

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

NEVISON AMORIM PEREIRA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS PRINCIPAIS REGIÕES PRODUTORAS DE
CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)**

**UBERLÂNDIA
2014**

NEVISON AMORIM PEREIRA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS PRINCIPAIS REGIÕES PRODUTORAS DE
CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Ciências Contábeis, da
Universidade Federal de Uberlândia, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Mestre em Ciências Contábeis.

Área de Concentração: Controladoria

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Tavares

UBERLÂNDIA
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

-
- P436a
2014
- Pereira, Nevison Amorim, 1975-
Avaliação da eficiência das principais regiões produtoras de cana-de-açúcar por meio da análise envoltória de dados (DEA) / Nevison Amorim Pereira. - 2014.
81 f. : il.
- Orientador: Marcelo Tavares.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis.
Inclui bibliografia.
1. Ciências contábeis - Teses. 2. Análise de envoltória de dados - Teses. 3. Cana-de-açúcar - Teses. 4. Custos - Teses. I. Tavares, Marcelo. II. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis. III. Título.

CDU: 657

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS PRINCIPAIS REGIÕES PRODUTORAS DE CANA-
DE-AÇÚCAR POR MEIO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

Dissertação aprovada para a obtenção do
título de Mestre no Programa Pós-Graduação
em Ciências Contábeis da Universidade
Federal de Uberlândia (MG) pela banca
examinadora formada por:

Uberlândia, 08 de dezembro de 2014.

Prof. Dr. Marcelo Tavares, UFU/MG.

Prof.^a Dr.^a Edvalda Araújo Leal, UFU/MG.

Prof.^a Dr.^a Clésia Camilo Pereira, UnB/DF.

A minha esposa Julia e a minha filha Camila.

A meus pais e a minha irmã, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por fazer parte dos momentos de minha vida.

Aos meus pais e irmã, que torceram pelo meu sucesso.

À minha esposa Julia, pelo apoio e companheirismo em todos os momentos.

Ao orientador, Professor Dr. Marcelo Tavares, pela confiança e acompanhamento durante o curso e desenvolvimento deste estudo.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação, pelos ensinamentos e sugestões transmitidos durante as aulas.

Aos colegas e amigos de disciplinas do mestrado, pelo apoio, sugestões e convívio.

Aos servidores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis.

Aos amigos da Diretoria de Administração Financeira da Universidade Federal de Uberlândia, pelo apoio e compreensão durante o curso.

Aos chefes de trabalho, José Roberto Ferreira e Eloainy Alves Eustáquio, pela flexibilização de horário de serviço durante as aulas.

Aos membros das bancas, pelas valiosas sugestões e contribuições apresentadas ao trabalho.

RESUMO

Diante da importância do agronegócio brasileiro para a economia nacional e do crescimento da produção no setor sucroenergético, a avaliação da eficiência técnica e de escala das regiões produtoras pode melhorar a alocação dos recursos produtivos. O objetivo deste trabalho foi verificar a eficiência técnica e de escala das regiões Nordeste, Centro-Sul tradicional e Centro-Sul expansão, no que diz respeito aos custos de produção da cana-de-açúcar nas safras 2007/2008 a 2011/2012 no Brasil. A pesquisa se caracterizou como descritiva, utilizando-se de procedimento técnico documental e abordagem quantitativa. Os testes estatísticos aplicados foram *Tukey* e *Kruskal-Wallis* para identificar quais custos sofreram variações estatisticamente significativas entre as regiões, além da Análise Envoltória de Dados (DEA), orientada a insumos para quantificar a eficiência das regiões e ressaltar os custos que podem ser reduzidos. O *output* utilizado no modelo DEA foi a quantidade de cana produzida em cada região e os *inputs* foram os custos com mecanização, mão de obra, insumos, arrendamento, despesas administrativas, remuneração da terra e do capital. Os resultados mostram que o maior custo médio da atividade se refere à mecanização nas regiões Centro-Sul tradicional e Centro-Sul expansão, enquanto na região Nordeste se relaciona à mão de obra. A região Centro-Sul tradicional é a mais eficiente tecnicamente, sendo que quatro das cinco safras obtiveram eficiência máxima (escore de eficiência igual a um). O problema de eficiência técnica e de escala foi apresentado apenas na região Nordeste durante a safra 2011/2012. As demais safras do Nordeste e as safras da região Centro-Sul tradicional apresentaram somente problema com escala. Em média, a eficiência de escala foi de 65%, e a eficiência pura, de 99%, demonstrando que, apesar de os custos poderem diminuir em 1%, o maior problema das regiões é a quantidade a ser produzida, pois não se opera em escala ótima de produção.

Palavras-chave: Eficiência. Cana-de-açúcar. Custos. DEA.

ABSTRACT

Given the importance of agribusiness to the national economy and the growth of production in the sugar-energy industry, the evaluation of technical efficiency and scale of the production regions can improve the allocation of productive resources. The objective of this study was to verify the technical and scale efficiency of the regions Northeast, traditional Mid-South and expansion Mid-South, according to the production costs of cane sugar in 2007/2008 to 2011/2012 harvests in Brazil. The research was characterized as descriptive, using the documentary technical procedure and quantitative approach. The statistical tests Tukey and Kruskal-Wallis were used to identify which costs had statistically significant variations between regions, besides Data Envelopment Analysis (DEA), oriented to inputs to quantify the efficiency of the regions and focus the costs that can be reduced. The output used in DEA model is the amount of cane produced in each region, and inputs were the costs with mechanization, workmanship, supplies, leasing, administrative costs, land and capital remuneration. The results show that the highest average cost is the mechanization in traditional Mid-South and expansion Mid-South, while in the Northeast it relates to workmanship. The traditional Center-South region is the most technically efficient, and four of the five harvests obtained maximum efficiency (efficiency score equals one). The issue of technical and scale efficiency was presented only in Northeast during the 2011/2012 season. Other harvests in Northeast and the crops of traditional South-Central region have shown problems only with scale. On average, scale efficiency was 65%, and pure efficiency, 99%, demonstrating that although the costs may decrease 1%, the biggest problem of the regions is the amount that will be produced, because it does not operate in optimal scale of production.

Keywords: Efficiency. Sugarcane. Costs. DEA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 –	Plantação de cana-de-açúcar no Brasil	22
FIGURA 2 –	Comparação entre Análise de Regressão e DEA	37
FIGURA 3 –	Classificação dos modelos básicos DEA	39
FIGURA 4 –	Etapas da pesquisa	46
FIGURA 5 –	Caracterização das regiões do estudo	48
QUADRO 1 –	Pontos fortes e fracos do setor sucroenergético brasileiro	29
QUADRO 2 –	Dados de <i>output</i> , <i>input</i> e eficiência das empresas (DMUs)	42
QUADRO 3 –	Detalhamento dos componentes do custo operacional efetivo (COE) ..	49
QUADRO 4 –	Detalhamento dos componentes do custo operacional total (COT)	50
QUADRO 5 –	Detalhamento dos componentes do custo total (CT)	50
QUADRO 6 –	Classificação das DMUs	52
QUADRO 7 –	Classificação das variáveis	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	<i>Ranking</i> dos principais países produtores de cana em 2000 e 2010	16
Tabela 2 –	Produção brasileira de cana-de-açúcar, açúcar e etanol	25
Tabela 3 –	Operações agrícolas e insumos envolvidos no custo de produção da cana-de-açúcar	32
Tabela 4 –	Estatística descritiva das variáveis utilizadas nas safras 07/08 a 11/12	57
Tabela 5 –	Teste de <i>Anderson-Darling</i> dos resíduos para as variáveis de custo de produção	58
Tabela 6 –	Teste <i>Kruskal-Wallis</i> para variáveis que não apresentaram distribuição normal nos custos de produção da cana-de-açúcar nas regiões produtoras brasileiras	59
Tabela 7 –	Teste <i>Tukey</i> para variáveis com distribuição normal nos custos de produção da cana-de-açúcar nas regiões produtoras brasileiras	59
Tabela 8 –	Eficiência das regiões produtoras nas safras 2007/2008 a 2011/2012	61
Tabela 9 –	Valores atuais, alvos e percentual de redução das DMUs ineficientes	63
Tabela 10 –	Eficiência técnica e de escala das regiões produtoras	65
Tabela 11 –	Problemas das regiões produtoras, segundo a eficiência pura e de escala ...	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de Variância
BCC	Banker-Charnes-Cooper
CCR	Charnes-Cooper-Rhodes
CCT	Corte, Carregamento e Transporte
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
COE	Custo Operacional Efetivo
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
COT	Custo Operacional Total
CRS	<i>Constant Returns to Scale</i>
CT	Custo Total
DEA	<i>Data Envelopment analysis</i>
DMU	<i>Decison Making Unit</i>
ha	Hectare
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PECEGE	Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas
PIB	Produto Interno Bruto
PROALCOOL	Programa Nacional do Alcool
SIAD	Sistema Integrado de Apoio à Decisão
UNICA	União da Indústria de Cana-de-Açúcar
VRS	<i>Variable Returns to Scale</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Contextualização	11
1.2	Problema de pesquisa	14
1.3	Objetivos	15
1.4	Justificativa e contribuições	15
1.5	Delimitações do estudo	17
1.6	Estrutura do trabalho	18
2	REVISÃO TEÓRICA	19
2.1	Agronegócio e a contabilidade de custos	19
2.2	Panorama geral da cana-de-açúcar no Brasil	22
2.3	Gestão de custos na produção da cana-de-açúcar	30
2.4	Eficiência e análise envoltória de dados (DEA)	35
3	METODOLOGIA	46
3.1	Classificação e procedimentos da pesquisa	46
3.2	Caracterização da amostra e coleta dos dados	47
3.3	Variáveis e análise estatística dos dados	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1	Análise descritiva dos dados	56
4.2	Teste de normalidade, teste <i>Kruskal-Wallis</i> e teste <i>Tukey</i>	58
4.3	Análise da eficiência técnica e de escala.....	60
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A agricultura brasileira é líder mundial na produção de alguns produtos, tais como: café, feijão, cana-de-açúcar e suco de laranja. Nesse contexto, o agronegócio vem se consolidando como um dos principais propulsores da economia brasileira, com significativas participações nas exportações e no Produto Interno Bruto - PIB (BRASIL, 2012).

Em 2011, o Brasil foi o terceiro maior exportador de produtos agrícolas correspondendo a um *market share* de 7,9 % em relação ao comércio agrícola mundial. A participação dos produtos agrícolas nas exportações brasileiras alcançou 30%, demonstrando a importância do setor para a balança comercial do país (BRASIL, 2012).

No agronegócio, a indústria brasileira da cana-de-açúcar tem papel de destaque na economia nacional, principalmente, pela produção de açúcar, etanol e energia. O Brasil é líder no complexo sucroenergético e maior produtor mundial de cana e açúcar. Nesse sentido, aproximadamente, 50% da produção brasileira se transformam em etanol e 50%, em açúcar, enquanto nos demais países produtores de cana (Austrália, Índia e outros) a totalidade é direcionada para a produção de açúcar (CARVALHO; OLIVEIRA, 2006).

Alguns fatores ratificam a expansão do setor sucroenergético no Brasil: o aumento da demanda pelo etanol, devido ao advento dos veículos *flex fuel*¹; a fragilidade da matriz energética brasileira, fortemente dependente da geração hidráulica, o que cria novas oportunidades para a atividade de cogeração de energia a partir do bagaço de cana; o crescimento da produção de açúcar, dado o aumento do consumo mundial deste produto a taxas constantes ao longo das últimas décadas (MARQUES, 2009).

Também contribuem para essa expansão as questões sociais (geração de emprego e renda), as ambientais (utilização de combustíveis renováveis e limpos, fonte alternativa ao petróleo) e o aumento da capacidade produtiva (implantação de novas unidades produtoras em áreas tradicionais e em expansão) (ALBANEZ; BONIZIO; RIBEIRO, 2008; TORQUATO; MARTINS; RAMOS, 2009).

No entanto, o crescimento dessa cultura está condicionado aos mercados dos produtos etanol e açúcar. No caso do etanol, o comércio está sujeito às políticas do governo que

¹ Veículo bicomcombustível capaz de funcionar com mais de um combustível misturado no tanque, usualmente etanol e gasolina, podendo utilizar um único combustível ou uma mistura de ambos.

determina a quantidade a ser misturada na gasolina, enquanto o açúcar, que é uma *commodity* internacional, está condicionado à variação do mercado internacional (PACHIEL, 2009).

Alguns pontos que limitam a expansão da cana-de-açúcar brasileira no comércio mundial são as medidas protecionistas de alguns países, barreiras à importação e subsídios à exportação de modo a reduzir os custos de produção destes países para competir no mercado (PACHIEL, 2009).

Muitas críticas, porém, são apresentadas a este setor como, por exemplo: mudança no uso da terra, aumento do preço dos alimentos, destruição do habitat natural, poluição do ar devido à queimada da cana, condições dos trabalhadores, entre outras (CHADDAD, 2010; NEVES; TROMBIN; CONSOLI, 2010).

No Brasil, a plantação de cana é feita principalmente nas regiões: Nordeste (Estados de Pernambuco e Alagoas); Centro-Sul tradicional (São Paulo - exceto oeste, Paraná e Rio de Janeiro) e Centro-Sul expansão (Mato Grosso do Sul, Minas Gerais - Triângulo Mineiro, Goiás e o oeste paulista). Destas regiões, a principal produtora é a Centro-Sul tradicional (63%) seguida pela Centro-Sul expansão (27%) e Nordeste (10%) (MARQUES, 2009; CHADDAD, 2010; BRASIL, 2012).

Algumas razões para que a região Centro-Sul tradicional tenha destaque na produção é porque dispõe das melhores condições de capital, gestão e instituições de pesquisa (VIEIRA JÚNIOR et al., 2008). Todavia, a produtividade e a competitividade são distintas entre as regiões produtoras devido às tecnologias empregadas e às ações políticas implementadas pelo governo (MARTINS et al., 2007).

