivalente a 85,63% do total da produção nacional (672.768.914 toneladas) e com produtividade média de 77,02 ton./ha. (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020). Nessa mesma safra, houve aumento de 0,44% do total de área colhida em relação à safra do ano anterior, enquanto a produção cresceu em 0,78% (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020).

Esse desempenho é resultado da evolução histórica do setor. A expansão da área plantada se dá por meio, predominantemente, de aquisição de terras pela agroindústria, mas ocorrem, também, a partir de contrato com outros proprietários de terra na forma de arrendamento, parceria agrícola ou fornecimento de matéria-prima.

Ressalta-se ainda o predomínio do Brasil como maior produtor de cana-de-açúcar, seguido pela Índia e China. Essa posição no ranking internacional apresenta evolução histórica desde o Brasil Colônia, porém o crescimento da área produtiva e do número de usinas decorre, sobretudo, a partir da criação do Programa Proálcool (1975), cuja finalidade foi a de produzir combustível alternativo aos derivados do petróleo (MATOS; MARAFON, 2018). Ainda, conforme esses autores, houve novo estímulo à expansão por meio de políticas, a partir de 2003, para atender a exigências ambientais pela redução do consumo de combustíveis fósseis.

A produção da cultura da cana-de-açúcar encontra-se predominantemente mecanizada, sendo esse um fator importante para aumento da produtividade, intensificando, assim, a relação da produção com a indústria de insumos (NOVACANA, 2018). Desse modo, além dos ganhos produtivos, a mecanização oferta benefícios ambientais, como combustíveis limpos, eletricidade e alimento para pecuária, elevando a eficiência interna e externa da cadeia produtiva. Contudo, a irrigação, uma maior extensão de área plantada e a aplicação de agrotóxicos causam potencial impacto no meio ambiente, pois desencadeiam redução dos recursos hídricos, da biodiversidade, além da contaminação do solo e assoreamento de rios (MATOS; MARAFON, 2018).

Sobre essa conjuntura, Neves e Mendonça (2020) discutem que a demanda por terras agricultáveis para produção de cana, considerando os limites de áreas produtivas impostos pelo zoneamento agroecológico e o esgotamento da fronteira agrícola, conduz à substituição de lavouras destinadas à produção de alimentos básicos para sobrevivência humana, portanto é necessária a reflexão sobre esse *trade-off* para elaboração de políticas de segurança alimentar.

As reflexões de Neves e Mendonça (2020) estão substanciadas pelo destino concentrado da cana-de-açúcar para produção de etanol. Conforme a Conab (2019a), para a safra 2019/2020, 64,59% da produção de cana-de-açúcar foi destinada à produção de etanol e 35,41%, para açúcar. Essa concentração decorre da forte pressão do preço do etanol sobre a cadeia produtiva da cana-de-açúcar e, por consequência, reduz a participação do país na produção de açúcar.

Segundo a União da Indústria de Cana-de-açúcar [ÚNICA] (2020), o principal destino do etanol brasileiro são os Estados Unidos da América, enquanto o açúcar tem como destino a Argélia. A evolução histórica do volume exportado de açúcar foi reduzida em 28,48% se comparados os anos de 2011 e 2019. Essa retração é explicada pela ampliação da produção de etanol combustível estimulada pelo melhor preço (NOVACANA, 2020). No entanto, a produção geral deve sofrer contração em 2020 em virtude da crise do petróleo desencadeada pela pandemia do Novo Coronavírus (COVID-19) e a imposição do isolamento social em diversos países. Em fevereiro de 2020, o país exportou 110,29% de etanol a mais que em janeiro e, em março, houve redução de 54,3%, passando de 164,25 milhões de litros para 75,14 milhões (NOVACANA, 2020).

Embora o Brasil apresente alta produção de cana-de-açúcar, os elevados custos com pesticidas e fertilizantes inibem o aumento da produtividade (FAO, 2018, 2019). Diante desse cenário, o estudo da gestão dos custos desse produto, mediante a análise envoltória de dados, é relevante para geração de informações aos produtores. Assim, na próxima subseção, serão discutidos os custos na produção da cana-de-açúcar, contando-se com o detalhamento da metodologia empregada pela Conab para a sua mensuração.

2.2. Custos na produção da cana-de-açúcar

Custos representam os gastos relativos a bens ou serviços empregados para obtenção de serviços ou produtos (LEAL; FAMÁ, 2012; MARTINS, 2018; SANTOS *et al.*, 2015). Já

as despesas referem-se aos gastos realizados pela organização com o objetivo de obtenção receitas e que causam reduções no resultado e no patrimônio líquido (CONSELHO FEDERAL DE CONTABILIDADE, 2019; LEAL; FAMÁ, 2012; MARTINS, 2018).

Os custos se dividem em relação à apropriação aos produtos em (diretos e indiretos) e quantidade produzida (fixos e variáveis). Nesse sentido, os custos diretos são aqueles apropriados aos produtos com base em um critério objetivo e não necessitam de rateio. Os indiretos são os demais custos (na prática a maioria), não existindo uma relação imediata com a unidade de custo cuja apropriação aos produtos depende de rateio (MARTINS, 2018; SANTOS *et al.*, 2015).

Em conformidade com Cogan (2013), a classificação dos custos em variáveis e fixos depende do volume de produção da entidade. Corroborando essa ideia, Martins (2018) afirma que os custos variáveis sofrem modificação de acordo com a quantidade produzida e os custos fixos se mantêm independentemente da produção.

A apropriação dos custos aos produtos ocorre pelos chamados sistemas de custeios (MARTINS, 2018), com destaque para o custeio por absorção e a variável. O primeiro consiste na apropriação de todos os custos aos produtos e despesas aos resultados, sendo ele, portanto, aceito pela legislação fiscal brasileira. O segundo é utilizado para fins gerenciais e fornece informações relativas à margem de contribuição, ao ponto de equilíbrio e custo, ao volume e lucro (COGAN, 2013).

Logo, o conhecimento dos custos é precípuo para obtenção de maiores lucros, pois a organização terá condições de calcular seu preço de venda, além de avaliar quão rentável é a atividade. Nesse sentido, a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil [CNA] (2017) aborda a importância do controle dos custos para rentabilidade agrícola em virtude de o preço ser estabelecido pelo mercado.

Além disso, de acordo com Gatimbu, Ogada e Budambula (2020), espera-se que, até 2030, os empresários rurais conciliem economia, política e sociedade, gerando resultados econômicos, mas com preservação do meio ambiente. Portanto, a gestão dos custos facilitará tanto na mensuração e controle dos custos da produção quanto na preservação ambiental.

Diante dessa perspectiva, a gestão de custos no agronegócio é primordial, principalmente, com ênfase na eficiência de sua produção, pois as informações geradas asseguram vantagem competitiva. Para tal fim, a prática de gestão estratégica de custos pondera a qualidade dos processos, analisa o desempenho, bem como os custos internos e externos, visando alcançar maior margem de contribuição (SOUZA; RASIA; ALMEIDA,

2015). Diante desse cenário, o uso de sistemas integrados gera informações a fim de identificar, reduzir e até findar processos desnecessários. Ressalta-se que a identificação de oportunidades é um diferencial entre os concorrentes e ferramenta útil no processo decisório para crescimento econômico (LIZOT *et al.*, 2018; PORTUGAL; PORTUGAL JÚNIOR; REIS, 2012; SOUZA; RASIA; ALMEIDA, 2015).

Nesse sentido, se o produtor não reduzir seus custos e ocorrer excesso de oferta de produtos, o preço de mercado poderá ser inferior ao esperado, mitigando a lucratividade da empresa. Não obstante, se houver uma gestão adequada para minimização dos custos, o produtor poderá ter ganho com a redução do custo unitário, gerando aumento nos lucros (FEHR; DUARTE, 2018).

Em relação à empresa rural, a mensuração do custo de produção agrícola torna-se instrumento de controle e gerência das atividades produtivas, além de fonte de informações para auxiliar nas tomadas de decisões dos produtores rurais, bem como possibilita estabelecer estratégias de políticas públicas para o setor sucroalcooleiro (CONAB, 2010).

Esta pesquisa considerou a metodologia elaborada pela Conab em conformidade com as especificidades da lavoura de cana-de-açúcar (CONAB, 2019b). Essa metodologia segrega os custos variáveis em custeio da lavoura, pós-colheita e financeira, bem como segrega os custos fixos em depreciação e outros custos fixos. A soma do “custo fixo” com o “custo variável” gera o custo operacional e, para a mensuração do custo total, acrescenta-se o valor de rendas de fatores (custo de oportunidade), conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Relação dos custos de produção, conforme metodologia da Conab 2019

I - CUSTEIO DA LAVOURA	TOTAL DAS DESPESAS PÓS-COLHEITA (B)
1.1 - Operações com avião	III - DESPESAS FINANCEIRAS
1.2 - Operações com máquinas próprias	3.1 - Juros
1.3 - Aluguéis de máquinas/serviços	TOTAL DAS DESPESAS FINANCEIRAS (C)
1.4 - Operações com animais próprios	CUSTO VARIÁVEL (A+B+C = D)
1.5 - Operação com animais alugados	IV - DEPRECIACIONES
1.6 - Mão de obra	4.1 - Depreciação de benfeitorias/instalações
1.7 - Administrador rural	4.2 - Depreciação de implementos
1.8 - Sementes/Mudas	4.3 - Depreciação de máquinas
1.9 - Fertilizantes	4.4 - Depreciação de animais
1.10 - Agrotóxicos	4.5 - Exaustão do cultivo
1.11 - Despesas administrativas	TOTAL DE DEPRECIACIONES (E)
1.12 - Outros itens	V - OUTROS CUSTOS FIXOS
TOTAL DE CUSTEIO DA LAVOURA (A)	5.1 - Manutenção periódica de benfeitorias/instalações
II - DESPESAS PÓS-COLHEITA	5.2 - Encargos sociais
2.1 - Seguro agrícola	5.3 - Seguro do capital fixo
2.2 - Assistência técnica	TOTAL DE OUTROS CUSTOS FIXOS (F)
2.3 - Transporte externo	CUSTO FIXO (E+F = G)
2.4 - Armazenagem	CUSTO OPERACIONAL (D+G = H)
2.5 - CESSR	

2.6 - Impostos	VI - RENDA DE FATORES
2.7 - Taxas	6.1 - Remuneração esperada sobre capital fixo
2.8 - Outros	6.2 - Remuneração esperada sobre a cultura
	6.3 - Terra
	TOTAL DE RENDA DE FATORES (I)
	CUSTO TOTAL (H+I = J)

Legenda: Custos de Produção Estimado- Agricultura Familiar Cana-de-açúcar

Fonte: Elaborado pelos autores de acordo com a Conab (2019b)

Segundo Santos *et al.* (2018), os dados da Conab relativos às safras 2010/2011 a 2017/2018 apontam que os custos mais relevantes foram: mão de obra temporária (26,83%), depreciação (24,85%), aluguel de máquinas e serviços (15,48%), fertilizantes (14,29%), despesas financeiras (8,16%), agrotóxicos (5,03%), despesas administrativas (2,89%) e mão de obra fixa (2,48%). Além disso, os resultados revelaram menor custo por hectare produzido na cidade de Penápolis (SP) (R\$ 3.238,55) e maior em Visconde do Rio Branco (MG) (R\$ 6.987,43).