Kennedy, Harrison e Piedra (1998) afirmam que a tecnologia, os custos, a economia de produção, a qualidade e a diferenciação do produto, propaganda, promoção e fatores externos (políticas governamentais) são fontes que influenciam a competitividade. Nesse sentido, algumas práticas são essenciais para a competitividade nas usinas canavieiras como, por exemplo, o aperfeiçoamento permanente das operações que reduz os custos e aumentam a produtividade (BRUNOZI JÚNIOR et al., 2012).

O incremento da produtividade ocorre de três maneiras principais: adoção de novas tecnologias e formas de gestão, diferenciação da qualidade do produto pela colheita e redução dos custos de produção (OLIVEIRA; NACHILUK, 2011).

Para Nicoleli e Moller (2006), a competitividade dos produtos agroindustriais está relacionada com a redução de custos. Assim, Albanez, Bonizio e Ribeiro (2008) afirmam que o grande diferencial do setor sucroenergético no Brasil é o custo de produção, o qual é inferior ao dos países da Europa, Austrália e Estados Unidos da América.

Entre os principais motivos do baixo custo de produção da cana, quando comparado a outros países, Brunozi Júnior et al. (2012) citam a grande quantidade de terras disponíveis ao plantio, a tecnologia agrícola e industrial de ponta, a escala de produção e o clima favorável.

Os custos de produção da cana-de-açúcar podem ser divididos em três grandes grupos, segundo Oliveira e Nachiluk (2011): preparo do solo e tipos de plantio; tratos culturais da cana e soqueira; e a colheita que envolve, corte, carregamento e transporte (CCT). Na visão de Silva (2009), o potencial de redução nos custos de produção deve concentrar nas etapas dos tratos culturais e na preparação do solo e plantio, que correspondem a 60% do total.

A gestão de custos é de grande relevância para as organizações, por representar uma racionalização nos processos de produção e por proporcionar melhor resultado financeiro, traduzido em aumento da margem operacional e capacidade de investimento de capital (ALBANEZ; BONIZIO; RIBEIRO, 2008).

O sucesso de qualquer empreendimento depende do controle e da capacidade de redução dos custos de produção e não apenas da produtividade (CARVALHO; FIÚZA; LOPES, 2008). Nesse sentido, o setor sucroenergético deve buscar a eficiência no uso dos insumos utilizados na produção em virtude da concorrência e escassez de recursos (TORQUATO; MARTINS; RAMOS, 2009).

Para Vieira Júnior et al. (2008), do ponto de vista tecnológico, o Brasil é o país mais avançado na produção de etanol, seguido pelos Estados Unidos da América. O crescimento dessa produção não é determinado apenas pelas inovações tecnológicas, mas também pela eficiência com que as tecnologias disponíveis são utilizadas (NISHIMIZU; PAGE, 1982).

Complementando, Anjos (2005) argumenta que diferenças no ambiente econômico, mudanças tecnológicas e mudanças de eficiência no processo produtivo são fatores que influenciam na produtividade.

A eficiência é um conceito relativo sendo mensurada comparando o que foi produzido com o que poderia ter sido produzido tendo em vista os recursos disponíveis utilizados (HELFAND; LEVINE, 2004). Nesse sentido, Bravo-Ureta e Pinheiro (1993) definem a eficiência técnica como a habilidade da firma (ou unidade produtiva) em produzir o máximo de *output* com base num conjunto de *inputs* e na tecnologia disponível. A eficiência técnica relaciona a produção de um produto ou serviço com a menor utilização possível de recursos.

No agronegócio, a eficiência técnica tem sido de 72%, demonstrando que há espaço considerável para aumentar a produção sem entradas (insumos) adicionais e com a tecnologia existente (BRAVO-URETA; PINHEIRO, 1993).

Os escores de eficiência podem ser decompostos em dois componentes: eficiência técnica “pura” e eficiência de escala. Essa separação fornece informação importante sobre as fontes de ineficiência, haja vista que pode ser decorrente da ineficiência do processo de transformação de recursos em produtos (técnica) ou da ineficiência da escala de produção, ou até mesmo, de ambas (HAAS, 2003).

Nas regiões produtoras de cana, diferentes tecnologias têm sido empregadas para aumentar a eficiência dos insumos, elevar a produtividade da terra, da mão de obra e diminuir os custos de produção na cultura da cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2012). Nesse sentido, melhorias tecnológicas no processo de produção da cana foram introduzidas (GARCIA, 2008), tais como, novas variedades adaptadas ao clima, tipo de solo e ao sistema de corte (manual/mecânico).

Para análise dos fatores que influenciam a eficiência das organizações, uma das técnicas utilizadas é a Análise Envoltória de Dados (DEA), que permite comparar diferentes unidades operacionais com base na quantidade de insumos utilizados e no nível de produtos gerados. Essa técnica é bastante utilizada pelas empresas na tomada de decisões estratégicas (ALMEIDA; MACEDO, 2010; CARLUCCI, 2012).

A aplicação de processos mais eficientes, visando à melhoria da produtividade juntamente com a redução de custos de produção, permitirá ao setor sucroenergético ser mais competitivo no mercado. Conforme Xavier (2012), percebe-se que os custos de produção do setor têm aumentado no decorrer das safras, e a produtividade não tem crescido na mesma proporção.

Em face da expansão, da importância da cana-de-açúcar para a economia brasileira e das características peculiares dos sistemas produtivos, uma análise da eficiência técnica e de escala das diferentes regiões produtoras de cana-de-açúcar pode direcionar melhorias para o processo produtivo da cultura, tornando a discussão relevante.

1.2 Problema de pesquisa

Os sistemas de produção da cana-de-açúcar, influenciados por questões legais, políticas e ambientais, têm apresentado diferenças tecnológicas nas regiões produtoras que acabam afetando os custos de produção. Essas diferenças, tanto no uso de novas variedades quanto na utilização da mecanização, provocam efeitos distintos na produção e na competição do setor (MARTINS et al., 2007).

Nesse contexto, a hipótese é que a área de maior produção de cana, Centro-Sul tradicional, é mais eficiente que as demais, Centro-Sul expansão e Nordeste, porque tende a adotar rapidamente novas tecnologias devido à facilidade de acesso ao crédito, às informações e à melhor gestão. Para verificar essa hipótese, foi aplicado o método de eficiência DEA que relaciona fatores econômicos (custos de produção) com a localização (regiões).

Dessa forma, frente à importância do setor sucroenergético, da gestão de custos e da melhoria da eficiência, surge a seguinte questão: qual a eficiência das regiões produtoras de cana-de-açúcar em relação aos custos de produção utilizados?

1.3 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa foi verificar a eficiência técnica e de escala das regiões Nordeste, Centro-Sul tradicional e Centro-Sul expansão em relação aos custos de produção da cana-de-açúcar utilizados nas safras 2007/2008 a 2011/2012 no Brasil.

Os objetivos específicos do estudo foram:

- a) Levantar e detalhar os custos de produção da cana-de-açúcar nas três regiões em estudo;
- b) Determinar o desempenho das três regiões produtoras de cana no Brasil, a partir do cálculo de medidas de eficiência pela técnica DEA;
- c) Identificar a eficiência técnica e de escala das regiões em estudo, quanto à produção de cana-de-açúcar.

1.4 Justificativa e contribuições

Apesar da expansão, a partir dos meados de 2008, o setor sucroenergético sofreu fortes impactos da crise mundial como: dificuldades na obtenção de crédito para capital de giro e aquisição de novos equipamentos. Importante destacar a relevância da utilização de ferramentas de gestão no processo produtivo de maneira a melhorar a eficiência (MARQUES, 2009).

Além disso, segundo Marques (2009, p.15),

Há pouca precisão nas informações sobre custos de produção dos produtos do setor sucroalcooleira, uma vez que são poucos os trabalhos públicos sobre o tema, além da falta de uma metodologia de aferição de custos comum as diversas unidades industriais.

Pressupõe-se que os produtores da região Centro-Sul tradicional são mais eficientes que os das outras regiões em razão dos diferentes controles gerenciais, das condições de capital, da mecanização utilizada decorrente de aspectos legais e da quantidade produzida que acarreta um ganho de escala (VIEIRA JÚNIOR et al., 2008).

Sistemas de produção que empregam maior tecnologia incorrem em custos fixos mais altos, mas proporcionam alta produtividade, implicando em custos unitários mais baixos e melhorando o desempenho dos recursos aplicados (RODRIGUES, 2013).

A tecnologia do setor industrial sucroenergético apresenta bons níveis de eficiência nas diversas etapas do processo produtivo, mas ainda há margem para melhoria de eficiência (COSTA, 2009). Adiciona-se a isso, e às diferenças regionais, as diferenças de *performance* entre as diversas empresas do setor (ALVES et al., 2008).

Desta maneira, o trabalho justifica-se por três aspectos: econômico, prático e teórico. Quanto ao econômico, pode-se destacar a importância do setor sucroenergético para o país em decorrência da geração de renda, de emprego e de divisas. O complexo sucroenergético, em 2011, foi um dos itens mais importantes para a geração de divisas no Brasil, ocupando a segunda posição com 20,1% do total exportado e crescimento de 2,4% em comparação a 2009 (BRASIL, 2012). Esse papel de destaque do setor pode ser observado em relação ao aumento da participação brasileira na produção mundial - o país ocupa o primeiro lugar no *ranking* - tendo a quantidade produzida crescido mais de 100% em dez anos (Tabela 1).

Tabela 1 – *Ranking* dos principais países produtores de cana em 2000 e 2010

<i>Ranking</i>		País	Produção (t)	
2000	2010		2000	2010
		Mundo	1.251.142.450	1.685.444.531
1	1	Brasil	327.704.992	719.157.000
2	2	Índia	299.230.016	277.750.000
3	3	China	66.280.000	111.454.359
4	4	Tailândia	49.563.000	68.807.800
5	6	Paquistão	46.332.600	49.372.900
6	5	México	44.100.000	50.421.600

Fonte: Adaptado de Silva (2012).

Quanto ao aspecto prático da análise de eficiência no momento atual, essa é decorrente das rápidas mudanças tecnológicas adotadas em função das questões legais e ambientais, do aumento dos custos de produção nas últimas safras, do fim da intervenção governamental no setor e posterior abertura econômica. Para Alves (2009), a abertura de mercado promove ganhos de eficiência técnica, na medida em que empresas expostas a uma maior concorrência têm incentivos para diminuir os seus custos de produção, elevando sua produtividade. Ainda,

obtem-se eficiência de escala, a partir do ajuste das empresas em busca de volumes de produção mais eficientes.

Com relação ao aspecto teórico, o estudo da eficiência da cana-de-açúcar permitirá diagnosticar quais os principais custos que influenciam na ineficiência das regiões produtoras de cana-de-açúcar e se esses fatores influenciam na mesma proporção, ou seja, o trabalho complementa a literatura que aborda a gestão de custos no agronegócio.

O presente estudo traz contribuições para os órgãos de classe que representam o setor sucroenergético e para os órgãos governamentais, pois identifica quais os principais problemas de ineficiência (técnica, escala ou, técnica e escala) das regiões produtoras de cana-de-açúcar com base nos custos de produção.

Os resultados gerados também contribuem com o propósito de melhorar os processos produtivos e para identificar quais insumos podem ser reduzidos de modo a aumentar a rentabilidade, como realizado nos trabalhos de Torquato, Martins e Ramos (2009), Melo (2010) e Oliveira et al. (2014).

Para os formuladores de políticas governamentais, esses resultados contribuem para identificar quais regiões necessitam de mais investimentos, o que poderia ser feito por serviços de extensão, acesso ao crédito, entre outros, uma vez que os resultados servem de indicativos dos problemas enfrentados pelas regiões produtoras de cana-de-açúcar.

1.5 Delimitações do estudo

O estudo analisou a eficiência técnica e de escala das regiões Nordeste, Centro-Sul tradicional e Centro-Sul expansão com base nos custos de produção, pois ainda existem grandes diferenças estruturais, tecnológicas e agrícolas entre estas regiões (ALVES et al., 2008).

Portanto, o trabalho está restrito a análise do setor sucroenergético nas safras 2007/2008 a 2011/2012 sendo considerados como unidades de análise as regiões Nordeste, Centro-Sul tradicional e Centro-Sul expansão.

O enfoque do ponto de vista dos custos de produção é importante, pois, ao calcular o custo, o produtor tem condições de avaliar os resultados, corrigir falhas e melhorar a produtividade. Assim, a gestão dos sistemas de produção da cana-de-açúcar torna-se um instrumento de tomada de decisão. As principais dificuldades referem-se ao cálculo dos custos de produção, haja vista que não se dispõe de muitos estudos com esses dados.

Para tanto, foram utilizados os dados de custo de produção da cana-de-açúcar calculados pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) e utilizou-se, para a análise dos dados, o método de Análise Envoltória de Dados (DEA).

1.6 Estrutura do trabalho

Além desta introdução, este estudo apresenta quatro capítulos. No segundo capítulo, têm-se o referencial teórico, que consiste na apresentação do agronegócio e a contabilidade de custos, do panorama geral da cultura de cana-de-açúcar no Brasil, da gestão de custos na produção da cana-de-açúcar e da técnica DEA. O terceiro capítulo apresenta os procedimentos metodológicos e, no quarto capítulo, são apresentados os resultados obtidos e as discussões. E, finalmente, as considerações finais.

2 REVISÃO TEÓRICA

Neste tópico, são apresentados alguns aspectos necessários ao melhor entendimento do assunto tratado de forma a subsidiar a compreensão dos seguintes pontos: agronegócio e a contabilidade de custos; o setor sucroenergético no Brasil, suas principais características, sua importância e suas tendências; os custos de produção relacionados à cultura; e, para o tema eficiência, o seu relacionamento com a técnica utilizada.

A revisão bibliográfica da técnica, Análise Envoltória de Dados, envolve considerações sobre os métodos paramétricos e não paramétricos, os modelos com retorno constantes de escala (CCR) e com retornos variáveis de escala (BCC), além de outros estudos que utilizaram essa técnica.

2.1 Agronegócio e a contabilidade de custos

O sucesso do Brasil em converter terras (Cerrado) previamente inutilizadas na agricultura em uma das mais produtivas mudou o pensamento dos investidores, pois, há 30 anos, o Brasil era um importador de alimentos; agora, é o maior exportador de carne bovina, aves, café, cana-de-açúcar, etanol e o segundo maior exportador de soja, após os Estados Unidos da América (CONNOLLY; CONNOLLY; LYONS, 2012). Ainda de acordo com autores referidos, a produção tem melhorado drasticamente por meio de práticas agrícolas modernas como melhorias genéticas, melhores programas de irrigação e ferramentas tecnológicas.

Essa expansão permitiu ao agronegócio aumentar a sua participação no PIB, e nas últimas décadas, o agronegócio tem crescido em nível mundial representando parte importante da economia de alguns países (CALSINA, 2012).

Diante da expressividade do agronegócio brasileiro, cabe enfatizar sua definição, e essa se remete às concepções de Davis e Goldberg (1957), os quais abordam como sendo: o somatório das operações envolvidas na fabricação e distribuição de insumos agrícolas; as operações de produção da unidade agrícola; o armazenamento, processamento e distribuição de commodities agrícolas e dos itens produzidos a partir deles. Ou seja, o agronegócio engloba atividades relacionadas ao fornecimento de insumos, produção agrícola, processo agroindustrial, transporte e comercialização de produtos primários e processados (FERMAN, 2009).

Dada à dimensão mercadológica em que o agronegócio se insere, pode-se, portanto, admitir que este apresenta uma enorme contribuição no desenvolvimento econômico brasileiro, permitindo ao país produzir em grande quantidade itens para seu consumo interno e para exportação (SALGADO JÚNIOR; BONACIM; PACAGNELLA JÚNIOR, 2009).

Em 2010, de acordo com dados do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2013), as exportações do agronegócio foram para 180 países e corresponderam a 76 bilhões de dólares, sendo os produtos mais exportados a soja, em primeiro lugar, seguido pelo açúcar. Em 2013, segundo o mesmo órgão, o setor do agronegócio cresceu 7% em relação a 2012, percentual de crescimento superior ao de serviços (2%) e da indústria (1,3%).

Com o crescimento do agronegócio, espera-se maior controle gerencial por parte dos produtores com o intuito de obter maior rentabilidade e, assim, mecanismos gerenciais podem ser essenciais para o agronegócio, uma vez que permitem um melhor controle em suas atividades (DUARTE et al., 2011). Sob esse aspecto, Mugera (2012) argumenta que, dadas às tendências mundiais no setor, a competitividade se tornou um tema de interesse e o desempenho das empresas deverá continuar cada vez mais dependente da gestão.

Entretanto, no agronegócio, as dificuldades referentes às decisões são muitas, havendo aspectos peculiares que influenciam nessas decisões, como as políticas governamentais que impactam a atividade e produtos não uniformes. Por outro lado, o agronegócio apresenta uma série de características desafiadoras, pois é altamente volátil, tanto em condições de produção quanto de mercado. Assim, sujeita-se a condições biológicas imprevisíveis (doenças, insetos, pragas, etc.), combinadas com padrões climáticos (temperatura, precipitação variável), resultando em variabilidade significativa das condições de produção e processamento e, portanto, de eficiência (BOEHLJE; ROUCAN-KANE; BRORING, 2011).

Apesar das implicações na eficiência decorrente de características biológicas, e tendo em vista que muitas vezes o agricultor depara-se com a necessidade do uso tecnológico como uma forma de atribuir produtividade e rentabilidade desejada, é válido destacar que há ainda outros problemas no agronegócio, como é o caso da geração e fluxo das informações gerenciais para a tomada de decisão, visto que o sucesso da empresa rural está relacionado ao seu grau de gerenciamento, com habilidade técnica e administrativa para o aproveitamento racional dos recursos à sua disposição (CARVALHO; FIÚZA; LOPES, 2008; SANTOS; MARION; SEGATTI, 2009).

Independente do tipo de atividade desenvolvida, um dos pontos que requer a atenção por parte dos gestores é o custo envolvido no negócio, já que a informação subsidia o processo de tomada de decisão (CARVALHO; FIÚZA; LOPES, 2008).

Um dos fatores para redução dos custos unitários é o incremento da produção por economia de escala, inibindo a entrada de novos concorrentes no mercado (NICOLELI; MOLLER, 2006). O custo de produção, portanto, é um dos fatores que influenciam na competitividade, visto que as empresas não devem simplesmente repassar seus custos aos consumidores (KENNEDY; HARRISON; PIEDRA, 1998).

A utilização das informações de custos para a tomada de decisão é relevante e destaca-se como um excelente instrumento gerencial, pois serve para o planejamento e avaliação do desempenho empresarial. Ademais, a contabilidade de custos auxilia no controle e no processo decisório (MARTINS, 2003; ALBANEZ; BONIZIO; RIBEIRO, 2008).

Para Leone (2000, p. 21) a “contabilidade de custos é uma atividade que se assemelha a um centro processador de informações, que recebe (ou obtém dados), acumula-os de forma organizada, analisa-os e interpreta-os, produzindo informações de custos para os níveis gerenciais”.

Segundo Martins (2003, p. 22), “com o advento da nova forma de se usar Contabilidade de Custos, ocorreu seu maior aproveitamento em outros campos que não industrial”. Assim, a contabilidade de custos é uma ferramenta importante para a administração e tomada de decisão no agronegócio em razão das particularidades, seja em termos de custos e receitas, do fator tempo entre produção e venda e dependência do mercado (ANDRADE et al., 2012).

Dessa maneira, os custos, se apurados adequadamente, oferecem aos gestores condições para verificar se os recursos empregados em um processo produtivo estão proporcionando rentabilidade ao negócio, além de possibilitar comparar alternativas de investimentos (FEHR, et al., 2012).

Consequentemente, a contabilidade de custos é um instrumento relevante utilizado para a gestão empresarial e, como sistema de informação, contribui para avaliação do desempenho administrativo e operacional, por estar diretamente relacionada com as funções de planejamento, orçamento e controle. Com um enfoque predominantemente gerencial, trabalha diretamente com a tomada de decisão, visando uma gestão empresarial eficiente e eficaz (PADOVEZE, 2013).

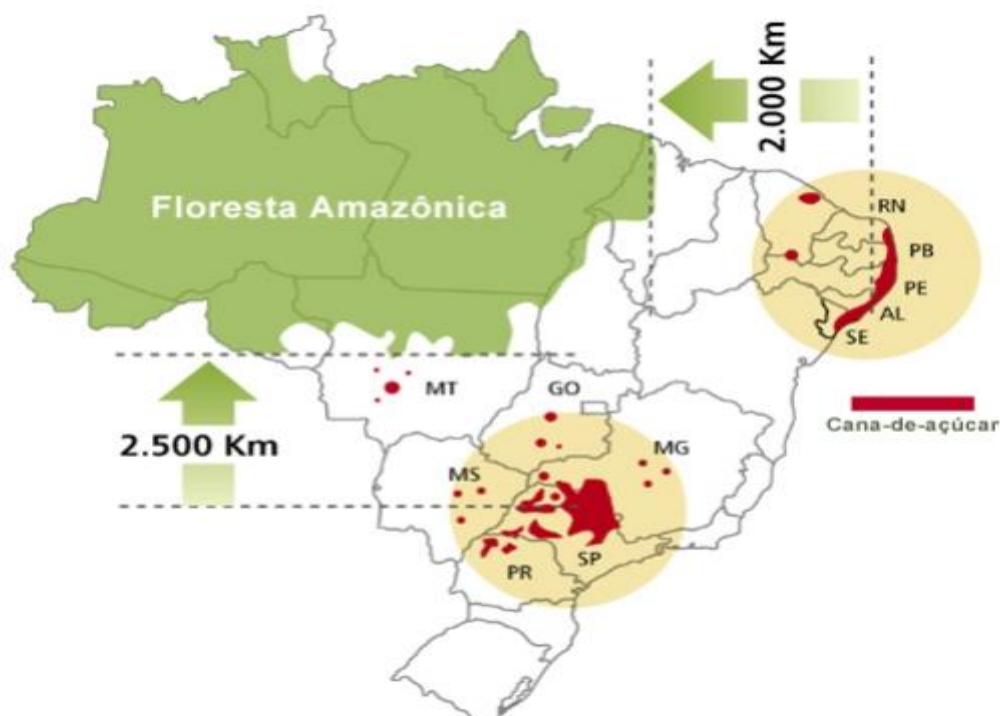
A partir dessa abordagem sobre o agronegócio e a gestão de custos, os dois próximos tópicos tratam da apresentação do setor sucroenergético brasileiro e dos custos de produção da atividade.

2.2 Panorama geral da cana-de-açúcar no Brasil

No contexto do agronegócio, destaca-se a cultura da cana-de-açúcar, a qual foi introduzida inicialmente no país na região Nordeste durante o período colonial, utilizando mão de obra intensiva, porém, atualmente, usa mais capital e tecnologia (NUNEZ, 2013).

No momento atual, a plantação estende-se por grande parte do território brasileiro, mas notadamente, ocorreu uma expansão da produção para os Estados da região Centro-Oeste, Minas Gerais e oeste paulista (Figura 1), sendo os principais produtos advindos da cana, o açúcar, o etanol combustível e a energia do bagaço da cana, os quais compõem o *mix* de produção: a) etanol, unicamente; b) açúcar, unicamente; c) etanol e açúcar; d) etanol e energia elétrica; e) etanol, açúcar e energia. Na região Nordeste, a produção é basicamente de açúcar. Nas áreas de expansão, majoritariamente, produção de etanol. O Centro-Sul tradicional possui todas as combinações, concentrando-se na produção de açúcar e etanol e uma forte presença da geração de energia para consumo próprio (MARQUES, 2009).

Figura 1 – Plantação de cana-de-açúcar no Brasil



Fonte: Carlucci (2012, p. 22).

A flexibilidade das usinas de produzirem esses diversos tipos de produtos constitui uma vantagem comparativa do setor em relação a outras agroindústrias nacionais, mas a combinação da quantidade produzida de açúcar e etanol depende de vários fatores, como teor

de sacarose da cana, preços do açúcar e etanol, dentro e fora do país, características tecnológicas de cada usina, estratégias dos produtores e contratos de entregas já firmados no mercado internacional. Em média, apenas 15% da produção de cana-de-açúcar estão livres à escolha do produtor para qual produto produzir (FREITAS; MENDONÇA, 2008).

No início da década de 1980, a expansão da cana-de-açúcar foi decorrente da demanda de açúcar e etanol. Com o fim do Proálcool, na segunda metade da década de 1980, o setor teve uma desaceleração e declínio da intervenção governamental, apresentando, a partir daí, problemas de competitividade. Com a abertura econômica, na década seguinte, o setor sucroenergético passou a depender da eficiência administrativa e econômica em face da concorrência mais intensa, buscando maior produtividade e realocação eficiente dos recursos (MAIA; OLIVEIRA, 1999; MELO, 2010).

Assim, surgiu a necessidade da reestruturação do processo produtivo e das parcerias, além de inovações tecnológicas nas atividades de forma a criar as condições de competitividade no mercado globalizado (MELO, 2010).

Nos meados da década de 2000, a indústria iniciou um processo de consolidação com várias fusões e aquisições, contratando gestores profissionais e adotando melhores práticas corporativas. Empresas estrangeiras adquiriram usinas já existentes e construíram novas plantas industriais e, como consequência, em 2010, as multinacionais controlavam 25% da capacidade do setor sucroenergético, tornando a indústria mais heterogênea e dispersa geograficamente por meio da implantação de novas usinas mais modernas e de grande capacidade de processamento (CHADDAD, 2010).

Contemporaneamente, a indústria da cana é um dos mais fortes setores do agronegócio brasileiro e está passando por mudanças significativas em suas operações, incluindo modificação nos procedimentos de plantio e colheita, crescimento na produção de bioenergia, implantação de novas tecnologias e novos produtos, tais como bioplásticos (VIANA; PEREZ, 2013).

Devido à especificidade de ativos envolvidos na transação entre produtores de cana e as usinas, três tipos de acordos são utilizados pela indústria: i) Produção própria - as usinas possuem a terra para a plantação da cana; ii) Arrendamento - as terras utilizadas para a produção são alugadas dos proprietários da terra; iii) Produção terceirizada - os agricultores fornecem a cana para a indústria por meio de contratos (VIANA; PEREZ, 2013).

Diante destas formas de produção, cerca de 2% do PIB brasileiro, em 2013, foi representado pelo setor sucroenergético, sendo o Brasil o maior produtor de cana-de-açúcar,

responsável por 33% da produção mundial, seguido por Índia e China (NEVES; TROMBIN, 2014).

Segundo dados da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA, 2014), essa participação, tem em seu conjunto, a representatividade de uma indústria da cana brasileira composta por cerca de 70 mil produtores, 389 unidades de processamento (usinas e destilarias), 1,09 milhão de postos de trabalho formais, espalhando-se a produção por 8,8 milhões de hectares.

Para Gonçalves (2009), o crescimento do setor, de modo geral, apresenta-se mais de forma extensiva (ocupação de novas áreas) que de forma intensiva (elevação da produtividade por hectare). Por sua vez, o crescimento da produtividade foi associado à melhoria de insumos, aos tratos culturais, às novas variedades e ao manejo, impondo a necessidade de melhorias (FREITAS; MENDONÇA, 2008). Por esse ângulo, conforme Neves e Trombin (2014), na última década, a produção aumentou 64% e a área produtiva expandiu em 84%.

No Brasil, avaliando as safras da produção de cana-de-açúcar, etanol e açúcar nos últimos quatorzes anos, nota-se um crescimento significativo, com aumento de mais de 100% no etanol anidro, etanol hidratado, etanol total, açúcar e cana-de-açúcar (Tabela 2).

O aumento da produção de etanol, conforme verificado na Tabela 2, é uma forma de o governo incentivar a substituição da gasolina, já que é utilizado de duas maneiras: como etanol hidratado, em carros movidos a etanol e etanol anidro, em carros a gasolina, com adição média variando de 20% a 25% (NEGRÃO; URBAN, 2005).