Desse modo, há uma série de gastos envolvidos na produção da cana-de-açúcar. Com a adoção da Análise Envoltória de Dados (DEA), os produtores podem tomar melhores decisões quanto às metodologias empregadas na plantação da cultura canavieira, gerando, por consequência, maior lucratividade.

2.3. DEA

Os estudos iniciais sobre a Análise Envoltória de Dados (DEA) surgiram em 1957, quando Farrell propôs um exemplo empírico para medir a eficiência de unidades comparáveis. Na visão do pesquisador, a eficiência deveria ser medida, comparando-a com o melhor nível de eficiência já observado e não com um valor intangível (VILELA; NAGANO; MERLO, 2007).

Na percepção de Silva, Moreira e Francisco (2014), a DEA é uma técnica derivada de programação linear e visa medir a otimização dos *outputs* com base nos *inputs*. Por sua vez, Scherer *et al.* (2019) afirmam que a DEA é uma técnica não paramétrica capaz de gerar múltiplas saídas e, assim sendo, os gestores a preferem pela sua simplicidade e pela capacidade de geração de informações úteis para as tomadas de decisão. Consoante a essa ideia, Jubran (2006) aborda que o uso da DEA permite identificar a fronteira de eficiência com vista a confrontar os recursos empregados com os resultados obtidos. Ainda para Jubran (2006), essa técnica mede a eficiência da produção de um grupo de unidades avaliadas e pondera os resultados alcançados em relação aos insumos aplicados.

Essa metodologia possui dois modelos: BCC e CCR. Para Rempel *et al.* (2017), os modelos CCR e BCC recebem essa nomenclatura devido aos seus desenvolvedores Charnes, Cooper e Rhodes e Banker, Charnes e Cooper, nessa ordem de iniciais. Ainda para os referidos autores, o modelo CCR aborda retornos constantes de escala, isto é, *outputs* e *inputs* crescem na mesma proporção, tendo como base a fronteira linear.

O modelo BCC apresenta as mesmas abordagens quanto ao *input* e *output* do modelo CCR, porém não é linear, isto é, a eficiência não aumenta ou reduz na mesma proporção. Desse modo, os retornos são classificados como variáveis e podem ser crescentes, constantes ou decrescentes (COOPER; SEIFORD; ZHU, 2004; REMPEL *et al.*, 2017). Retornos crescentes evidenciam que variações nos *inputs* são menores que nos *outputs*, isto é, há aumento mais que proporcional dos produtos (BANKER, 1984; WANKE, 2012). Os retornos constantes evidenciam crescimento igual entre *inputs* e *outputs* (BANKER, 1984; WANKE, 2012). Já os decrescentes representam que acréscimos nos *inputs* ocasionam crescimento menos que proporcional nos *outputs* (BANKER, 1984; WANKE, 2012).

A eficiência técnica é medida por meio do produto que alcançar a melhor produtividade (COOPER; SEIFORD; ZHU, 2004; PEÑA; ALBUQUERQUE; DAHER, 2012) com uma quantidade mínima de insumos (OMONONA; EGBETOKUN; AKANBI, 2010). Já a eficiência de escala mostra se a empresa opera em seu tamanho ideal, de modo que a produção superior ou inferior ao nível “ótimo” acarreta em custos adicionais (SOWLATI; PARADI, 2004). Por sua vez, a eficiência pura consiste na retirada do efeito da escala da eficiência técnica (DHUNGANA; NUTHALL; NARTEA, 2004).

O modelo BCC compara DMUs semelhantes a fim de evidenciar se o desempenho dos produtos foi bom ou ruim, sendo seu resultado sempre igual ou maior que o CCR. Wanke (2012) afirma que, ao comparar A e B, mesmo A sendo a mais eficiente, isso não quer dizer que B não possa dar o máximo de si. Em outras palavras, o modelo BCC traz informações relevantes para as DMUs consideradas ineficientes. Logo, no modelo BCC, o retorno de escala é variável.

Para Steffanello, Macedo e Alyrio (2009), conforme literatura relacionada ao modelo DEA, cada unidade produtora independente chama-se *Decision Making Unit* (DMU), que é traduzida como unidade tomadora de decisão. Cava, Salgado Júnior e Branco (2016) complementam que a DMU eficiente tem pontuação 1 e menor que 1 quando ineficiente, sendo ela estabelecida pela contagem de entradas e saídas.

A DEA considera três fronteiras: padrão, invertida e composta. No entendimento de Giacomello e Oliveira (2014), a fronteira padrão (otimista) considera o resultado a ser obtido entre a produtividade analisada e a máxima que poderia ser alcançada. A fronteira invertida, para Neves Júnior *et al.* (2012), é uma análise mais detalhada do problema, isto é, o seu foco é retirar o que há de melhor naquilo que é ineficiente de modo a contribuir para sua competência. Costa e Tavares (2014) e Silveira, Meza e Mello (2012) complementam que a fronteira invertida é o valor da fronteira pessimista da DMU, pois consideram-se os *inputs* como *outputs* e os *outputs* como *inputs*, sendo calculada pela subtração do valor 1 pelo valor da eficiência. Já a eficiência composta é obtida pela média aritmética da fronteira padrão e da invertida (MEZA *et al.*, 2005; NEVES JÚNIOR *et al.*, 2012). Para a visualização das fronteiras clássica e invertida, observa-se, abaixo, a Figura 1.

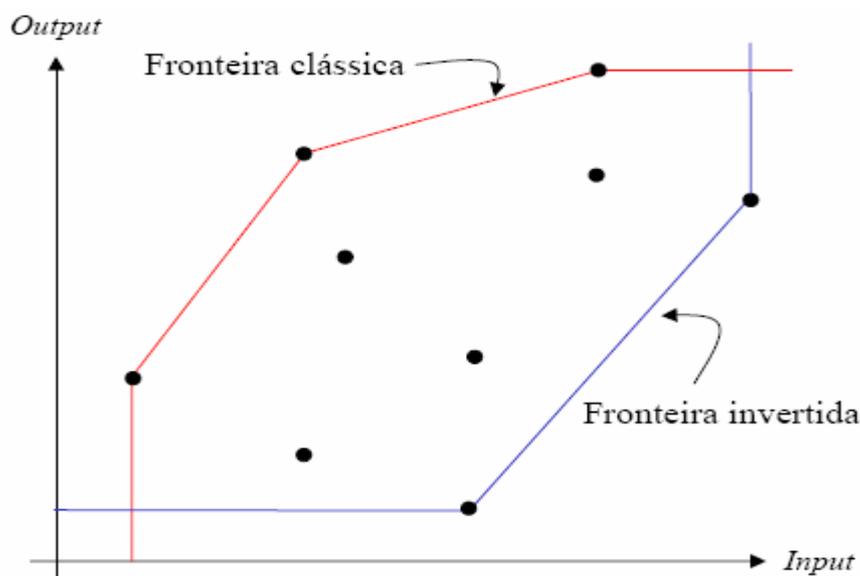


Figura 1: Fronteira DEA BCC Clássica e Invertida

Fonte: Silveira, Meza e Mello (2012)

Portanto, conforme exposto anteriormente, a fronteira clássica (padrão) é otimista, enquanto a invertida é pessimista, mas busca a otimização, conforme Figura 1. Por ser segura quanto à mensuração dos resultados, a DEA, em situações complexas, é uma prerrogativa para tomada de decisão (GUIMARÃES *et al.*, 2010) e seu uso permite a identificação da excelência das ações para aplicação de recursos (JUBRAN, 2006).

Destaca-se que, para acompanhar os avanços ocorridos no setor de agronegócio, as empresas precisam ser eficientes, isto é, conciliar os recursos de forma a obter maiores resultados e continuar com a mesma qualidade, prezando pela redução dos custos. Essa

combinação “perfeita” dos insumos (*inputs*) no processo produtivo para maximização do produto (*output*) é a clara definição de eficiência (PEÑA, 2008). Logo, o conceito de eficiência está ligado à medição de saída para um dado nível de entrada (SAHA; RAVISANKAR, 2000).

Para Mello *et al.* (2005) e Vasconcellos, Canen e Lins (2006), a DMU eficiente é chamada de *benchmarks*, isto é, referência e espelho para as demais DMUs. Logo, uma unidade tem eficiência se, e somente se, ocorrer a redução de algum *input* sem a redução do *output* e/ou nenhum *output* ser aumentado sem aumento dos *inputs*.

3. Aspectos Metodológicos

Este estudo se classifica como descritivo com abordagem quantitativa e procedimentos documentais, pois caracterizou a eficiência produtiva e econômica por município e região, considerando variáveis quantitativas e tratamento econométrico com uso de dados obtidos em documentos eletrônicos (MARCONI; LAKATOS, 2017). A coleta de dados foi realizada por meio de informações de livre acesso, tendo sido os dados sobre os custos de produção (Quadro 1) obtidos nas planilhas da Conab e, sobre a produtividade (em toneladas por hectare), no site do IBGE, compreendendo o período de análise as safras 2011/2012 a 2017/2018. Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas e atualizados monetariamente pelo Índice de Preço Amplo ao Consumidor (IPCA), tendo como referência o ano base 2018.

As variáveis utilizadas como *input* no modelo DEA foram selecionadas com base no Quadro 1, seguindo as seguintes etapas: i) existência de valores em, no mínimo, mais de 50% das DMUs; ii) custos médios de produção equivalentes a, no mínimo, 1% do custo total médio das DMUs; e iii) correlação positiva do *input* com a variável *output* (produtividade), pois a existência dessa relação é requisito obrigatório da DEA (CHEN; CHEN, 2009). Após o uso desses critérios, foram identificadas 6 (seis) variáveis de entrada (*input*): aluguel de máquinas e equipamentos (ALMS); mão de obra fixa (MOF); fertilizantes (FERT.); agrotóxicos (AGR.); despesas administrativas (DESP.ADM.); e remuneração da terra (TERRA).

As regiões produtoras Visconde do Rio Branco e São João Evangelista (Minas Gerais), Penápolis (São Paulo) e São Miguel dos Campos (Alagoas) apresentavam os dados das sete safras. A região de Ribeirão (Pernambuco) não apresentava dados dos custos de produção da safra 2014/2015 e Campo do Camaragibe (Alagoas), de 2017/2018 (CONAB,

2019b). A região de São Luís do Quitunde (Alagoas) foi retirada da pesquisa por apresentar apenas os dados da safra 2016/2017 (CONAB, 2019b). Apesar de a Conab disponibilizar os custos das safras 2018/2019 e 2019/2020, o IBGE não informou a produtividade nesse período, o que permitiu uma análise apenas até a safra 2017/2018 (IBGE, 2020).

Para a aplicação da técnica DEA, é necessário estabelecer as DMUs, tendo sido empregadas, neste estudo, 40 unidades (7 para cada uma das seguintes regiões: Visconde do Rio Branco (MG), São João Evangelista (MG), Penápolis (SP) e São Miguel dos Campos (AL) e 6 para cada uma das seguintes regiões: Ribeirão (PE) e Campo do Camaragibe (AL). As DMUs são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2: Apresentação das DMUs

DMU	Município	DMU	Município	DMU	Município
VRB1	Visconde de Rio Branco-MG	SJE1	São João Evangelista-MG	PEN1	Penápolis-SP
VRB2	Visconde de Rio Branco-MG	SJE2	São João Evangelista-MG	PEN2	Penápolis-SP
VRB3	Visconde de Rio Branco-MG	SJE3	São João Evangelista-MG	PEN3	Penápolis-SP
VRB4	Visconde de Rio Branco-MG	SJE4	São João Evangelista-MG	PEN4	Penápolis-SP
VRB5	Visconde de Rio Branco-MG	SJE5	São João Evangelista-MG	PEN5	Penápolis-SP
VRB6	Visconde de Rio Branco-MG	SJE6	São João Evangelista-MG	PEN6	Penápolis-SP
VRB7	Visconde de Rio Branco-MG	SJE7	São João Evangelista-MG	PEN7	Penápolis-SP
SMC1	São Miguel dos Campos-AL	CCM1	Campo do Camaragibe - AL	RIB1	Ribeirão-PE
SMC2	São Miguel dos Campos-AL	CCM2	Campo do Camaragibe - AL	RIB2	Ribeirão-PE
SMC3	São Miguel dos Campos-AL	CCM3	Campo do Camaragibe - AL	RIB3	Ribeirão-PE
SMC4	São Miguel dos Campos-AL	CCM4	Campo do Camaragibe - AL	RIB4	Ribeirão-PE
SMC5	São Miguel dos Campos-AL	CCM5	Campo do Camaragibe - AL	RIB5	Ribeirão-PE
SMC6	São Miguel dos Campos-AL	CCM6	Campo do Camaragibe - AL	RIB6	Ribeirão-PE
SMC7	São Miguel dos Campos-AL				

Fonte: Elaborada pelos autores

O tratamento estatístico ocorreu mediante análise descritiva, teste de correlação de Spearman e Análise Envoltória de Dados. A análise descritiva e o teste de correlação foram processados no *software Stata 14.0*, com nível nominal de significância de 5% (FÁVERO; BELFIORE, 2017), e a DEA, no Sistema Integrado de Apoio à Decisão (SIAD).

4. Resultados e Discussão

4.1. Estatística descritiva

A Tabela 1 apresenta a análise descritiva dos custos de produção da cana-de-açúcar.

Tabela 1: Análise descritiva das categorias de custos utilizadas na produção da cana-de-açúcar

Categorias	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Total de Custeio da Lavoura (A)	R\$ 3.167,78	R\$ 491,74	R\$ 1.911,39	R\$ 4.363,00
Total das Despesas Pós-Colheita (B)	R\$ 695,94	R\$ 592,51	R\$ -	R\$ 1.965,48

Custos e @gronegocio on line - v. 17, Edição Especial, Agosto - 2021.

ISSN 1808-2882

www.custoseagronegocioonline.com.br

Total das Despesas Financeiras (C)	R\$ 322,52	R\$ 199,90	R\$ 92,74	R\$ 1.404,70
Custo Variável (A+B+C = D)	R\$ 4.186,25	R\$ 1.026,23	R\$ 2.483,95	R\$ 6.151,13
Total de Depreciações (E)	R\$ 1.160,81	R\$ 862,19	R\$ 54,48	R\$ 5.724,88
Total de Outros Custos Fixos (F)	R\$ 44,21	R\$ 54,88	R\$ 0,51	R\$ 264,67
Custo Fixo (E+F = G)	R\$ 1.205,02	R\$ 865,67	R\$ 125,50	R\$ 5.825,99
Custo Operacional	R\$ 5.391,27	R\$ 1.599,51	3.052,86	R\$ 11.682,73
Total de Renda de Fatores (H)	R\$ 368,15	R\$ 228,71	R\$ 92,74	R\$ 1.022,86
Custo Total (G+H+I = I)	R\$ 5.759,41	R\$ 1.568,18	R\$ 3.520,69	R\$ 11.989,61

Fonte: Elaborada pelos autores, 2019.

Os dados revelam predominância de gastos variáveis em relação aos gastos fixos. Assim, um aumento de hectares plantados ocasiona elevação do custo total de produção, pois, conforme Cogan (2013) e Martins (2018), os custos variáveis totais sofrem alterações para cima com o aumento da produção.

Ainda em relação aos custos variáveis, há uma discrepância entre os anos e as regiões produtoras, pois a safra 2012/2013 de Penápolis (SP) apresentou custo variável por hectare plantado de R\$ 2.483,95, enquanto a safra de 2013/2014 da região de Visconde do Rio Branco (MG) alcançou o patamar de R\$ 6.151,13. Essa análise também é aplicável aos custos fixos, pois, na safra de 2016/2017 de Campo do Camaragibe (AL), o total desse custo é de R\$ 125,50 por hectare e, na safra 2011/2012 do município de Campo do Camaragibe (AL), o valor é de R\$ 5.825,99. Ao analisar a variação entre os dois grupos, mediante o coeficiente de variação, os custos fixos têm valor de 72% e os variáveis, de 25%, relevando maior disparidade dos custos fixos nas regiões produtoras.

Diante desse resultado, a aplicação da DEA é primordial para aumento da lucratividade, visto que traz mudanças nos processos gerenciais e culturais administrativos, corroborando para ampliação da produtividade. Dessa forma, a maximização da quantidade colhida por hectare permite a dissolução dos custos fixos, pois, segundo Martins (2018), esses custos existirão independentemente da quantidade produzida. Além disso, o preço das *commodities* são determinados pelo mercado comprador (CNA, 2017), logo, a redução dos custos por hectare com a diluição dos custos fixos resulta em maiores lucros.

Ao analisar as categorias que formam o total dos custos variáveis, apura-se que o custeio da lavoura é o mais representativo, com uma participação de 75,7%. Entre os gastos que formam o custeio da lavoura, os destaques são a mão de obra temporária (média mais alta da amostra – R\$ 1.341,30) e o aluguel de máquinas e serviços (terceira maior média – R\$ 481,15), corroborando os resultados de Santos *et al.* (2018), que também encontraram esses gastos como os mais relevantes no custeio do canavial.

Em relação aos custos variáveis de pós-colheita (17%), o mais relevante é o transporte externo (quarta maior média da amostra – R\$ 478,98). No Brasil, o transporte da cana-de-açúcar do canavial até as usinas, segundo Vian e Marin (2016), representa, em média, 12% do custo da produção da cana-de-açúcar. Neste estudo, o percentual é de 8,3%, porém as regiões produtoras de São Miguel dos Campos, de Penápolis (SP) e de São João Evangelista (MG) não apresentaram esses custos, enquanto, nas demais regiões, o percentual é de 17,5%.

Uma possível explicação para esses resultados, segundo o Novacana (2018b), é que há alta quantidade de usinas de cana-de-açúcar nas proximidades das regiões de São Miguel dos Campos, Penápolis (SP) e São João Evangelista (MG). Outra explicação admissível é a formação de *clusters* (tanto empresas de suporte à produção quanto usinas para processamento com o objetivo de evitar custos com logística) próximos a essas regiões (DI SERIO; SOARES, 2013). Por outro lado, Lorenzetti *et al.* (2012) afirmam que muitas usinas ainda ficam distantes dos produtores rurais e, assim, os caminhões precisam atravessar centros urbanos, aumentando o tempo de viagem, os riscos de perdas da cana-de-açúcar e os custos de frete.