Assim, o governo fomenta a cultura da cana, servindo como fonte alternativa de energia limpa ao petróleo, mitigando os impactos ambientais, além de ser um produto renovável (LEMONS et al., 2014). A indústria da cana-de-açúcar é a segunda fonte de energia da matriz energética do Brasil, com 18,1% de participação (BARROS; ALVES; OSAKI, 2010).

A expressiva expansão que a cultura da cana vem alcançando frente às outras, nos últimos anos, ratifica a importância do setor no cenário nacional, sendo um componente da estratégia de desenvolvimento rural e energético do país (CHADDAD, 2010).

A cana-de-açúcar é cultivada em grande parte do território nacional, todavia a produção está concentrada na região Centro-Sul e no Nordeste e, de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2013), o Estado de São Paulo é o maior produtor nacional de cana-de-açúcar, com 51,66% da área plantada, seguido por Goiás (9,29%) e Minas Gerais (8,85%). Algumas razões para isso, no entendimento de Silva (2009), é a presença de empresas responsáveis pelo desenvolvimento da tecnologia do biocombustível e de centros

tecnológicos ligados ao setor (Centro de Tecnologia Canavieira, Instituto Agrônômico e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas).

Tabela 2 - Produção brasileira de cana-de-açúcar, açúcar e etanol

Ano/safra	Etanol anidro (m ³)	Etanol hidratado (m ³)	Etanol total (m ³)	Açúcar (ton)	Cana-de-açúcar (ton)
00/01	5.584.730	4.932.805	10.517.535	16.020.340	254.921.721
01/02	6.479.187	4.988.608	11.467.795	18.994.363	292.329.141
02/03	7.009.063	5.476.363	12.485.426	22.381.336	316.121.750
03/04	8.767.898	5.872.025	14.639.923	24.944.434	357.110.883
04/05	8.172.488	7.035.421	15.207.909	26.632.074	381.447.102
05/06	7.663.245	8.144.939	15.808.184	26.214.391	382.482.002
06/07	8.078.306	9.861.122	17.939.428	30.735.077	428.816.921
07/08	8.464.520	13.981.459	22.445.979	31.297.619	495.843.192
08/09	9.630.481	18.050.758	27.681.239	31.506.859	572.738.489
09/10	6.937.770	18.800.905	25.738.675	33.033.479	603.056.367
10/11	8.027.283	19.576.837	27.604.120	38.069.510	624.501.165
11/12	8.623.614	14.112.926	22.736.540	35.970.397	560.993.790
12/13	9.695.126	13.778.228	23.473.354	38.357.134	589.237.141
13/14	11.825.592	16.187.889	28.013.481	37.849.128	659.260.785

Fonte: Adaptado de BRASIL (2014).

No Estado de São Paulo, Camargo Júnior e Toneto Júnior (2009) destacaram a representatividade da cultura da cana-de-açúcar, demonstrando que a remuneração média é maior que nas demais culturas, e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é maior nos municípios que têm atividades sucroenergéticas, além de ter efeito multiplicador sobre outras atividades.

Outro exemplo de crescimento é o município de Quirinópolis, no Estado de Goiás, que, após uma década da instalação de uma usina, verificou o aumento do número de empregos formais de 4 mil para quase 11 mil. Ainda, o aumento do salário médio, o PIB per capita e a arrecadação de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS) triplicaram (NEVES; TROMBIN, 2014).

Assim sendo, a cultura da cana-de-açúcar gera impactos positivos sobre a economia regional. O valor da produção agrícola por hectare tende a superar as demais culturas, a

produção de cana possui maior relação número de empregados por hectare e a demanda por prestação de serviços provoca impactos sobre a geração de renda urbana (CHAGAS, 2009).

Contudo, como em outras culturas, também há impactos negativos: disputas pelo uso da terra com outros sistemas agroindustriais; demanda por moradia pelos trabalhadores temporários; aumento de gastos no sistema de saúde pública; e necessidade de vagas adicionais nas escolas para filhos dos trabalhadores do setor (CHAGAS, 2009).

Soma-se a isso a destruição de áreas de matas nativas, diminuição da diversidade da produção rural, erosão e poluição do solo, destruição da biodiversidade e o aumento do êxodo rural (VIANA; PEREZ, 2013). Em relação à destruição do habitat, Masayi e Netondo (2012) certificam que houve a extinção de várias espécies florestais em razão do desmatamento para plantação de cana comercial na região Oeste do Quênia. Como a lavoura canavieira constitui uma monocultura extensiva, outro ponto a ser considerado é a possível concentração fundiária. Este aspecto pode levar ao aumento do preço das terras face à aquisição por parte das indústrias (SZMRECSÁNYI et al., 2008).

Com relação aos aspectos social e trabalhista, o setor apresenta progresso com a eliminação do trabalho infantil e melhores condições de trabalho, porém aguardava-se que o crescimento setorial fosse acompanhado da elevação de novos postos de trabalho nas empresas sucroenergéticas, mas evidências mostram que os avanços tecnológicos têm acontecido com tanta intensidade, que para as pessoas com menor grau de instrução, o número de postos de trabalho tem diminuído, ocorrendo, por outro lado, crescimento da mão de obra mais qualificada (BACCARIN; GEBARA; BORGES JÚNIOR, 2011).

Na percepção de Ramos (2007), essa oposição de expansão da cultura e menor nível de ocupação da mão de obra deve aumentar em razão do processo de mecanização integral da colheita decorrente das inovações tecnológicas, pressões legais e sociais, principalmente, no Estado de São Paulo. Outro fator, que tem contribuído neste sentido é a substituição da colheita manual da cana-de-açúcar, após a queimada, pela mecanizada, conforme padrões estabelecidos pelas legislações ambientais, bem como as perspectivas de exportação de etanol para mercados que têm maiores exigências ambientais (BACCARIN; GEBARA; BORGES JÚNIOR, 2011).

No Estado de São Paulo, existe legislação (Lei nº 11.241/02 e decreto regulamentar 47.700/03) que determina o fim da queima até 2031 nas áreas em que as máquinas não conseguem operar (declividade acima de 12%) e, até 2021, nas áreas com possibilidade de mecanização integral (RAMOS, 2007). Mas, em 2007, o Governo de São Paulo e a UNICA assinaram o Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético Paulista, visando antecipar o

fim da queima para 2014, nas regiões mecanizáveis e, para 2017, para as áreas não mecanizáveis (GONÇALVES, 2009). Uma das consequências desta decisão é o impacto da expansão nas regiões canavieiras dos outros Estados (RAMOS, 2007).

Seguindo o exemplo paulista, o Estado de Minas Gerais também assinou o “Protocolo de Intenções de Eliminação da Queima da Cana no Setor Sucroenergético de Minas Gerais” com a entidade representativa do setor prevendo o fim da prática até 2014 por meio da mecanização da colheita. Nesse sentido, o Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM regulamentou a prática da queima de cana-de-açúcar para fins de colheita por meio da Deliberação Normativa 133/2009. No Estado de Mato Grosso do Sul, a Lei nº 3.357/2007 preconiza o fim da queima da palha da cana no prazo máximo de 20 anos, a contar do ano de 2006, à razão de 5% ao ano, pelo menos, nas áreas com declividade inferior a 12%. Esta tendência de mecanização das regiões produtoras levará ao desaparecimento de milhares de postos de trabalho no corte manual (GONÇALVES, 2009).

Destacam-se três ações com vistas a uma certificação envolvendo práticas ambientais sustentáveis na indústria da cana-de-açúcar: O Protocolo Verde, o Compromisso Nacional do Trabalho e o Projeto Renovação. A certificação seria vista como um diferencial competitivo, possibilitando a redução de custos por meio da adoção de novas tecnologias que permitem reduzir o consumo de insumos e o desperdício nos processos de produção (ALVES et al., 2008).

O Protocolo Verde refere-se às ações de proteção do solo, conservação das águas e introdução da mecanização. O Compromisso Nacional do Trabalho encoraja e reconhece as melhores práticas de trabalho na indústria da cana-de-açúcar por intermédio da criação de instrumentos que as reconheçam com exemplo para adoção por um número crescente de empresas. No projeto Renovação, o objetivo é fazer o treinamento dos trabalhadores que têm seus empregos em risco por causa da mecanização para assumirem novas funções (CHADDAD, 2010).

Pelo fato das consequências ambientais e sociais negativas terem limitado a expansão nas principais regiões produtoras de São Paulo (Piracicaba e Ribeirão Preto), observa-se um estímulo à migração da cana-de-açúcar para a região do Triângulo Mineiro, em Minas Gerais, e para Estados da região Centro-Oeste (VIEIRA JÚNIOR et al., 2008).

Além do citado anteriormente, outras razões da escolha dessas regiões são o clima, a qualidade dos solos, topografia, maior disponibilidade de capital e maior proximidade dos centros consumidores (SZMRECSÁNYI, 1989). Reafirmando esse ponto, Siqueira e Reis

(2006) destacam que as principais características favoráveis à expansão em Minas Gerais são a topografia, o tipo de solo e a disponibilidade da cana-de-açúcar na região.

Outros pontos que serviram de oportunidade para a expansão da cana são os aspectos tecnológicos: uso de agricultura de precisão, colheitadeiras para terrenos acidentados, adoção da prática de irrigação, modificação genética para menor uso de fertilizantes e resistência a pragas (NEVES et al., 2011).

Nesse sentido, com o aumento da mecanização, novos desafios de produção surgiram, pois o uso das colheitadeiras alterou as condições de solo, provocando a proliferação de pragas. Em resposta ao problema, novas tecnologias têm ganhado espaço na produção. As inovações tecnológicas introduzidas constituem-se, principalmente, de novas máquinas e equipamentos que fazem a aplicação localizada de defensivos devido à regulação e dosagem automática, ou seja, agricultura de precisão (SILVA, 2009).

Percebe-se que o modelo de exploração é padronizado e uniforme, privilegiando terras planas e de melhor produtividade para utilização de máquinas, com vistas à economia de insumos, alternando entre arrendamento e aquisição de terras (GONÇALVES, 2009).

Nessa expansão, deve-se considerar também as condições climáticas, apesar de a cultura ser plantada em grande parte do país porque se desenvolve nos mais diversos tipos de solos, desde os muito arenoso aos muitos argilosos e compactos, visto que “a cana-de-açúcar é uma cultura exigente quanto às condições climáticas, no que diz respeito principalmente à disponibilidade térmica e hídrica” (DOMINGUES, 2010, p. 23). Nesse sentido, para o cultivo da cana-de-açúcar nas diferentes regiões, deve-se considerar principalmente a regularidade dos índices pluviométricos (EVANGELISTA, 2011).

Outros fatores climáticos importantes que influenciam na expansão são a temperatura e as condições solares. A temperatura deve-se situar entre 22°C e 30°C, em que se tem o maior crescimento da planta. Em razão das condições solares, a cana apresenta variação nos colmos e o teor de sacarose é diretamente influenciado pela quantidade de luz diária, sendo o ideal um período entre 10 e 14 horas (DOMINGUES, 2010).

Especificamente, em relação à cultura da cana, Santos (1981) observou que a variação climática é, em grande parte, responsável pela oscilação na produção em virtude de excessos ou déficits hídricos. Assim, o cerrado brasileiro com solo fértil, sol forte e abundância de terra agricultável tem sido a principal área de expansão da cana.

Mas os problemas climáticos, o baixo investimento na manutenção de canaviais e os desafios para conversão para a produção mecanizada têm reduzido a rentabilidade dessa

cultura. Enquanto isso, os preços dos insumos continuaram em trajetória ascendente pressionando os custos de produção (XAVIER, 2012).

Dessa forma, num ambiente globalizado, competitivo e instável economicamente, as organizações necessitam melhorar o seu desempenho. O agronegócio necessita de mecanismos gerenciais que lhe permitam exercer um controle nas suas atividades para fazer face à competitividade. Muitas regiões produtoras de cana se especializaram sem preocupações com a competitividade, porém, para uma economia ter vantagem na produção de um produto comercializável, a produção deve ser eficiente (MAIA; OLIVEIRA, 1999).

Para finalizar o panorama da cana-de-açúcar, do ponto de vista estratégico, os pontos fortes e fracos do setor estão apresentados de forma resumida no Quadro 1.

Quadro 1 – Pontos fortes e fracos do setor sucroenergético brasileiro

PONTOS FORTES	PONTOS FRACOS
Tecnologia e Inovação Tecnologia <i>flex-fuel</i> Custos da produção da cana são os mais baixos Instituições de pesquisa Variedades resistentes e mais produtivas Capacidade de incorporar novas áreas	Tecnologia e Inovação Pouco investimento do governo em pesquisas Colheita manual e por meio de queimadas (aspecto social e ambiental) Rentabilidade dos fornecedores Tempo de implementação de novas tecnologias
Comunicação Publicidade “gratuita” Imagem de combustível verde e gerador de empregos	Comunicação Problemas com a imagem das queimadas Problemas para difusão de tecnologias e informação
Distribuição e Logística Postos de serviços (38 mil no país) Presença da Petrobrás Logística interna	Distribuição e Logística Custos de distribuição Falta de infraestrutura para exportação Lentidão na execução de projetos logísticos
Capacitação Bons técnicos Profissionalização do setor	Capacitação Pessoal insuficiente para atender o crescimento Poucos centros de capacitação técnica
Coordenação institucional Diversidade de perfis e empreendedorismo Sindicatos e associações Alianças estratégicas	Coordenação institucional Falta de crédito e recursos Flutuações no preço do etanol A diversidade dificulta a coordenação

Fonte: Adaptado de Neves et al. (2011).

Nota-se que grande parte dos pontos fracos do setor está relacionada com políticas públicas que possam melhorar o desempenho do setor, tendo em vista a legislação trabalhista, o pouco investimento dos órgãos públicos em pesquisas e na infraestrutura para exportação.

Diante desse cenário, torna-se importante os gestores verificarem o comportamento dos custos de produção de modo a melhorar a eficiência da produção em virtude da escassez de recursos.