Diante dessa perspectiva, sugere-se aos produtores o estabelecimento de parcerias com vista a formar *clusters*, desde empresas para fornecer suporte ao plantio até usinas para tratamento da cana-de-açúcar e conversão em produtos, cuja finalidade é a de redução dos custos de transportes.

Conforme resultados encontrados, 96,3% dos custos fixos referem-se às depreciações (segunda maior média da amostra – R\$ 1.112,42), com ênfase nas benfeitorias, as quais são responsáveis por 95,8% do total das depreciações. Esse resultado corrobora o estudo de Santos *et al.* (2018), pois eles também identificaram a depreciação como custo fixo mais representativo na produção da cana-de-açúcar e o segundo mais relevante em relação ao total dos custos. O alto valor da depreciação pode ser justificado pelo fato de as propriedades rurais produtoras de cana-de-açúcar serem altamente mecanizadas (BANCHI; LOPES; FERREIRA, 2016).

O custo operacional (soma dos custos variáveis e fixos) apresentou valor médio de R\$ 5.391,27 e desvio-padrão de R\$ 1.599,51, revelando diferenças entre as regiões produtoras, sendo o menor valor na safra 2012/2013 de Penápolis (SP) e maior, na safra 2011/2012 de Campo do Camaragibe (AL). Essa alta variação já era esperada, pois, conforme discutido anteriormente, tanto os custos fixos quanto os variáveis tiveram alta variação entre as regiões/safras.

E, por fim, quanto ao custo de oportunidade (composto pela remuneração do capital fixo investido e pela remuneração das terras utilizadas na produção), o mais proeminente é a remuneração da terra, que apresentou média de R\$ 324,95, tendo a região de Penápolis (SP) o maior valor, mais especificamente, de R\$ 594,06. As safras 2013/2014 e 2016/2017 dessa região não tiveram os dados divulgados pela Conab e, portanto, a média, sem considerar esses dois anos, é de R\$ 831,67 por hectare produzido.

Em relação às regiões produtoras, tanto o custo operacional quanto o custo total apresentaram menor e maior valor, respectivamente, para Penápolis (SP) (R\$ 4.301,75) e Campo do Camaragibe (AL) (R\$ 7.315,45). Esse resultado corrobora o estudo de Santos *et al.* (2018) quanto à região produtora de Penápolis (SP), pois, em ambos os estudos, essa região tem menor custo operacional e total de produção. Por outro lado, o resultado não corrobora o referido estudo quanto à região com maior custo, uma vez que, naquele estudo, a região de Visconde do Rio Branco (MG) apresentou maiores valores.

A Tabela 2 evidencia a análise descritiva dos *inputs* e *outputs*, conforme exposto na metodologia. Destaca-se que, apesar de ser o gasto mais representativo, a mão de obra temporária não se relaciona positivamente com a produtividade (pré-requisito da metodologia DEA), sugerindo teoricamente que não há possibilidade de sua redução.

Tabela 2: Análise descritiva dos *inputs* e *outputs* utilizados na produção da cana-de-açúcar

		Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	Coefficiente Variação
<i>Inputs</i>	ALMS	R\$ 481,15	R\$ 652,04	R\$ -	R\$ 1.996,22	1,355168
	MOF	R\$ 116,62	R\$ 24,79	R\$ 79,64	R\$ 184,71	0,212577
	FERT.	R\$ 584,55	R\$ 250,20	R\$ 101,11	R\$ 975,47	0,428024
	AGR.	R\$ 191,20	R\$ 163,98	R\$ -	R\$ 497,98	0,857658
	DESP.ADM	R\$ 106,62	R\$ 45,42	R\$ -	R\$ 171,76	0,425945
	Terra	R\$ 324,95	R\$ 265,94	R\$ -	R\$ 1.020,17	0,818402
<i>Outputs</i>	Produtividade	770.707,55	R\$ 898.795,95	9.100,00	2.840.175,00	1,166196

Fonte: Elaborada pelos autores, 2019.

Os resultados (Tabela 2) revelam, mediante o coeficiente de variação, a existência de uma alta variabilidade entre as variáveis que compõem tanto os *inputs* quanto os *outputs*. Esses resultados são indicativos da importância do uso da DEA, pois há margem para os gestores reduzirem seus custos e maximizarem seus resultados.

Entre as variáveis que compõem os *inputs*, os fertilizantes (FERT.) apresentaram a maior média, R\$ 584,55, e coeficiente de variação de 42%. Desse modo, os gestores podem usar produtos naturais, como esterco bovino e aviário, que não degradam o meio ambiente (AVILA *et al.*, 2007; FREITAS *et al.*, 2012; GUIMARÃES *et al.*, 2016), reduzem os custos

(LANA *et al.*, 2010), aumentam a rentabilidade (CARDOSO; MANCIO, 2010) e majoram a qualidade da cana-de-açúcar (GUIMARÃES *et al.*, 2016).

O aluguel de máquinas e serviços (ALMS) apresentou maior coeficiente de variação (135,51%), sendo esse o segundo maior custo de produção entre os que foram selecionados como *input*. Essa variabilidade é causada, principalmente, pelo baixo valor encontrado nas regiões produtoras de Minas Gerais (Visconde do Rio Branco-MG e São João Evangelista-MG) e valores elevados percebidos nas regiões de Alagoas, com médias de R\$ 1.625,05 e R\$ 670,36 para São Miguel dos Campos (AL) e Campo do Camaragibe (AL), respectivamente.

Em conformidade com o Cepea (2017), os municípios alagoanos enfrentaram dificuldades climáticas devido à pouca quantidade de chuvas em 2014. Dessa forma, essa condição climática desfavorável pode ter ocasionado a necessidade de gastos elevados com aluguéis de máquinas para irrigação, pois, de acordo com Santiago e Rossetto (2013), a cana-de-açúcar necessita de alta disponibilidade de água para o bom desenvolvimento. Nesse sentido, os gestores rurais podem adquirir ou alugar pivôs para realização da irrigação e, caso optem pelo aluguel, sugere-se a realização de contratos de longos prazos, pois, geralmente, eles têm menor custo.

Após a análise descritiva, realizou-se a correlação de Spearman, visto que as variáveis não apresentaram distribuição normal (teste Shapiro-Francia, p-valor0,05). O resumo da correlação entre os *inputs* e *outputs* é evidenciado na Tabela 3.

Tabela 3: Resumo da Correlação de Spearman entre *inputs* e *outputs*

	<i>ALMS</i>	<i>MOF</i>	<i>FERT.</i>	<i>AGR.</i>	<i>DESP.ADM</i>	<i>Terra</i>	<i>Produtividade</i>
Produtividade	0,5958*	0,0129	0,3060***	0,7434*	0,3153**	0,5925*	1

*, ** e ***, significância de 1%, 5% e 10%, respectivamente

Fonte: Elaborada pelos autores, 2019.

Os resultados revelaram existência de correlação entre todos os *inputs* com o *output*, sendo todas significativas (exceto mão de obra fixa). Ressalta-se que essa variável tem o menor coeficiente de variação (Tabela 2), sugerindo menor possibilidade de gestão dos custos.

Ademais, os resultados evidenciam que os maiores custos, em média, são variáveis (72,69% dos custos totais), com destaque para o custeio da lavoura, que representa 55% do custo total. Dentre os custos fixos (20,92% do custo total), a depreciação é a mais representativa, com participação de 20,16% no custo total. Portanto, o custo operacional, em média, é responsável por 93,61% do custo total das propriedades produtoras. Já o custo de

oportunidade representa 6,39% do custo total, sugerindo uma remuneração média próxima à da poupança (6,18%), visto os rendimentos apurados conforme Lei 12.703/2012.

4.2. Resultados da eficiência técnica e econômica

A Tabela 4 evidencia a eficiência técnica, a escala, o retorno de escala, o problema de cada região produtora por ano (DMU), a eficiência composta, a composta normalizada e o rank das DMUS.

Tabela 4: Eficiência Técnica, de Escala, Retorno de Escala, Problema da DMU, Eficiência Composta e Composta Normalizada e Rank.

DMU	Eficiência técnica**		Eficiência de escala (EE)	Retorno de Escala	Problema maior	Composta normalizada	Rank
	RCE* CCR	RVE**BCC					
VRB1	0,844	1,000	0,844	Crescente	Escala	0,783851	11°
VRB2	0,562	0,963	0,583	Crescente	Técnica	0,755207	22°
VRB3	0,499	0,919	0,543	Crescente	Técnica	0,720059	29°
VRB4	0,605	0,967	0,626	Crescente	Técnica	0,796287	8°
VRB5	0,395	0,916	0,432	Crescente	Técnica	0,717667	30°
VRB6	0,380	0,869	0,437	Crescente	Técnica	0,681106	35°
VRB7	0,072	1,000	0,072	Crescente	Escala	0,783851	12°
SJE1	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,783851	13°
SJE2	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,783851	14°
SJE3	0,961	0,974	0,987	Crescente	Técnica	0,763097	20°
SJE4	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,846827	4°
SJE5	0,970	0,982	0,987	Crescente	Técnica	0,789407	9°
SJE6	0,889	0,889	1,000	Crescente	Técnica	0,697102	32°
SJE7	0,017	1,000	0,017	Crescente	Escala	0,783851	15°
RIB1	0,398	0,836	0,476	Crescente	Técnica	0,690796	34°
RIB2	0,475	0,809	0,588	Crescente	Técnica	0,7451	23°
RIB3	0,482	0,787	0,612	Crescente	Técnica	0,697154	31°
RIB4	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	1	1°
RIB5	0,754	0,809	0,933	Crescente	Técnica	0,730792	26°
RIB6	0,467	0,789	0,592	Crescente	Técnica	0,72862	27°
PEN1	0,911	0,943	0,965	Crescente	Técnica	0,739372	24°
PEN2	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,884165	2°
PEN3	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,783851	16°
PEN4	0,677	0,793	0,854	Crescente	Técnica	0,621394	37°
PEN5	0,719	0,809	0,889	Crescente	Técnica	0,660153	36°
PEN6	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,857454	3°
PEN7	0,950	1,000	0,950	Crescente	Escala	0,783851	17°
CCM1	0,112	0,614	0,182	Crescente	Técnica	0,481458	40°
CCM2	0,099	0,729	0,136	Crescente	Técnica	0,571605	38°
CCM3	0,098	0,703	0,140	Crescente	Técnica	0,550849	39°
CCM4	0,849	1,000	0,849	Crescente	Escala	0,786435	10°
CCM5	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,833753	5°
CCM6	0,957	1,000	0,957	Crescente	Escala	0,783851	18°
SMC1	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,807787	7°
SMC2	0,867	0,924	0,938	Crescente	Técnica	0,724546	28°
SMC3	0,975	0,975	0,999	Crescente	Técnica	0,764527	19°
SMC4	0,947	0,973	0,973	Crescente	Técnica	0,763053	21°
SMC5	0,479	0,940	0,510	Crescente	Técnica	0,736595	25°
SMC6	0,475	0,882	0,539	Crescente	Técnica	0,691061	33°

SMC7	1,000	1,000	1,000	Constante	Não há	0,819614	6°
Média	0,697	0,920	0,758				
DMUS eficientes	10	16	10				

Legenda: (*) CCR utiliza RCE - Retorno Constante de Escala; BCC: utiliza RVE - Retorno Variável de Escala; (**) ambos modelos CCR e BCC foram construídos com a fronteira padrão, VRB – Visconde do Rio Branco, SJE – São João Evangelista, RIB – Ribeirão, PEN – Penápolis, CCM – Campo do Camaragibe, SMC – São Miguel dos Campos, RIB4 representa safra 2015/2016, por não existir dados em 2014/2015.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2019.

Neste estudo, a DEA tem orientação aos *inputs* (entradas), indicando possibilidade de redução dos custos com a mesma capacidade produtiva (eficiência técnica), tendo sido encontradas 10 DMUs eficientes pelo modelo de retorno constante de escala (SJE1, SJE2, SJE4, RIB4, PEN2, PEN3, PEN6, CCM5, SMC1 e SCM7). Isso significa que essas regiões produtoras, nos respectivos anos de referência, alcançaram a melhor produtividade com uma quantidade mínima de recursos.

A média técnica, pela soma de todos os valores do resultado da coluna retorno constante de escala dividido pelo total de DMUs, é 69,7%. Esse resultado está próximo à média encontrada por Mahadevan (2008) em 677 fazendas produtoras de cana-de-açúcar em Fiji, que foi de 67,5%. Brunozi Júnior *et al.* (2012), em análise de 17 usinas em São Paulo, encontraram média de 62,5%. Por sua vez, Pereira e Tavares (2017) observaram média de 62% em análise dos custos de produção das regiões Nordeste, Centro-Sul tradicional e Centro-Sul expansão para as safras de 2007/2008 e 2011/2012. Portanto, os resultados evidenciam que os gestores das DMUs têm espaço para melhorar a capacidade de gerar resultados com base nos insumos utilizados.

A ineficiência nos retornos constantes de escala média é de 0,303 (1-0,697). Em virtude de o modelo ser orientado aos insumos, constata-se que, em média, as regiões produtoras poderiam ter gastos 30,3% a menos com aluguel de máquinas e equipamentos, mão de obra fixa, fertilizantes, agrotóxicos, despesas administrativas e remuneração da terra sem comprometer a quantidade produzida. Outro fator que pode justificar essa ineficiência é a incorreta escala de produção, pois a eficiência total é composta pela eficiência técnica de retornos variáveis e eficiência de escala. Por fim, destaca-se que esse resultado está próximo das ineficiências técnicas de 32,5%, 37,5% e 38% encontradas, respectivamente, por Mahadevan (2008), Brunozi *et al.* (2012) e Pereira e Tavares (2017).

Pelo modelo de retorno variável de escala, a eficiência ocorreu em 16 DMUs (VRB1, VRB7, SJE1, SJE2, SJE4, SJE7, RIB4, PEN2, PEN3, PEN6, PEN7, CCM 4, CCM5, CCM6, SMC1 e SMC7). Esse resultado indica que essas DMUs são eficientes após a retirada do efeito da eficiência técnica, cuja média é 92,0%. A média de eficiência técnica encontrada

nesta pesquisa está próxima à média encontrada no estudo de Cano e Tupy (2005), pois, ao analisarem 78 usinas de cana-de-açúcar na macrorregião de São Paulo, os autores encontraram média de eficiência de 96,1%.

Tanto pelo modelo CCR (60%) quanto pelo modelo BCC (62,5%), as DMUs eficientes estão localizadas na região Sudeste. Nesse sentido, esses resultados, de acordo com Brunozi Júnior *et al.* (2012), podem ser explicados devido às melhores condições de capital, gestão e instituições de pesquisas e, segundo Salgado Júnior, Carlucci e Novi (2014), isso se deve às melhores condições edafoclimáticas.

Pelo modelo CCR, os menores escores de eficiências ocorreram nas DMUs SJE7, VRB7, CCM3 e CCM2, com valores de 0,017, 0,072, 0,098 e 0,099, respectivamente. Esses resultados carecem de uma análise com maior profundidade e reflexão dos gestores, pois essas safras apresentaram eficiência abaixo de 10% e, portanto, há necessidade de revisão do processo produtivo com vista à melhoria dos resultados. Além disso, as duas piores safras possuem as informações mais recentes (2017/2018), sendo que em ambas o problema foi de escala.

Pelo modelo BCC, os menores escores foram nas DMUs CCM1, CCM2 e CCM3, com os valores de 0,614, 0,703 e 0,729, respectivamente. Ao analisar o Apêndice A, constata-se a necessidade de redução de custos em cada uma das DMUs, cujo custo de aluguel de máquinas e equipamentos (média de 57%) é aquele com maior potencial de redução, seguido pelos fertilizantes (55%). Esse resultado corrobora Melo e Esperancini (2012), pois, ao analisarem a eficiência econômica junto a produtores independentes do Paraná, esses autores identificaram que os gastos com insumos (média de 48,6%) e máquinas (média de 41%) são aqueles com maiores potenciais de redução.

Outro resultado que merece destaque diz respeito à ineficiência de escala, que é de 24,2% (1-0,758), sugerindo que a DMU está operando abaixo da escala ótima (retorno crescente) ou acima da escala ótima (retorno decrescente), gerando custos adicionais (SOWLATI; PARADI, 2004). Com base na Tabela 4, todas as DMUs ineficientes apresentaram retornos crescente de escala, isto é, podem majorar a produção com custos médios decrescentes, porém necessitam aumentar a quantidade produzida. Já as 10 DMUs com eficiência de escala (SJE1, SJE2, SJE4, SJE4, RIB4, PEN2, PEN3, PEN6, CCM5, SMC1 e SMC 7) operam no seu tamanho ideal, evitando custos adicionais (SOWLATI; PARADI, 2004).

Diante dos métodos apresentados anteriormente, constata-se o maior problema (escala ou técnica) de cada DMU. A ocorrência do problema de escala considera o atendimento de duas condições: i) valor do BCC ser igual a 1; e ii) eficiência de escala ser menor que 1. O problema de eficiência técnica também considera duas condições: i) valor do CCR ser inferior a 1; e ii) escala de eficiência ser maior que CCR. O objetivo dessa análise é identificar o tipo de limitação de cada DMU. Nesta pesquisa, 10 DMUs não apresentaram problema de eficiência (SJE1, SJE2, SJE4, RIB4, PEN2, PEN3, CCM5, SMC1 e SMC7), sugerindo que os gestores dessas regiões geriram seus custos e operaram no tamanho ideal de forma a reduzir desperdícios e maximizar os resultados.

Ainda, foram encontradas 6 DMUs com problemas de escala (VRB1, VRB7, SJE7, PEN7, CCM4 e CCM6), isto é, têm eficiência técnica, porém não conseguem a eficiência de escala, ou seja, a operação se dá no tamanho ideal, acarretando em custos adicionais (SOWLATI; PARADI, 2004).. Esse resultado sugere a existência de outras propriedades com escala semelhante de produção eficiente quando se analisa a possibilidade de redução dos custos da produção. E, por fim, há 24 DMUs com problemas de eficiência técnica, indicando a necessidade de redução dos *inputs* para torná-las eficientes e competitivas. Esse resultado corrobora os estudos de Pachiel (2009) que, ao analisar 16 usinas de cana de São Paulo, encontrou 50% delas com problemas de eficiência técnica, e de Brunozi Júnior *et al.* (2012), que constataram 52,9% das DMUs analisadas com problema de eficiência.

A eficiência composta normalizada visa averiguar os resultados eficientes corrigidos, partindo da eficiência encontrada na fronteira padrão, porém retratando um valor único em cada DMU para a determinação do *ranking* (PEREIRA; TAVARES, 2017). Portanto, a safra 2015/2016 do município de Ribeirão (PE) é a mais eficiente, sendo considerada a DMU exemplo (*benchmarks*) para as demais, conforme destacado por Mello *et al.* (2005) e por Vasconcellos, Canen e Lins (2006). Já a DMU, CCM1 - Campo do Camaragibe (AL), na safra 2011/2012, apresentou a menor eficiência e, por enfrentar problema de eficiência técnica, essa DMU deve ter seus custos reduzidos.

Por fim, no Apêndice A, é detalhado o custo atual de cada DMU, que é o valor encontrado no site da Conab (corrigido monetariamente), o custo alvo, que é o valor esperado em cada uma das categorias de custos e o percentual da redução de cada DMU.