2.3 Gestão de custos na produção da cana-de-açúcar

Para Hutchings e Nordblom (2011), as empresas agrícolas bem sucedidas têm características comuns, tais como: escala de produção, baixos custos e técnicas de gestão adequadas, que geram excedentes maiores. Tal abordagem pode ser assimilada ao se observar que a racionalização dos custos é uma exigência também para o agronegócio, a fim de garantir a competitividade e sustentação econômica da atividade, uma vez que a apresentação do resultado econômico é feita por meio do confronto das receitas com custos totais, procurando diminuir o desperdício (ARAÚJO, 2010). Em outras palavras, um dos requisitos básicos para que uma empresa sobreviva no mercado é conhecer os custos de suas atividades (OLIVEIRA et al., 2012).

Os custos de produção são afetados por fatores como economia de escala, experiência na produção, aumento dos preços dos insumos, competitividade do mercado, pesquisa e desenvolvimento que induz mudanças tecnológicas (NUNEZ, 2013).

As mudanças tecnológicas na cultura da cana-de-açúcar visam minimizar o impacto ambiental, melhorar a qualidade da cana, aumentar a produtividade e diminuir custos de produção (SILVA, 2009). Nesse ponto, grande parte do incremento de produtos derivados da cana é decorrente, principalmente, dos avanços tecnológicos que aumentam a produtividade e diminuem custos (NEVES et al., 2011).

De acordo com Andrade et al. (2012), os custos são todos aqueles gastos relacionados direta ou indiretamente com a cultura, tais como, sementes, defensivos, combustíveis, mão de obra, maquinário, etc. De maneira geral, os principais custos de cada etapa de produção da cultura de cana-de-açúcar são os gastos com plantio (20%), com os tratos culturais (34%) e com o corte, transporte e carregamento da cana (46%) (ESBERARD; CHAIM; TUROLLA, 2009).

O processo produtivo agrícola da cana-de-açúcar é representado pelas etapas de preparo do solo, plantio, tratos culturais e a colheita. Antes do plantio, o solo é intensamente preparado, principalmente, por máquinas. Nessa fase de preparo do solo, devido a fatores como condições de terreno, tipo de solo, declividade, entre outros, não há um padrão definido, mas a profundidade de plantio é de 20 a 30 cm. E as operações mais comuns nesta fase são: aração, calagem, confecção de terraços, gradagem niveladora e aplicação de fertilizantes,

entre outras. Nessa etapa, as regiões Centro-Sul tradicional e expansão realizam mais operações mecanizadas que a região Nordeste (Marques, 2009).

Em virtude das condições climáticas das regiões, a etapa do plantio é realizada em épocas diferentes, ocorrendo na região Centro-Sul entre os meses de janeiro e maio. Por sua vez, a região Nordeste realiza o plantio nos meses de setembro e outubro. O espaçamento da plantação depende do tipo de colheita a ser realizado, mas varia de 1 a 1,6m. No caso da colheita mecanizada, o espaçamento mais utilizado é de 1,5m, sendo indicado o plantio de 10 a 12 gemas por metro (SEGATO et al., 2006).

Visando a aumentar a produtividade, na etapa de tratos culturais, são realizadas as adubações, irrigação/fertirrigação, aplicação de defensivos e corretivos, de maneira a proporcionar um melhor desenvolvimento da planta (MARQUES, 2009).

Ainda de acordo com o autor Marques (2009), a última etapa do processo produtivo da cana-de-açúcar refere-se à colheita. Geralmente, na região Nordeste, a colheita é realizada entre os meses de setembro do ano atual e março do ano seguinte. No caso da região Centro-Sul, a colheita ocorre no ano civil entre os meses de maio a novembro.

Podem ser destacados três tipos de sistemas de colheita cana-de-açúcar: o sistema manual, que utiliza a mão de obra para corte e carregamento da cana. Nesse sistema, é comum a queima da cana para simplificar a colheita; o sistema semimecanizado, sendo o corte manual e o carregamento mecanizado; e, finalmente, o sistema mecanizado, pelo qual a cana é cortada e carregada por máquinas. Na fase da colheita, após o corte e carregamento, tem-se o transporte da cana da lavoura até a usina, o que é feito basicamente por caminhões (MARQUES, 2009).

Na Tabela 3, são apresentados, resumidamente, as principais operações agrícolas e insumos envolvidos nas etapas do custo de produção da cana-de-açúcar. Nota-se que a etapa de preparo do solo e plantio é a etapa que contempla mais operações, contudo não é a que apresenta maior custo. Conforme Marques (2009), essa etapa não apresenta um padrão definido. Na região Nordeste, essa fase é caracterizada por operações manuais em virtude da declividade do terreno, o que impede a utilização de máquinas em determinados locais, enquanto que, na região expansão, existe um emprego maior de atividades mecanizadas nessa etapa.

Na etapa de tratos culturais, observa-se a aplicação de defensivos químicos e biológicos de maneira a aumentar a produtividade. Em decorrência das questões ambientais e legais, a etapa de corte, carregamento e transporte tende a ser totalmente mecanizada no decorrer dos anos. Todavia, ainda utiliza-se da colheita manual, principalmente, na região Nordeste.

Tabela 3 – Operações agrícolas e insumos envolvidos no custo de produção da cana-de-açúcar

Etapa/fase			Insumos
Preparo do solo/plantio	Tratos culturais	CCT	Descrição
Marcação	Carpa química	Aceiro	Fertilizantes
Análise do solo	Repasse	Queima	Corretivos
Dessecação para plantio	Aplicação de herbicida	Corte mecanizado	Herbicidas
Aração	Aplicação de inseticida	Corte manual	Inseticidas
Confecção de terraços	Transporte de insumos	Catação de bituca	Nematicidas
Gradagem	Transporte de água	Carregamento	Mudas
Subsolagem	Irrigação de apoio	Transbordo	Combustível
Manutenção de estradas	Adubação	Transporte	
Transporte de mudas	Combate de pragas		
Calagem			
Gessagem			
Adubação			
Plantio mecanizado			
Plantio manual			

Fonte: Adaptado de Marques (2009).

O custo total de produção de uma cultura é a soma de todas as despesas explícitas e implícitas que podem ser associadas à produção dessa cultura, ou seja, é a soma dos custos fixos e variáveis (MAIA; OLIVEIRA, 1999).

Os custos variáveis mudam em proporção ao nível de produção, enquanto os fixos não se alteram com a mudança na quantidade produzida (ALBANEZ; BONIZIO; RIBEIRO, 2008). Conforme Bornia (2002, p. 43), “a separação dos custos em fixos e variáveis é o fundamento do que se denominam custos para tomada de decisões, fornecendo subsídios importantes para as decisões da empresa”.

Noutra classificação de custos, têm-se os diretos e os indiretos em relação ao produto que está sendo produzido. Para Padoveze (2013, p. 39), “os custos diretos são aqueles que podem ser fisicamente identificados para um segmento particular em consideração”. Por sua vez, os custos indiretos “são todos os gastos que não são considerados diretos [...] e que não podem ser alocados de forma direta ou objetiva aos produtos” (PADOVEZE, 2013, p. 39).

Especificamente, no agronegócio, os custos diretos são os identificados com precisão ao produto agrícola acabado, por um sistema e um método de medição, e com valor relevante, com base em uma medida de consumo (quilos, horas de mão de obra ou de máquina, quantidade de força consumida etc.). Já os custos indiretos são aqueles necessários à produção, geralmente, de mais de um produto, mas que, para serem incorporados aos produtos

agrícolas, necessitam da utilização de algum critério de rateio. Como exemplos, têm-se os salários das chefias, do pessoal administrativo e produtos de alimentação, entre outros (SANTOS; MARION; SEGATTI, 2009).

A partir dos valores desembolsados direta e indiretamente pelos produtores de cana ao longo da safra, os custos de produção podem ser alocados em três classificações. O custo operacional efetivo (COE) considera todos os itens de custos gastos diretamente à produção, como: i) maquinário (exclusos depreciações e custos de capital de equipamentos próprios); ii) mão de obra; iii) insumos; iv) gastos com arrendamentos; v) despesas administrativas; e, vi) financiamento de capital de giro (MARQUES, 2009).

A formação do canavial (preparo de solo, plantio e tratos planta) é considerada um investimento que é amortizado nos anos seguintes. Sendo assim, está alocado na segunda classificação da estrutura de custos, o custo operacional total (COT). Esta é a parcela que adiciona aos custos diretos (COE), os custos indiretos, relacionados basicamente a depreciações e remuneração do proprietário. São consideradas as depreciações de máquinas e implementos, de benfeitorias e de estruturas de irrigação, além dos valores da formação do canavial (MATSUNAGA et al., 1976; MARQUES, 2009).

Destaca-se que, no caso de itens comuns à formação do canavial e colheita, como, mão de obra administrativa e máquinas/implementos, os valores são rateados entre os estágios, de modo que as parcelas do COE e do COT não sofram distorções na distribuição do custo (MATSUNAGA et al., 1976; MARQUES, 2009).

Por fim, a última parcela refere-se aos custos de oportunidade do capital investido na produção que são somados aos itens de custos do COE e COT para formar o custo total (CT). A remuneração da terra é considerada igual ao valor do seu arrendamento. E todo o capital alocado para formação do canavial, máquinas/implementos, benfeitorias e estrutura de irrigação são considerados próprios e remunerados à taxa de 6% ao ano (MATSUNAGA et al., 1976; MARQUES, 2009).

De forma a complementar à compreensão dos custos de produção, verificou-se que a indústria do açúcar e etanol tem enfrentado um aumento nos custos de produção nas últimas safras. Os custos de produção da cana aumentaram em 71% na região Centro-Sul tradicional e em 51%, na Centro-Sul expansão entre as safras 2007/2008 e 2011/2012, sendo a principal razão para a variação nos preços dos fatores de produção. O aumento constante do preço do açúcar e etanol no período resultou num aumento de 186% no preço das terras na região tradicional e de 154% na região de expansão, tendo um impacto direto sobre o custo de produção e, em particular, sobre o arrendamento das terras (XAVIER, 2012).

Outros fatores que contribuíram para o aumento dos custos de produção, segundo Xavier (2012), foram a crise financeira que impactou o setor, a taxa de inflação brasileira de cerca de 30% no período e a valorização do Real em torno de 15% em relação ao Dólar. O autor argumenta que as diferenças regionais entre as práticas dos produtores também explicam diferenças nos custos de produção.

Nesse sentido, na safra de 2007/2008, os produtores da região Centro-Sul expansão tiveram custos 9% abaixo que a região Centro-Sul tradicional. Já na safra 2011/2012, a diferença aumentou para 20%. O preço do aluguel da terra, a utilização mais eficiente do maquinário, a rotação adequada de culturas com a cana e a economia de escala explicam as razões pelo custo mais baixo na região expansão (XAVIER, 2012).

Por sua vez, os custos de produção da região Nordeste são mais elevados em comparação aos da região Centro-Sul por causa da baixa fertilidade dos solos, menor volume de chuvas e topografia inadequada para mecanização (KOHLHEPP, 2010).

A tendência de alta nos custos de produção ainda foi observada em 2013 devido a aumento de preços nos insumos, gastos com mão de obra, incorporação de tecnologia, e, principalmente, a mecanização e a seca na região Nordeste (REETZ et al., 2013).

De acordo com Xavier (2012), dois terços do custo do açúcar bruto é referente a produção da cana, sendo 70% é produzido pela própria usina e o restante é fornecido por outros agricultores. Além disso, o uso da capacidade industrial tem sido baixo, resultando no aumento dos componentes de custos fixos como custo de capital e depreciação. Os principais fatores de custo de produção do etanol são os mesmos do açúcar, e a principal diferença é a maior estabilidade dos preços de mercado.

Com relação aos custos no mercado internacional, Baiyegunhi e Arnold (2011) afirmam que os produtores de cana da África do Sul têm sido incapazes de cobrir os custos de produção, apresentando os custos um aumento estimado de 45% entre as safras 2003/04 e 2007/08 em razão, principalmente, do aumento do preço dos combustíveis, fertilizantes e mão de obra, causando problemas de fluxo de caixa e solvência. Esse aumento tem impactado a estrutura, a *performance* e o crescimento da indústria. O estudo também indicou um retorno decrescente de escala e ineficiência na alocação dos recursos.

Tendo em vista o aumento dos custos de produção, a eficiência produtiva será um determinante fundamental para a indústria dada as tecnologias existentes. Apesar de as inovações tecnológicas serem dinâmicas, há necessidade de se quantificar a eficiência e os custos de produção da cana (OLIVEIRA et al., 2012). Desse modo, a próxima seção discute o método de análise de eficiência, pois, conforme King et al. (2010), a aplicação de ferramentas

analíticas quantitativas fornece oportunidade para a inovação em todo o setor do agronegócio através da identificação de meios que melhorem a produção.

2.4 Eficiência e análise envoltória de dados (DEA)

A eficiência pode ser definida como a razão entre a produção observada e a produção potencial máxima alcançável de acordo com os recursos disponíveis (PACHIEL, 2009). Para melhorar a eficiência pode-se:

(1) aumentar as saídas (2) diminuir os fatores de produção (3) se tanto as saídas e entradas aumentarem, a taxa de aumento das saídas deve ser maior que a taxa de aumento dos insumos (4) se ambas, as saídas e entradas, diminuïrem a taxa de diminuição das saídas deve ser menor que a dos insumos. Outra maneira de alcançar uma maior eficiência é a introdução de mudanças tecnológicas ou reengenharia de processos de serviços que por sua vez pode reduzir insumos ou aumentar a capacidade de produzir mais saídas (OZCAN, 2008, p. 16, tradução nossa).

A mensuração das medidas de eficiência limita as regiões (fronteiras) de máxima produção ou de mínimo custo. Sob esse aspecto, têm-se as curvas de produção, que representam a base para a análise de eficiência e definem uma relação entre recursos e produtos com base nas seguintes pressuposições: I) há retornos crescentes de escala se acréscimos nos insumos implicam em um aumento mais que proporcional na quantidade de produtos obtidos; II) existe retornos constantes de escala quando acréscimos no consumo de recursos resultam em aumentos proporcionais na quantidade de produtos finais; III) há retornos decrescentes de escala quando acréscimos no consumo de recursos acarretam aumentos menos que proporcionais na geração de produtos (KASSAI, 2002).