5. Considerações Finais

Este estudo visa identificar as safras e regiões produtoras de cana-de-açúcar eficientes na gestão dos custos no Brasil mediante a aplicação da DEA. Os resultados evidenciam que os custos variáveis representam 72,7% dos custos totais. Além disso, o custeio da lavoura representa 75,7% dos custos variáveis, com destaque para a mão de obra temporária e o aluguel de máquinas e serviços, corroborando o estudo de Santos *et al.* (2018). As depreciações correspondem a 96,3% do custo fixo, destacando as de benfeitorias, com 95,8% desse total.

A eficiência técnica média das regiões produtoras pelo modelo CCR é de 69,7% e de 92,0% pelo BCC. Assim, as DMUs com eficiência média inferior a 10% necessitam melhorar sua gestão dos custos para maximização dos resultados. Essas unidades produtoras são: São João Evangelista e Visconde do Rio Branco (safra 2017/2018) e Campo do Camaragibe (safras 2012/2013 e 2013/2014).

De acordo com a eficiência composta, a safra e a região mais eficiente é Ribeirão (PE), na safra 2015/2016, sendo, portanto, *benchmarking* para as demais regiões. Isso posto, os gestores podem buscar informações junto aos produtores dessa região para maximizar seus resultados. Além disso, a observação dos controles e costumes gerenciais podem agregar para a mitigação dos riscos e detecção de mecanismos para melhoria do desempenho. Entretanto, a realidade de cada região deve ser ponderada devido à existência de fatores divergentes entre as DMUs.

Com base nos resultados, conclui-se que a maioria (24) das DMUs apresentaram problemas de eficiência técnica, isto é, na gestão dos custos. Nesse cenário, percebe-se a importância do profissional contábil em auxiliar os produtores rurais com informações relevantes para as tomadas de decisões. Assim, ao adotar determinados aspectos na gestão dos custos, espera-se que esses problemas possam ser corrigidos para levar a organização à obtenção de vantagem competitiva. Além disso, presume-se que a sustentabilidade operacional e econômica está condicionada às condições socioambientais, considerando que os custos de recuperação das condições produtivas são maiores que os custos inerentes à preservação, conforme discutido por Gatimbu, Ogada e Budambula (2020).

Espera-se que este trabalho contribua com os *stakeholders* interessados na gestão de custos decorrentes da produção de cana-de-açúcar, com identificação de unidades produtoras com maior ou menor eficiência técnica e econômica. Nessa direção, os resultados estimulam estudos de custos de produção mais aprofundados dessas unidades produtivas em destaque,

possibilitando, inclusive, compreender os arranjos produtivos locais e as vantagens competitivas que circundam a cadeia produtiva da cana-de-açúcar em cada região

Este estudo se limita ao período de análise 2011/2012 a 2017/2018, destacando-se a indisponibilidade de dados detalhados por produtores rurais. Para futuras pesquisas, sugere-se a análise de outros cultivos e/ou estudos de casos em fazendas produtoras a fim de verificar a eficiência desses produtores com vista a auxiliá-los nas tomadas de decisões e no aumento da lucratividade.

6. Referências

AMARAL, T. M. DO; NEVES, M. F.; MORAES, M. A. D. DE. As cadeias produtivas do açúcar do estado de São Paulo e da França: comparação dos sistemas produtivos, organização, estratégias e ambiente institucional. *Revista de Economia Agrícola*, v. 50, n. 2, p. 65–80, 2003.

ARTUZO, F. D. et al. Gestão de custos na produção de milho e soja. *Revista Brasileira de Gestão de Negócios*, v. 20, n. 2, p. 273–294, 2018.

AVILA, V. S. et al. Valor agrônômico da cama de frangos após reutilização por vários lotes consecutivos. *Comunicado Técnico -466*, v. 466, p. 1–4, 2007.

BANCHI, Â. D.; LOPES, J. R.; FERREIRA, V. A. C. Estudo da composição do custo de mecanização na cultura de cana-de-açúcar. *Agrimotor*, p. 23–24, 2016.

BANKER, R. D. Estimating most productive scale size using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, v. 17, p. 35–44, 1984.

BATALHA, M. O.; SILVA, A. L. DA. Gerenciamento de sistemas agroindustriais: definições, especificidades e correntes metodológicas. In: BATALHA., M. O. (Ed.). *Gestão Agroindustrial*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2007. p. 25–73.

BRUNOZI JÚNIOR, A. C. 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, p. 74–92, 2012.

CANO, A.; TUPY, O. Eficiência produtiva de usinas de açúcar e álcool do estado de São Paulo Antonio. Congresso da Sober. *Anais...*Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural 1, 2005

CARDOSO, I. M.; MANCIO, A. B. Conhecimento científico e popular na construção da agroecologia. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL. *Anais...*Viçosa: UFV, 2010

CAVA, P. B.; SALGADO JÚNIOR, A. P.; BRANCO, A. M. DE F. Evaluation of Bank Efficiency in Brazil: a Dea Approach. *Revista de Administração Mackenzie*, v. 17, n. 4, p. 62–

84, 2016.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. *Mercado de trabalho/CEPEA*: número de trabalhadores no setor suco cai, mas qualidade dos empregos cresce. São Paulo: Cepea, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2QRkyMu>. Acesso em: 10 abr. 2021

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. *PIB do Agronegócio brasileiro*. São Paulo: Cepea, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/2WPh1SK>. Acesso em: 10 maio. 2020

CEPEA. *Clima 2014-2017: excesso e falta de chuvas*. São Paulo: Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, 2017.

CHEN, Y.; CHEN, B. Using data envelopment analysis (DEA) to evaluate the operational performance of the wafer fabrication industry in Taiwan. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 20, n. 4, p. 475–488, 2009.

CLARO, P. B. DE O.; CLARO, D. P. Sustentabilidade estratégica: existe retorno no longo prazo? *Revista de Administração*, v. 49, n. 2, p. 291–306, 2014.

COGAN, S. *Custos e Formação de Preços: análise e prática*. São Paulo: Atlas, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Custos de Produção Agrícola*. Brasília: CONAB, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar*. Brasília: CONAB, 2019a.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Planilhas de Custos de Produção - Séries Históricas*. Brasília: CONAB, 2019b.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. *Gestão de custos de produção de cana-de-açúcar: estudo de caso da região de Sertãozinho (SP)*. Brasília: CNA, 2017. Disponível em: https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/boletins/14-ativos_cana_0.04418400. Acesso em: 7 ago. 2019

CONSELHO FEDERAL DE CONTABILIDADE. *Norma Brasileira de Contabilidade, NBC TG Estrutura Conceitual Conselho Federal de Contabilidade*. Brasília: CFC, 2019. Disponível em: <http://www1.cfc.org.br/sisweb/SRE/docs/NBCTGEC.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2020

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. *Handbook on Data Envelopment Analysis*. 7. ed. London: Springer, 2004. v. 164

COSTA, T. B.; TAVARES, M. Análise envoltória de dados (DEA) para avaliação de eficiência produtiva em relação aos custos do milho safra. *Brazilian Journal of Quantitative Methods Applied to Accounting*, v. 1, n. 1, p. 15–25, 2014.

DHUNGANA, B. R.; NUTHALL, P. L.; NARTEA, G. V. Measuring the economic inefficiency of Nepalese rice farms using data envelopment analysis. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, v. 48, n. 2, p. 347–369, 2004.

DI SERIO, L. C.; SOARES, A. P. F. DE M. O Cluster de Álcool e Açúcar em São Paulo. *Tecnologias de Administração e Contabilidade*, v. 3, n. 2, p. 126–151, 2013.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. *Manual de Análise de Dados: estatística e modelagem multivariada com Excel, SPSS e Stata*. São Paulo: Elsevier, 2017.

FEHR, L. C. F. DE A.; DUARTE, S. L. Gestão de Custos interorganizacionais e Open-Book Accounting: as duas faces da mesma moeda. *Revista de Contabilidade do Mestrado em Ciências Contábeis da UERJ (online)*, v. 23, n. 1, p. 70–87, 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Countries by commodity*. Roma: FAO, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2KG0GZh>. Acesso em: 6 maio. 2020

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *Sugar*. Roma: FAO, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/2WbQRHB>. Acesso em: 15 jan. 2020

FREITAS, G. A. et al. Adubação orgânica no sulco de plantio e sua influência no desenvolvimento do sorgo. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 3, n. 1, p. 61–67, 2012.

GATIMBU, K. K.; OGADA, M. J.; BUDAMBULA, N. L. M. Environmental efficiency of small-scale tea processors in Kenya: an inverse data envelopment analysis (DEA) approach. *Environment, Development and Sustainability*, v. 22, n. 4, p. 3333–3345, 2020.

GIACOMELLO, C. P.; OLIVEIRA, R. L. Análise envoltória de dados (DEA): uma proposta para avaliação de desempenho de unidades acadêmicas de uma universidade. *Revista GUAL*, v. 7, n. 2, p. 130–151, 2014.

GUIMARÃES, F. A. R. et al. O método DEA e análise de correlação para avaliação de eficiência de empresas, com aplicação a empresas turísticas. *Turismo - Visão e Ação*, v. 12, n. 3, p. 258–276, 2010.

GUIMARÃES, G. et al. Sugarcane production fertilized with poultry litter. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 17, n. 4, p. 617–625, 2016.

GUIMARÃES, L. S. P. *Dinâmica espacial da cana-de-açúcar no Brasil contemporâneo*, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/2WRdggw8>

HEMERLY, F. X. Cadeia produtiva da cana-de-açúcar: alternativas para aumento de sua eficiência. *Boletim técnico da EMBRAPA*, v. 3, n. 7, p. 1–56, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Levantamento sistemático da produção agrícola*. Brasília: IBGE, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3cWNdIG>. Acesso em: 9 abr. 2020

JUBRAN, A. J. *Modelo de análise de eficiência na administração pública: estudo aplicado às prefeituras brasileiras usando a análise envoltória de dados*. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia): Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

KAMIYAMA, A. *Agricultura sustentável*. São Paulo: SMA, 2011.