A eficiência relativa é definida como a razão entre o total ponderado das saídas pelo total ponderado das entradas e consiste na eficiência de uma *Decision Making Unit* (DMU), ou, como conhecida, unidade de tomada de decisão, comparada com outra DMU dentro de determinado grupo, sendo a DMU uma entidade que utiliza recursos para obter produtos (ADLER; FRIEDMAN; SINUANY-STERN, 2002). A eficiência relativa pode ser de três tipos: técnica, alocativa e econômica (FARRELL, 1957).

A eficiência técnica é a habilidade de uma DMU obter um *output* máximo para um dado conjunto de *inputs* (orientação para produção/saída), ou as quantidades mínimas viáveis de insumos para a produção de um determinado nível de produção (orientação entrada/*inputs*),

ou seja, a ineficiência técnica revela o fracasso de alcançar o mais alto nível de saída com base nos insumos utilizados e na tecnologia disponível (FARREL, 1957).

A eficiência alocativa refere-se à capacidade de uma DMU em utilizar os insumos em proporções ideais que minimizam os custos de produção dados os respectivos preços dos insumos. Ineficiência alocativa surge quando insumos são utilizados em proporções que não minimizam os custos de produção de um determinado nível de produção (FARREL, 1957).

A eficiência econômica é o produto da eficiência técnica e da alocativa. Assim, a DMU é economicamente eficiente se for eficiente em ambas. Dessa forma, a eficiência econômica é calculada como a razão entre os custos mínimos possíveis e os custos reais observados para uma DMU (FARREL, 1957).

A teoria econômica procura explicar as relações de produção por funções de produção, de custos, de lucro, entre outras. As medidas de eficiência proposta por Farrell (1957) assumem uma função de produção conhecida para a DMU totalmente eficiente, e a eficiência relativa é medida a partir de dados da amostra disponível.

A eficiência relativa pode ser estimada pela abordagem paramétrica da fronteira de produção (função delimitadora) ou pela abordagem não paramétrica. A abordagem paramétrica assume uma relação funcional entre saídas e entradas, utilizando técnicas estatísticas (Mínimos Quadrados Ordinários) para estimar os parâmetros da função, permitindo, assim, o teste de hipóteses. A desvantagem é que ela impõe pressupostos específicos tanto na forma funcional da fronteira quanto na distribuição do termo de erro (COELLI, 1995).

A abordagem não paramétrica, Análise Envoltória de Dados (DEA), utiliza métodos de programação linear para construir uma fronteira dos dados, não necessitando de quaisquer hipóteses sobre a forma funcional ou tipo de distribuição (ALKHATHLAN; MALIK, 2010). A programação linear é utilizada para maximizar os resultados atendendo as restrições com relação aos recursos e ao processo produtivo (KASSAI, 2002).

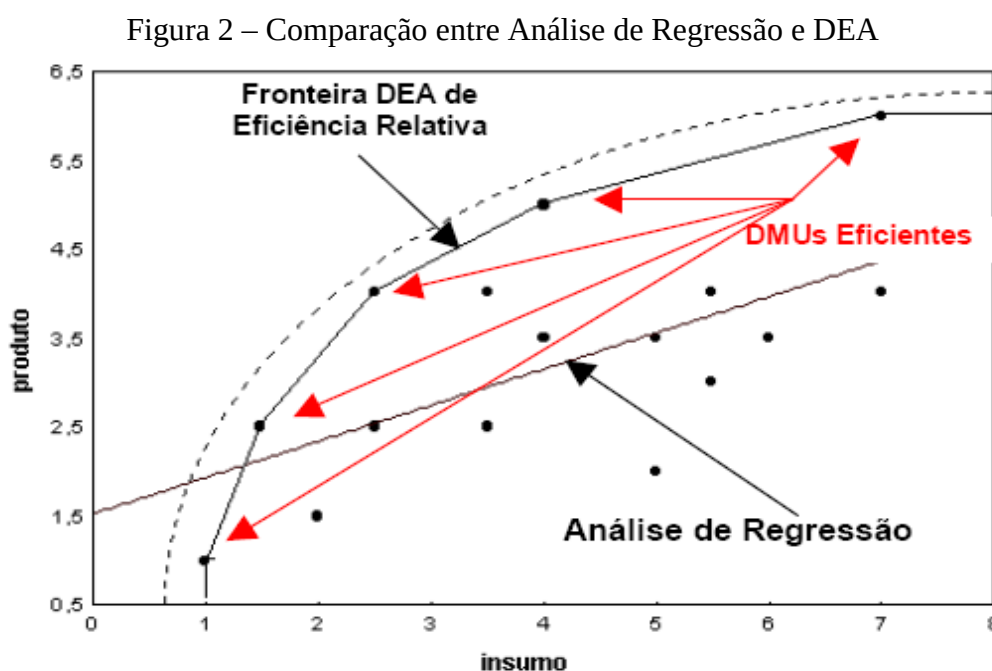
O pressuposto é que a amostra seja homogênea (as unidades em análise sejam comparáveis), pertença ao mesmo ramo de atividade (mesmas condições), e os fatores (insumos e produtos) devem ser os mesmos para cada unidade, diferenciando apenas na quantidade (KASSAI, 2002).

Algumas limitações do método são: a) por ser um método determinístico, problemas com erros de medição dos dados podem comprometer a análise; b) a técnica estima bem o desempenho relativo, porém apresenta dificuldades com o desempenho absoluto; c) a eficiência refere-se ao conjunto que se está analisando. Assim, a inclusão ou exclusão de uma

ou mais unidades altera os resultados; d) por ser determinística e não estocástica, é sensível a *outliers*; e) o número de unidades da análise deve ser pelo menos duas vezes maior que o número de insumos e produtos considerados (COELLI, 1995; DHUNGANA; NUTHALL; NARTEA, 2004).

As vantagens de se estimar uma função de produção ao invés de uma média (Mínimos Quadrados Ordinários) são: (I) uma estimativa de uma função média irá fornecer uma imagem da forma de tecnologia de uma firma média, enquanto a estimação de uma fronteira de produção será influenciada mais fortemente pelas empresas com melhor desempenho, refletindo a tecnologia que estão usando; e (II) a fronteira de produção representa as melhores práticas da tecnologia com as quais a eficiência das empresas do setor pode ser comparada (COELLI, 1995).

Nesse sentido, conforme Kassai (2002), a Análise de Regressão resulta em uma função que minimiza a soma dos erros quadrados, apresentando um comportamento médio que não representa necessariamente o desempenho de nenhuma das unidades analisadas, o que pode ser verificado pela Análise Envoltória de Dados (Figura 2).



Fonte: Kassai (2002, p. 80).

O resultado da DEA é a determinação de hiperplanos que definem uma superfície de envelope ou fronteira de Pareto. Conforme Gomes, Soares de Melo e Biondi Neto (2003, p. 10) “uma unidade é Pareto eficiente se, e somente se, ela não consegue melhorar alguma de suas características sem piorar as demais”. A DMU que se encontra na superfície do envelope

é considerada eficiente, enquanto aquelas que não estão na fronteira são consideradas ineficientes, conforme apresentado na Figura 2 (ADLER; FRIEDMAN; SINUANY-STERN, 2002).

A escolha entre o método paramétrico e o não paramétrico depende dos objetivos da pesquisa e dos dados disponíveis, uma vez que há evidência na agricultura de que os *rankings* ordinais de eficiência das duas abordagens parecem ser bastante similares (DHUNGANA; NUTHALL; NARTEA, 2004).

Considerando uma fronteira de produção de determinado setor, as empresas podem ser perfeitamente eficientes ou não, se atuam abaixo desta fronteira. Vale ressaltar a diferença entre eficiência e produtividade as quais, em alguns casos, são usadas como sinônimas. A produtividade pode ser alcançada de duas formas: melhorando a tecnologia através, por exemplo, da invenção de novos materiais ou implementando novos procedimentos de maneira a utilizar a tecnologia existente mais eficiente (COELLI, 1995).

De acordo com o autor acima, a melhoria da produtividade pode ser alcançada pelo avanço tecnológico ou pela melhoria da eficiência. A produtividade é a razão entre as saídas (produtos) e as entradas (recursos), e a eficiência é relativa, sendo medida por comparação da proporção real de saídas e entradas com a proporção ótima das saídas e entradas (COELLI, 1995).

A DEA tem como objetivo analisar comparativamente unidades no que se refere ao seu desempenho operacional, fornecendo uma medida para avaliar a eficiência relativa das unidades de tomada de decisão, ou seja, mede as diferenças de desempenho, evidenciando o quanto uma unidade é menos eficiente que outra. Cada DMU converte múltiplas entradas (*inputs*) em múltiplas saídas (*outputs*) e apresenta o indicador de eficiência entre 0 e 1, ou seja, de 0% a 100%, sendo o valor 1 considerado efetivamente eficiente (ALMEIDA; MACEDO, 2010).

De acordo com Gomes, Soares de Melo e Biondi Neto (2003, p. 11) a DEA permite:

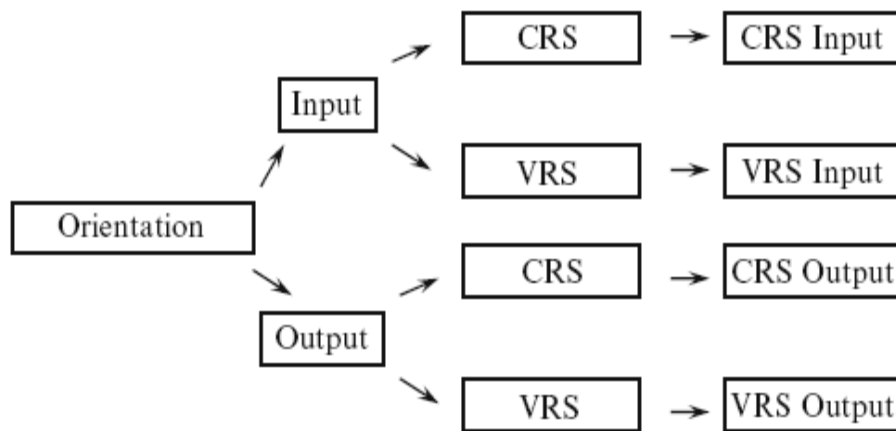
- Identificar as DMUs eficientes, localizar a ineficiência e estimar uma função de produção linear por partes, fornecendo o *benchmarking* para as ineficientes;
- Determinar a eficiência relativa das DMUs que compõem o grupo;
- Subsidiar estratégias de produção que maximizem a eficiência das DMUs e corrigir as ineficientes;
- A tomada de decisão gerencial;

- Considerar a possibilidade de os *outliers* serem *benchmarking* e não desvio em relação à média.

A DEA teve início com Charnes, Cooper e Rhodes (1978), os quais generalizaram e desenvolveram a ideia de Farrell (1957) sobre estimar a relação da eficiência técnica da fronteira de produção que, posteriormente, foi expandida por outros autores (ADLER; FRIEDMAN; SINUANY-STERN, 2002).

A DEA apresenta dois modelos clássicos (Figura 3). Charnes, Cooper e Rhodes (1978) propuseram um modelo que tem uma orientação de entrada e assume retornos constantes de escala (CCR ou CRS – *constant returns to scale*), permitindo uma avaliação objetiva da eficiência global e identificando as fontes e estimativas das ineficiências verificadas. Banker, Charnes e Cooper (1984) consideram conjuntos alternativos de premissas e propõem um retorno variável de escala do modelo (BCC ou VRS – *variable returns to scale*), distinguindo entre ineficiências de técnicas e de escalas (OZCAN, 2008).

Figura 3 – Classificação dos modelos básicos DEA



Fonte: Ozcan (2008, p. 24).

O modelo de retorno constante pode ser orientado a *inputs* ou *outputs* e avalia a eficiência total, identifica as DMUs eficientes e ineficientes, determinando a que distância da fronteira de eficiência estão as unidades ineficientes. As fórmulas dos modelos são apresentadas a seguir.

A fórmula do modelo CCR orientado a insumo, conforme Kassai (2002, p. 74), é:

$$\text{Maximizar } h_k = \sum_{r=1}^m u_r y_{rk},$$

Sujeito a

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq 0$$

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} = 1$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

Onde: y: produtos; x: insumos; u, v: pesos; r = 1,...,m; i = 1,...,n; j = 1,...,N.

Na orientação para *inputs*, o objetivo é minimizar a utilização de insumos (recursos), visando manter a produção no mesmo nível, tendo como restrição o resultado da empresa que é a diferença entre o somatório das quantidades produzidas multiplicadas pelos pesos dos produtos e o somatório da multiplicação dos insumos consumidos limitado a zero. A segunda restrição é o somatório dos insumos consumidos pelos pesos específicos limitados a um. Assim a empresa eficiente h_k será igual a 1 e a que não for eficiente terá um valor menor que um (KASSAI, 2002).

Quanto à orientação para produto, de acordo com Kassai (2002, p. 75), tem-se:

$$\text{Minimizar } h_k = \sum_{i=1}^n v_i x_{ik},$$

Sujeito a

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq 0$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rk} = 1$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

Onde: y: produtos; x: insumos; u, v: pesos; r = 1,...,m; i = 1,...,n; j = 1,...,N.

A orientação para *outputs*, por sua vez, procura maximizar a saída, mantendo o mesmo nível de *inputs*. O modelo de retorno variável de escala permite a projeção de cada DMU ineficiente sobre a superfície de fronteira determinada pelas DMUs eficientes e também apresenta orientação para *inputs* e *outputs*, conforme formulação matemática apresentada a seguir (KASSAI, 2002, p. 76).

Orientação para insumo:

$$\text{Maximizar } \sum_{r=1}^m u_r y_{rk} - u_k$$

Sujeito a

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} - u_k \leq 0$$

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} = 1$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

Onde: y: produtos; x: insumos; u, v: pesos; r = 1,...,m; i = 1,...,n; j = 1,...,N.

Orientação para produto:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^n v_i x_{ki} + v_k$$

Sujeito a

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{jr} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ji} - v_k \leq 0$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rk} = 1$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

Onde: y: produtos; x: insumos; u, v: pesos; r = 1,...,m; i = 1,...,n; j = 1,...,N.

A possibilidade de retornos de escala variável permite que a produtividade máxima varie em função da escala de produção. A Análise Envoltória de Dados apresenta o indicador de eficiência entre 0 e 1, ou seja, de 0% a 100%, sendo o valor 1 considerado efetivamente eficiente. Assim, cada unidade irá escolher pesos, de modo a maximizar a própria eficiência, dado as restrições (ADLER; FRIEDMAN; SINUANY-STERN, 2002).

Após a apresentação teórica da DEA, tem-se um exemplo simples (apenas um *input* e um *output*) para explicar a técnica. Supondo-se que esteja sendo avaliadas seis empresas (DMUs) de um ramo de atividade qualquer, consideremos como *input* os custos com matéria

prima e, como *output*, a receita, conforme dados do Quadro 2. Esse quadro também apresenta os resultados de eficiência do modelo CCR, que pressupõe um retorno constante de escala, com orientação a *inputs*.

Quadro 2 - Dados de *output*, *input* e eficiência das empresas (DMUs)

DMU (Empresas)	Output (Receita em R\$)	Input (Matéria Prima em R\$)	Eficiência
1	3.190,00	1.450,00	1
2	1.300,00	1.080,00	0,54
3	1.980,00	900,00	1
4	3.620,00	2.350,00	0,70
5	1.042,00	680,00	0,69
6	2.900,00	2.000,00	0,65

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se perceber que as empresas 1 e 3 são eficientes (eficiência igual a 1). Portanto, estas empresas tem a melhor combinação entre receita e custos, de maneira a obter a maior receita com o menor custo, e servem de referências para as demais.

As empresas 2, 4, 5 e 6 são consideradas ineficientes (escores abaixo de 1) e podem diminuir os custos com matéria prima de maneira a se tornarem eficientes. No caso da empresa 4, a redução poderia ser de 30% (1-0.70) nos custos de matéria prima de forma a obter a mesma receita. O raciocínio é o mesmo para as demais empresas ineficientes. A seguir, são apresentados alguns estudos com a aplicação da técnica.

Inicialmente, essa técnica foi utilizada por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) como referência para possível aplicação na avaliação de programas públicos. Nesse ponto, esses autores citam a avaliação de escolas públicas norte-americanas, considerando os *outputs*: scores aritméticos; testes psicológicos de atitudes de alunos para com a comunidade; habilidade psicomotora. E os *inputs*: número de professor-hora; tempo gasto pela mãe em leituras com o filho.

A DEA tem sido utilizada em diversas áreas, como setor bancário (STAUB; SOUZA; TABAK, 2009; ALKHATHLAN; MALIK, 2010), setor financeiro (KASSAI, 2002; FERREIRA; GONÇALVES; BRAGA, 2007; NEVES JÚNIOR et al., 2012), educação (MELLO et al., 2003; LEE, 2011), setor público (MARINHO, 1998; GONÇALVES et al., 2007; FARIA; JANNUZZI; SILVA, 2008), energia (MOUSAVI-AVVAL et al., 2011; LINS et al., 2012) e esporte (HAAS, 2003; ROGGE, VAN REETH; VAN PUYENBROECK, 2013).

No âmbito do agronegócio, podem-se citar alguns trabalhos que utilizaram o método: Carmo (2012) avaliou a eficiência da avicultura familiar em Alagoas; Chauhan, Mohapatra e Pandey (2006) determinaram a eficiência dos produtores no que diz respeito ao uso de energia

na produção de arroz na Índia; Fadasi et al. (2012) avaliaram a eficiência na produção de maçã no Irã; Gomes, Mangabeira e Soares de Mello (2005) mediram a eficiência dos produtores em Holambra/SP; Hasanov e Nomman (2011) avaliaram a eficiência da agricultura conforme a escassez de recursos no Uzbequistão; Helfand e Levine (2004) avaliaram o tamanho da fazenda e os determinantes da eficiência produtiva no Centro-Oeste brasileiro; Mousavi-Avval et al. (2013) investigaram a economia de energia nas operações da produção de soja no Irã; Shen, Shen e Xu (2013) analisaram a eficiência da produção pesqueira na China; Watkins et al. (2013) verificaram a eficiência técnica, alocativa e econômica na produção de arroz no estado americano do Arkansas; Xu e Jeffrey (1998) estimaram a eficiência produtiva na cultura do arroz na China; Rodrigues, Souza e Souza Filho (2012) calcularam os indicadores de produtividade dos produtores de leite no município de Rolim de Moura/RO na perspectiva da eficiência produtiva, técnica e de escala; Almeida e Macedo (2010) avaliaram o desempenho organizacional no agronegócio brasileiro, a partir de informações contábil-financeiras.

Em decorrência dos exemplos anteriores, nota-se que a DEA é utilizada em diversos setores e em diversos países. Atualmente, métodos quantitativos têm sido utilizados no setor sucroenergético, visando contribuir para uma maior produtividade por hectare baseada na melhoria do cultivo e dos processos existentes e não apenas em decorrência do aumento da área produzida (DIAS et al., 2011).

Assim, Msuya e Ashimogo (2007) estimaram a eficiência técnica da produção de cana-de-açúcar em três regiões da Tanzânia e descreveram os fatores que a afetaram. Os resultados demonstraram que a eficiência poderia ser aumentada em torno de 20% sem o acréscimo de novos insumos e que havia uma relação positiva e significativa entre a idade, a escolaridade e experiência do produtor no que se refere à eficiência técnica.

Especificamente, no que tange à Análise Envoltória de Dados, alguns estudos também têm sido desenvolvidos nesta cultura, conforme os exemplos a seguir. Mahadevan (2008) verificou a eficiência técnica do setor produtivo de cana-de-açúcar em 677 fazendas de Fiji, considerando o quanto de entradas pode ser proporcionalmente reduzido sem a mudança na quantidade de produtos gerados. As variáveis utilizadas como *inputs* foram: a área da fazenda, em acres; o total de horas trabalhadas; o uso do trator, em horas; a quantidade de fertilizante aplicado, em litros; a quantidade de adubos, em quilogramas; a extensão da erosão do solo e as taxas pagas, na moeda corrente do país. Já o *output* considerado foi a quantidade de cana-de-açúcar colhida, em toneladas. Como resultados, o autor constatou que, quando a área da fazenda aumenta 1%, ocorre um incremento de 0.58% na quantidade produzida de cana, e a

erosão do solo resultou em US\$ 8 milhões de perdas na produção de cana-de-açúcar e que, se as práticas agrícolas adequadas forem utilizadas na conservação do solo, a quantidade total produzida da cana pode aumentar em 30%.

Em relação ao Brasil, Brunozi Júnior et al. (2012) procuraram determinar o grau de eficiência técnica e produtiva das usinas de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo. Os autores analisaram 17 usinas e utilizaram três *inputs* (estoques, imobilizado e salários) e um *output* (faturamento bruto). Os resultados evidenciam que quatro empresas foram eficientes, mas duas apresentaram problemas de escala; quanto às ineficientes, quatro têm problemas de escala, operando abaixo da escala ótima de produção e sete são ineficientes tecnicamente, desperdiçando insumos produtivos.

No mesmo sentido, Pachieli (2009) analisa a eficiência de dezesseis usinas beneficiadoras de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo na safra 2006/2007. Na Análise Envoltória de Dados, o autor considerou como insumos os estoques, os salários e o imobilizado, e como produto, a receita de vendas. Nesse trabalho, concluiu-se que seis usinas revelaram-se eficientes tecnicamente, enquanto as restantes foram ineficientes.

Com o objetivo de avaliar o impacto do tamanho e da localização na eficiência operacional de usinas de cana-de-açúcar na produção de açúcar e etanol no Brasil, Carlucci (2012) utilizou dados referentes à moagem e produção de açúcar e de etanol das usinas listadas no anuário da cana-de-açúcar da safra 2008/2009. Para tanto, o autor utilizou uma variável de *input*, a quantidade de cana-de-açúcar moída, e duas de *outputs*, a quantidade produzida de açúcar e de etanol. Concluiu-se que a eficiência operacional das usinas depende da variável tamanho e da variável localização.

A eficiência econômica da produção de cana-de-açúcar dos produtores independentes do Estado do Paraná foi verificada por Melo (2010). Para tanto, foram definidas quatro variáveis como *inputs* (área plantada com cana-de-açúcar em hectares, custo anual equivalente com operações mecanizadas (R\$), custo anual equivalente com operações manuais (R\$), custo anual equivalente com insumos (R\$)) e um *output*, o valor anual equivalente líquido da produção (R\$) aplicadas ao modelo DEA. Os resultados asseveram que, das 59 unidades pesquisadas, apenas 13,56% apresentaram eficiência máxima.

Para análise da eficiência econômica nas regionais agrícolas das lavouras de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, foram utilizadas variáveis relacionadas à área plantada, custo de produção, preços de arrendamento de terras e o valor da produção nos anos de 2006 e 2007. Quando analisadas individualmente, a regional mais eficiente foi a de Dracena, seguida da de General Salgado. Quando considerado o recorte em regiões tradicionais e novas, as

tradicionais se mostraram mais homogêneas, e as novas, heterogêneas, com DMUs distantes da fronteira de eficiência (TORQUATO; MARTINS; RAMOS, 2009).

Outra constatação observada acerca da Análise Envoltória de Dados relata a utilização em fazendas produtoras de cana-de-açúcar e, conforme Oliveira et al. (2014), eles buscaram analisar a eficiência de dezessete fazendas no nordeste de Minas Gerais. Os *inputs* utilizados foram matéria-prima (muda de cana, adubo, fertilizante e corretivo, inseticida e herbicida), aluguel do terreno e recursos humanos (incluindo corte, carregamento e transporte da cana). O *output* considerado foi a receita da cana. Das fazendas analisadas, sete foram consideradas eficientes e, em relação a todos os fatores de produção utilizados como *input* é possível implementar reduções em seus gastos.

Além da eficiência produtiva, outras pesquisas tem procurado identificar a eficiência das usinas com base em outros fatores. Assim, a eficiência das sessenta maiores usinas e destilarias do ano de 2005 foram analisadas, considerando os índices financeiros. No caso, o *input* foi o endividamento (END), pois quanto menor a entrada, mais eficiente a empresa. Os *outputs* foram o capital circulante líquido, o giro do ativo, o lucro líquido, a receita líquida, a margem operacional, o retorno sobre o patrimônio líquido e o retorno sobre o ativo. Os resultados demonstraram que algumas usinas deveriam aumentar a receita líquida em 22,38%, e seu giro de ativos, em 88,52% (SIQUEIRA, 2007).

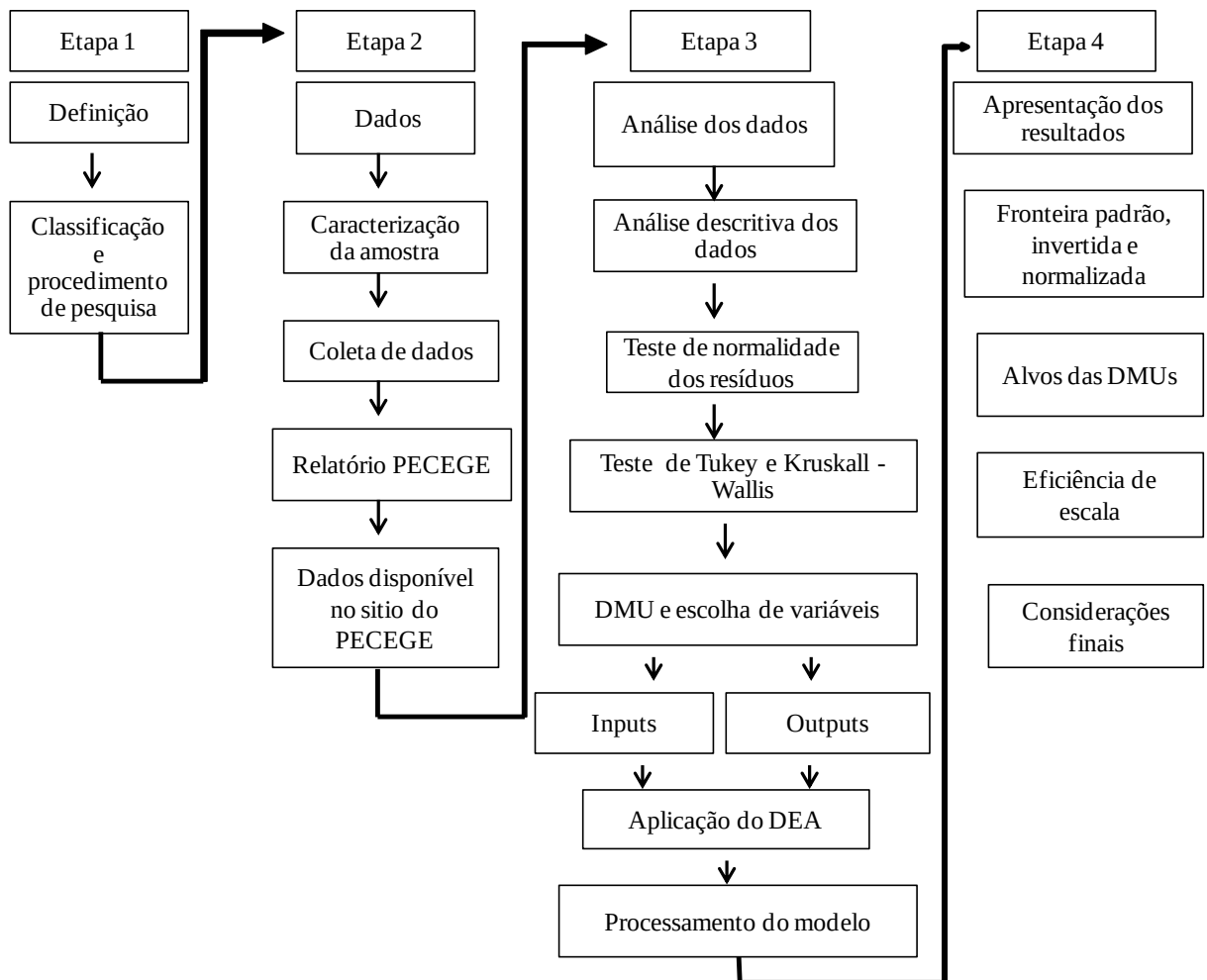
Aspectos sociais no segmento de usinas de cana-de-açúcar também têm sido avaliados. Nesse sentido, a relação entre a capacidade de investimento e benefícios sociais foi analisada em dezenove usinas, sendo a entrada à receita líquida e as saídas os indicadores sociais internos, indicadores sociais externos e investimentos no meio ambiente. Os resultados do estudo mostram que a Agrovale (principal *benchmark*, ou seja, empresa de melhor desempenho) apresenta o melhor, e a São José Estiva, o menor desempenho socioambiental. Além disso, observou-se uma relação entre desempenho socioambiental e tamanho (medido pela receita) com as maiores empresas tendo desempenho melhores (MACEDO; CIPOLA; FERREIRA, 2010).