- LANA, R. M. Q. et al. Alterações na produtividade e composição nutricional de uma pastagem após segundo ano de aplicação de diferentes doses de cama de frango. *Bioscience Journal*, v. 26, n. 2, p. 249–256, 2010.
- LEAL, A. L.; FAMÁ, R. *Gestão de Custos e Formação de Preços*: com aplicações na calculadora HP e Excel. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- LEITE, A. F. R.; LAMAS, S. A.; NÓBREGA, W. R. D. M. Sistemas de gestão ambiental e competitividade: uma análise de múltiplos casos em meios de hospedagem de Natal – RN. *Turismo Visão e Ação*, v. 21, n. 1, p. 65, 2018.
- LIBONI, L. B.; CEZARINO, L. O. Impactos sociais e ambientais da indústria da cana-de-açúcar. *Future Studies Research Journal*, v. 4, n. 1, p. 202–230, 2012.
- LIZOT, M. et al. Aplicação de um modelo de gestão de custos para tomada de decisão no agronegócio familiar. *Custos e @gronegócio on line*, v. 14, p. 290–313, 2018.
- LORENZETTI, C. A. et al. A logística do transporte de cana-de-açúcar. Congresso das Faculdades de Tecnologia de Logística. *Anais...* Guaratinguetá: 2012 Disponível em: <https://bit.ly/3dDMddl>
- MACEDO, E. L.; JAMIL, G. L. Aplicação da Análise Envoltória de Dados para Avaliação de Processos Finalísticos de Empresas de um mesmo Segmento. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 4, p. 2692–2713, 2019.
- MAHADEVAN, R. The high price of sweetness: The twin challenges of efficiency and soil erosion in Fiji's sugar industry. *Ecological Economics*, v. 66, n. 2–3, p. 468–477, 2008.
- MAIA, A. G.; PIRES, P. DOS S. Uma compreensão da sustentabilidade por meio dos níveis de complexidade das decisões organizacionais. *RAM. Revista de Administração Mackenzie*, v. 12, n. 3, p. 177–206, 2011.
- MARCONI, M. DE A.; LAKATOS, E. M. *Técnicas de pesquisa*. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- MARTINS, E. *Contabilidade de Custos*. 12. ed. São Paulo: Atlas, 2018.
- MATOS, P. F. DE; MARAFON, G. J. O setor sucroenergético no Brasil: efeitos e contradições. In: *Estudos territoriais no Brasil e na Costa Rica*. Rio de Janeiro: Eduerj, 2018. p. 41–59.
- MEDINA, G.; ISLEY, C.; ARBUCKLE, J. Promoting sustainable agriculture: Iowa stakeholders' perspectives on the US Farm Bill conservation programs. *Environment, Development and Sustainability*, v. 44, n. 3, p. 331–351, 2020.
- MELLO, J. C. C. B. S. et al. Eficiência DEA como medida de desempenho de unidades policiais. *Revista Produção Online*, v. 5, n. 3, p. 1–12, 2005.
- MELO, C. O. DE; ESPERANCINI, M. S. T. Análise econômica da eficiência da produção de cana-de-açúcar de fornecedores do estado do Paraná. *Revista Energia na Agricultura*, v. 27, n. 3, p. 48–60, 2012.

MEZA, L. A. et al. ISYDS- Integrated System for Decision Support (SIAD - Sistema Integrado de Apoio a Decisão): a software package for data envelopment analysis model. *Pesquisa Operacional*, v. 25, n. 3, p. 493–503, 2005.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. E. A. *Valor Bruto da Produção Agropecuária (VBP)*. Brasília: MAPA, 2019.

NEVES JÚNIOR, I. J. DAS et al. Análise da eficiência na geração de retorno aos acionistas das empresas do setor da construção civil com ações negociadas na BM&FBOVESPA nos anos de 2009 e 2010 por meio da análise envoltória de dados - DEA. *Revista Contemporânea de Contabilidade*, v. 9, n. 18, p. 41–62, 2012.

NEVES, P. D. M.; MENDONÇA, M. R. 30 years of space-time dynamics (1984-2015) of the region of influence of Chapada dos Veadeiros National Park - Goias. *Revue franco-brésilienne de géographie*, n. 44, p. 1–22, 2020.

NOVACANA. *A produção da cana-de-açúcar no Brasil (e no mundo)*. Curitiba: Novacana, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3dsI xv0>. Acesso em: 9 ago. 2019

NOVACANA. *As 30 maiores exportadoras de açúcar em 2019 – ranking das empresas e evolução*. Curitiba: Novacana, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/2VI7DPM>

OMONONA, B. T.; EGBETOKUN, O. A.; AKANBI, A. T. Farmers Resource - Use and Technical Efficiency in Cowpea Production in Nigeria. *Economic Analysis and Policy*, v. 40, n. 1, p. 87–95, 2010.

PACHIEL, M. G. *Eficiência produtiva de usinas de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo*. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2009.

PEÑA, C. R. Um modelo de avaliação da eficiência da administração pública através do método análise envoltória de dados (DEA). *Revista de Administração Contemporânea*, v. 12, n. 1, p. 83–106, 2008.

PEÑA, C. R.; ALBUQUERQUE, P. H. M.; DAHER, C. E. Dinâmica da produtividade e eficiência dos gastos na educação dos municípios goianos. *Revista de Administração Contemporânea*, v. 16, n. 6, p. 845–865, 2012.

PEREIRA, L. F. M. et al. Sustentabilidade e Importância da Cana de Açúcar no Estado de SP. Simpósio Nacional de Tecnologia em Agronegócio. *Anais...Jales: 2016* Disponível em: <https://bit.ly/2UoZizE>

PEREIRA, N. A.; TAVARES, M. Eficiência das principais regiões produtoras de cana-de-açúcar por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA). *Custos e @gronegócio on line*, v. 13, n. Especial, p. 37–70, abr. 2017.

PORTUGAL, N. DOS S.; PORTUGAL JÚNIOR, P. DOS S.; REIS, R. P. Internalization of environmental costs in the financial management of organizations: a proposition to be applied in agribusiness. *Custos e @gronegócio on line*, v. 8, n. 4, p. 171–192, 2012.

REMPEL, C. et al. Análise da eficiência técnica relativa de empresas brasileiras distribuidoras de energia elétrica: uma abordagem DEA. *Revista Contemporânea de Contabilidade*, v. 14, n.

33, p. 33–54, 2017.

SAHA, A.; RAVISANKAR, T. S. Rating of Indian commercial banks: a DEA approach. *European Journal of Operational Research*, v. 124, p. 187–203, 2000.

SALGADO JÚNIOR, A. P.; CARLUCCI, F. V.; NOVI, J. C. Aplicação da Análise Envoltória de Dados (AED) na avaliação da eficiência operacional relativa entre usinas de cana-de-açúcar no território brasileiro. *Eng. Agríc*, v. 34, n. 5, p. 826–843, 2014.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. *Plantio Mecanizado*. Disponível em: <https://bit.ly/39ndtcR>. Acesso em: 28 mar. 2020.

SANTOS, D. L. DE J. S. et al. Análise comparativa dos custos de produção da cana-de-açúcar entre as principais cidades produtoras do Brasil. (ABCustos, Ed.) Congresso Brasileiro de Custos. *Anais...* Curitiba: 2018. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/4620>

SANTOS, J. L. DOS et al. *Manual de Contabilidade de Custos: atualizado pela Lei nº 12.973/2014 e pelas normas do CPC até o documento de revisão de Pronunciamentos Técnicos nº 03/2013*. São Paulo: Atlas, 2015.

SANTOS, I. O. *Avaliação da Eficiência na Produção de arroz no Brasil: uma aplicação da Análise Envoltória de Dados*. [s.l.] Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

SCHERER, G. et al. Análise da eficiência dos gastos com educação no ensino fundamental dos estados brasileiros, a partir da análise envoltória de dados (DEA). *ConTexto*, v. 19, n. 43, p. 27–43, 2019.

SILVA, P. M. S.; MOREIRA, B. C. M.; FRANCISCO, G. A. Programação Linear Aplicada a Finanças - Construindo um portfólio ótimo. *Revista de Gestão, Finanças e Contabilidade*, v. 3, n. 4, p. 107–124, 2014.

SILVEIRA, J. Q. DA; MEZA, L. A.; MELLO, J. C. C. B. S. DE. Identificação de benchmarks e anti-benchmarks para companhias aéreas usando modelos DEA e fronteira invertida. *Produção*, v. 22, n. 4, p. 788–795, 2012.

SIQUEIRA, L. B. DE; SALES, L. B.; LUCENA, W. G. L. Evidenciação dos custos de produção de uma empresa do setor de agroindústria da zona da mata sul do estado de Pernambuco: safra 2005/2006. *Qualit@as Revista Eletrônica*, v. 7, n. 1, p. 1–13, 2008.

SOUZA, M. A. DE; RASIA, K. A.; ALMEIDA, L. B. DE. Strategic cost management practices adopted by Brazilian agribusiness segments companies. *Custos e @gronegocio on line*, v. 11, n. 3, p. 21–39, 2015.

SOWLATI, T.; PARADI, J. C. Establishing the “practical frontier” in data envelopment analysis. *Omega*, v. 32, n. 4, p. 261–272, 2004.

STEFFANELLO, M.; MACEDO, M. Á. DA S.; ALYRIO, R. D. Eficiência produtiva de unidades agropecuárias: uma aplicação do método não-paramétrico análise envoltória de dados (DEA). *Organizações Rurais & Agroindustriais*, v. 11, n. 1, p. 40–56, 2009.

THOMPSON, N. M.; BIR, C.; WIDMAR, N. J. O. Farmer perceptions of risk in 2017.

Custos e @gronegocio on line - v. 17, Edição Especial, Agosto - 2021.
www.custoseagronegocioonline.com.br

ISSN 1808-2882

Agribusiness, v. 35, n. 2, p. 182–199, 2019.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. *Exportação e Importação*. [s. l.]: UNICA, 2020.

VASCONCELLOS, V. A.; CANEN, A. G.; LINS, M. P. E. Identificando as melhores práticas operacionais através da associação benchmarking-dea: O caso das refinarias de petróleo. *Pesquisa Operacional*, v. 26, n. 1, p. 51–67, 2006.

VIAN, C. E.; MARIN, F. R. *Logística e transporte*. Disponível em: <https://bit.ly/3apXxrI>. Acesso em: 11 ago. 2019.

VILELA, D. L.; NAGANO, M. S.; MERLO, E. M. Aplicação da análise envoltória de dados em cooperativas de crédito rural. *Revista de Administração Contemporânea*, v. 11, n. spe2, p. 99–120, 2007.

WANKE, P. F. Determinants of scale efficiency in the Brazilian Third-Party Logistics industry from 2001 to 2009. *Brazilian Administration Review*, v. 9, n. 1, p. 66–87, 2012.

ZAMBON, E. P.; BEE, D. Cost management in agribusiness: The use of Activity Based Cost (ABC) in a small rural property. *Custos e @gronegocio on line*, v. 12, n. 3, p. 137–152, 2016.

		VRB1			VRB2		
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução	
ALMS	6,77	6,77	0%	8,12	0,00	100%	
MOF	92,74	92,74	0%	101,49	97,78	4%	
FERT.	907,59	907,59	0%	951,81	123,43	87%	
AGR.	6,91	6,91	0%	7,79	7,51	4%	
DESP.ADM	159,50	159,50	0%	104,30	100,49	4%	
Terra	0,00	0,00	0%	285,54	121,33	58%	
		VRB5			VRB6		
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução	
ALMS	10,79	0,00	100%	12,74	0,00	100%	
MOF	106,83	97,81	8%	112,67	97,90	13%	
FERT.	858,65	123,14	86%	853,54	124,80	85%	
AGR.	8,09	7,41	8%	9,17	7,97	13%	
DESP.ADM	109,55	100,30	8%	114,65	99,62	13%	
Terra	237,26	122,12	49%	224,05	124,18	45%	
		SJE2			SJE3		
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução	
ALMS	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0%	
MOF	101,49	101,49	0%	103,58	100,83	3%	
FERT.	101,11	101,11	0%	119,72	101,12	16%	
AGR.	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0%	
DESP.ADM	78,31	78,31	0%	84,78	82,53	3%	
Terra	210,23	210,23	0%	201,10	194,49	3%	
		SJE6			SJE7		
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução	
ALMS	0,00	0,00	0%	114,38	114,38	0%	
MOF	112,67	100,20	11%	127,81	127,81	0%	
FERT.	174,54	104,01	40%	449,74	449,74	0%	
AGR.	0,00	0,00	0%	497,98	497,98	0%	
DESP.ADM	103,08	91,67	11%	49,36	49,36	0%	
Terra	164,96	146,71	11%	0,00	0,00	0%	
		RIB3			RIB4		
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução	
ALMS	171,28	82,83	52%	0,00	0,00	0%	
MOF	125,69	98,98	21%	99,58	99,58	0%	
FERT.	671,32	483,31	28%	556,43	556,43	0%	
AGR.	186,03	140,91	24%	153,47	153,47	0%	
DESP.ADM	94,55	74,45	21%	55,62	55,62	0%	
Terra	195,09	153,62	21%	169,47	169,47	0%	
		PEN1			PEN2		
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução	
ALMS	550,22	478,97	13%	454,71	454,71	0%	
MOF	117,47	110,81	6%	112,64	112,64	0%	
FERT.	775,74	708,06	9%	743,80	743,80	0%	
AGR.	246,87	232,86	6%	236,70	236,70	0%	
DESP.ADM	116,71	110,09	6%	108,26	108,26	0%	
Terra	723,24	664,53	8%	693,46	693,46	0%	
		PEN5			PEN6		
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução	
ALMS	356,28	288,06	19%	465,15	465,15	0%	
MOF	131,94	106,67	19%	142,71	142,71	0%	
FERT.	671,94	543,27	19%	808,29	808,29	0%	
AGR.	307,46	166,68	46%	257,62	257,62	0%	
DESP.ADM	112,76	91,17	19%	122,92	122,92	0%	
Terra	821,94	471,47	43%	0,00	0,00	0%	
		CCM2			CCM3		
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução	

ALMS	637,19	346,94	46%	648,89	341,12	47%
MOF	125,00	91,15	27%	130,33	91,59	30%
FERT.	730,34	235,04	68%	638,74	260,06	59%
AGR.	141,62	103,27	27%	157,57	110,73	30%
DESP.ADM	171,76	125,25	27%	171,72	120,68	30%
Terra	312,51	148,12	53%	298,92	155,79	48%
CCM6						
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução
ALMS	718,03	718,03	0%	1.781,16	1.781,16	0%
MOF	118,81	118,81	0%	79,64	79,64	0%
FERT.	615,52	615,52	0%	459,72	459,72	0%
AGR.	172,81	172,81	0%	419,45	419,45	0%
DESP.ADM	0,00	0,00	0%	143,49	143,49	0%
Terra	245,21	245,21	0%	638,15	638,15	0%
SMC4			SMC5			
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução
ALMS	1.996,22	1.566,92	22%	1.953,02	1.422,39	27%
MOF	92,25	81,22	12%	87,56	82,28	6%
FERT.	427,95	416,60	3%	470,79	387,51	18%
AGR.	444,83	369,00	17%	450,10	334,96	26%
DESP.ADM	157,03	142,42	9%	156,85	141,70	10%
Terra	593,54	561,39	5%	542,31	509,61	6%

VRB3			VRB4			
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução
ALMS	10,87	0,00	100%	10,34	9,99	3%
MOF	105,82	97,21	8%	100,61	97,26	3%
FERT.	975,47	121,48	88%	927,41	116,85	87%
AGR.	7,45	6,85	8%	7,09	6,85	3%
DESP.ADM	113,58	104,34	8%	107,99	104,40	3%
Terra	273,13	107,49	61%	259,67	114,00	56%
VRB7			SJE1			
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução
ALMS	49,14	49,14	0%	0,00	0,00	0%
MOF	184,71	184,71	0%	92,74	92,74	0%
FERT.	486,57	486,57	0%	101,23	101,23	0%
AGR.	29,05	29,05	0%	0,00	0,00	0%
DESP.ADM	48,93	48,93	0%	134,63	134,63	0%
Terra	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0%
SJE4			SJE5			
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução
ALMS	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0%
MOF	107,43	107,43	0%	101,06	99,27	2%
FERT.	132,41	132,41	0%	130,65	101,14	23%
AGR.	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0%
DESP.ADM	94,78	94,78	0%	94,29	92,61	2%
Terra	0,00	0,00	0%	174,69	156,86	10%
RIB1			RIB2			
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução
ALMS	159,27	133,13	16%	166,34	92,10	45%
MOF	110,17	92,09	16%	120,55	97,50	19%
FERT.	685,53	551,13	20%	624,49	476,05	24%
AGR.	195,48	159,30	19%	187,41	141,71	24%
DESP.ADM	152,70	127,64	16%	90,77	73,41	19%
Terra	212,72	177,81	16%	203,96	164,95	19%
RIB5			RIB6			

Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução
ALMS	6,40	0,00	100%	7,66	0,00	100%
MOF	122,06	98,70	19%	126,38	99,68	21%
FERT.	647,16	523,30	19%	507,65	400,39	21%
AGR.	192,63	153,59	20%	209,19	100,85	52%
DESP.ADM	78,22	63,25	19%	85,08	67,10	21%
Terra	220,80	167,11	24%	214,70	169,34	21%
PEN3						
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução
ALMS	487,80	487,80	0%	499,69	396,13	21%
MOF	169,29	169,29	0%	134,53	106,65	21%
FERT.	956,33	956,33	0%	866,16	625,10	28%
AGR.	255,79	255,79	0%	259,26	205,53	21%
DESP.ADM	136,37	136,37	0%	130,24	103,24	21%
Terra	0,00	0,00	0%	899,59	528,30	41%
PEN7			CCM1			
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução
ALMS	300,45	300,45	0%	680,69	156,21	77%
MOF	184,71	184,71	0%	154,57	94,94	39%
FERT.	652,42	652,42	0%	538,88	330,99	39%
AGR.	365,18	365,18	0%	168,76	103,65	39%
DESP.ADM	71,47	71,47	0%	160,54	98,61	39%
Terra	1.020,17	1.020,17	0%	255,26	138,67	46%
CCM4			CCM5			
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução
ALMS	664,08	664,08	0%	673,30	673,30	0%
MOF	132,32	132,32	0%	127,91	127,91	0%
FERT.	559,53	559,53	0%	593,67	593,67	0%
AGR.	159,97	159,97	0%	148,25	148,25	0%
DESP.ADM	0,00	0,00	0%	0,00	0,00	0%
Terra	284,20	284,20	0%	259,66	259,66	0%
SMC2			SMC3			
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução
ALMS	1.870,47	1.674,68	10%	1.981,44	1.718,50	13%
MOF	87,16	80,56	8%	90,87	82,28	9%
FERT.	529,70	442,56	16%	484,06	472,12	2%
AGR.	427,90	395,53	8%	476,05	410,73	14%
DESP.ADM	154,22	142,56	8%	159,72	142,60	11%
Terra	652,67	603,29	8%	624,30	608,91	2%
SMC6			SMC7			
Variável	Atual	Alvo	Redução	Atual	Alvo	Redução
ALMS	1.793,04	1.177,75	34%	0,00	0,00	0%
MOF	96,75	85,29	12%	92,37	92,37	0%
FERT.	414,90	365,78	12%	580,42	580,42	0%
AGR.	471,72	286,63	39%	382,22	382,22	0%
DESP.ADM	148,07	130,54	12%	88,12	88,12	0%
Terra	512,13	451,50	12%	373,48	373,48	0%