Conforme Gomes, Mangabeira e Soares de Melo (2005), uma das principais razões para utilização do modelo no agronegócio é informar ao agricultor quais são as fontes de ineficiências e o que deve ser feito para a busca da eficiência.

3 METODOLOGIA

Esta seção apresenta os aspectos metodológicos da pesquisa, conforme sintetizado na Figura 4, sendo abordadas as definições do estudo (Etapa 1), a determinação dos dados (Etapa 2), análise dos dados (Etapa 3) e apresentação dos resultados (Etapa 4).

Figura 4 – Etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1 Classificação e procedimentos da pesquisa

O estudo se caracterizou como descritivo em relação ao objetivo. Acerca do tipo de pesquisa descritivo, Andrade (2007, p. 114) argumenta que “os fatos são observados, registrados, analisados, classificados e interpretados, sem que o pesquisador interfira neles”. Para isso, utilizaram-se os custos de produção das regiões produtoras de cana-de-açúcar para descrever a eficiência alcançada de cada uma das regiões.

A pesquisa também pode ser classificada como aplicada uma vez que procura gerar conhecimentos para a resolução de problemas específicos (VERGARA, 2000). Nesse caso, a questão prática que se aponta é a possibilidade de redução dos custos de produção, considerando-se a quantidade produzida pelas regiões produtoras de cana.

Quanto aos procedimentos técnicos, empregou-se a pesquisa bibliográfica e a documental. A pesquisa bibliográfica “abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, etc [...]” (MARCONI; LAKATOS, 2010, p. 166). Assim, foram pesquisados artigos relacionados com a produção da cana-de-açúcar e seus custos, além de terem sido utilizados métodos de análise de eficiência.

A pesquisa documental, de acordo com Gil (2007), refere-se a materiais que não receberam um tratamento analítico ou que, apesar de já terem sido processados, podem receber outras interpretações. Neste estudo, foi realizada consulta a documentos e registros que informam os valores dos custos de produção da cana-de-açúcar por região produtora, sendo a fonte de dados secundária. Para Marconi e Lakatos (2010) os dados secundários são aqueles que reúnem dados coletados para outro fim e estão à disposição do pesquisador por boletins, livros, dentre outros, e, muitas vezes, são suficientes para elucidar o problema de pesquisa.

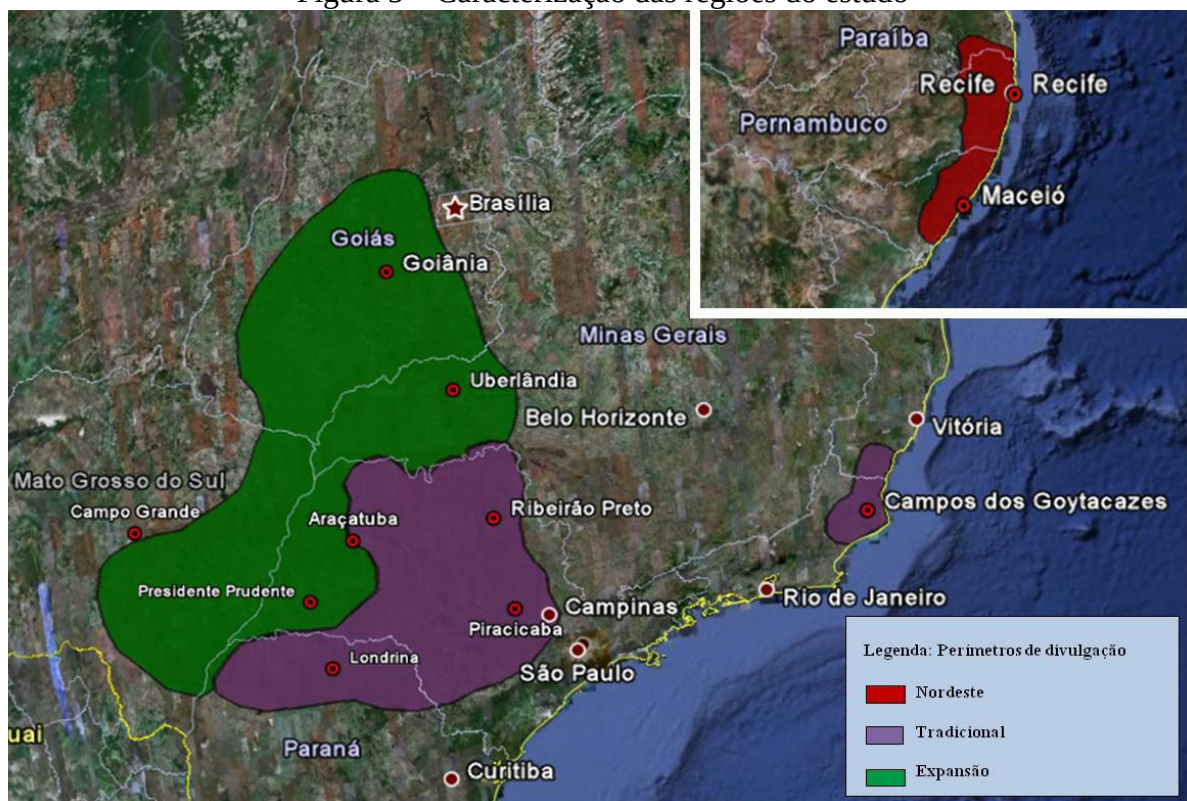
Em relação à abordagem, a pesquisa se classificou como quantitativa. Segundo Richardson (2011), a metodologia com análise de evidências quantitativas emprega a estatística para coleta e tratamento dos dados, procurando evitar distorções de análises e interpretações. Neste estudo, as variáveis levantadas são do tipo quantitativo e foi usada a técnica estatística DEA para classificar e avaliar a eficiência técnica e de escala das regiões Nordeste, Centro-Sul tradicional e Centro-Sul expansão com base nos custos de produção da cultura.

3.2 Caracterização da amostra e coleta dos dados

Conforme apresentado anteriormente, a plantação de cana-de-açúcar, no Brasil, é feita principalmente nas regiões Centro-Sul tradicional (São Paulo - exceto oeste, Paraná e Rio de Janeiro), Nordeste (Estados de Pernambuco e Alagoas); e Centro-Sul expansão (Mato Grosso do Sul, Minas Gerais - Triângulo Mineiro, Goiás e o oeste paulista), conforme demonstrado na Figura 5. Por esse motivo, essas três regiões foram selecionadas para o estudo, tendo sido o

processo de amostragem o não probabilístico, considerando que as regiões foram escolhidas pela disponibilidade e acessibilidade dos dados.

Figura 5 – Caracterização das regiões do estudo



Fonte: Marques (2009, p. 21).

Os dados foram extraídos, da base eletrônica do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo (CEPEA – ESALQ/USP) entre as safras 2007/2008 a 2011/2012. O período das safras se deve à disponibilidade dos dados. A utilização dos relatórios do CEPEA ocorreu porque, a partir da tabulação dos dados, esses eram os elementos mais recentes dos custos de produção disponíveis referentes à cultura da cana-de-açúcar nas regiões, e o órgão é referência no estudo de custos de produção da cultura.

A coleta de dados ocorreu no período de fevereiro de 2014 a abril de 2014, no sítio do CEPEA, tendo sido considerado os seguintes custos: mão de obra, mecanização, insumos, arrendamento, despesas administrativas, remuneração da terra e remuneração do capital.

Para a coleta, acessou-se o Portal (<http://pecege.dyndns.org/>) de Informações Sucroenergéticas do PECEGE (Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas) sendo feito, com antecedência, o cadastro no sítio eletrônico. Posteriormente, foi

realizado o *download* dos relatórios de custos das safras: 2007/2008, 2008/2009, 2009/2010, 2010/2011 e 2011/2012. Com relação à safra 2012/2013, o relatório não estava disponível para *download*.

Para determinação dos custos, o CEPEA realizou visita a oito Estados que concentram 86% da produção do setor sucroenergético. Na região Nordeste, foram visitados os Estados de Alagoas e Pernambuco, enquanto, na região Centro-Sul, foram Minas Gerais, Goiás, Rio de Janeiro, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná (MARQUES, 2009).

Os dados de custos calculados pelo CEPEA, nas safras 2007/2008 a 2011/2012, considerou cada safra iniciada em abril de cada ano e concluída em agosto do próximo ano, após a consolidação dos dados. O CEPEA utilizou a metodologia delineada por Matsunaga et al. (1976) para determinar os custos de produção cujas definições se baseiam nos custos operacionais de produção.

Assim, os custos foram classificados pelo CEPEA em custo operacional efetivo (COE), custo operacional total (COT) e custo total (CT). Diante dessa classificação, os custos podem ser sintetizados conforme os Quadros 3, 4 e 5.

O COE refere-se aos custos diretos representados pelo arrendamento, despesas administrativas, financiamento de capital de giro, mão de obra, insumos e maquinário utilizado nos tratos culturais e colheita (Quadro 3). Destaca-se que os valores referentes a operadores e diesel/lubrificantes são alocados, respectivamente, em mão de obra e insumos.

Quadro 3 – Detalhamento dos componentes do custo operacional efetivo (COE)

Custo operacional efetivo – COE
(+) Canavial pleno (Tratos culturais e Colheita)
Maquinário
(-) Depreciações e capital
Mão de obra
Insumos
(+) Arrendamentos
(+) Despesas Administrativas
(+) Capital de giro financiado

Fonte: Adaptado de PECEGE (2012).

O COT é composto pelo COE acrescido dos custos indiretos, basicamente, a remuneração do proprietário, além das depreciações da estrutura de irrigação, das benfeitorias, das máquinas e da formação do canavial, que inclui as etapas de preparo do solo, plantio e tratos culturais da plantação de cana-de-açúcar. As depreciações das máquinas utilizadas na formação do canavial não são consideradas porque já estão incluídas no

maquinário utilizado durante todo o processo produtivo, ou seja, do preparo do solo à colheita da cana-de-açúcar (Quadro 4).

Quadro 4 – Detalhamento dos componentes do custo operacional total (COT)

Custo operacional total – COT
(+) COE
(+) Remuneração do proprietário
(+) Depreciações
Formação do canavial (Preparo de solo, Plantio e Tratos Planta)
Maquinário
(-) Depreciações e capital
Mão de obra
Insumos
Maquinário (Ciclo todo: do preparo a colheita)
Benfeitorias
Estrutura de irrigação

Fonte: Adaptado de PECEGE (2012).

O CT apresentado no Quadro 5 contempla o COT, que já engloba o COE e mais a remuneração da terra e do capital.

Quadro 5 – Detalhamento dos componentes do custo total (CT)

Custo total – CT
(+) COT
(+) Remuneração da terra
(+) Remuneração do capital
Formação do canavial (Preparo de solo + Plantio + Tratos Planta)
(-) Capital de maquinários
Maquinário (Ciclo todo: do preparo à colheita)
Benfeitorias
Estrutura de irrigação

Fonte: Adaptado de PECEGE (2012).

Portanto, as classificações apresentadas do custo de produção da cana-de-açúcar incluem a combinação de insumos, terra, mão de obra, máquinas e implementos utilizados ao longo do processo produtivo.

3.3 Variáveis e análise estatística dos dados

Para a análise descritiva dos dados, utilizou-se o *software Action*[®] (ESTATCAMP, 2014), com a finalidade de avaliar os valores máximos, mínimos, médias, desvio padrão, coeficiente de variação e testes de comparações.

Visando complementar a análise com intenção de identificar quais custos sofreram variações estatisticamente significativas entre as regiões, foi realizada a análise de variância

(ANOVA). A principal pressuposição da ANOVA é que os resíduos tenham distribuição normal. Assim, para verificar a normalidade dos resíduos, foi realizado o teste de *Anderson-Darling*, sendo considerado estatisticamente significativo o p-valor abaixo do valor nominal de significância de 5%. Em seguida, para as variáveis que apresentaram distribuição normal, foi utilizado o teste *Tukey* que, segundo Arango (2001), é empregado para determinar se há diferenças significantes entre as médias dos grupos analisados no teste da análise de variância (ANOVA), tomadas duas a duas.

Para as variáveis que não tiveram distribuição normal, aplicou-se o teste de *Kruskal-Wallis* ao nível nominal de significância de 5%, com a finalidade de identificar se ocorrem variações entre as regiões, uma vez que o teste é utilizado na comparação de três ou mais amostras independentes (SOKAL; ROHLF, 1995). Essa análise mostra, para cada variável, quais as regiões que apresentaram variações significativas.

Para análise da eficiência técnica e de escala, foi utilizado a Análise Envoltória de Dados (DEA) ou *Data Envelopment Analysis*, por intermédio do *software* SIAD - Sistema Integrado de Apoio à Decisão (ÂNGULO-MEZA et al., 2005), verificando assim a eficiência das regiões/safras produtoras de cana-de-açúcar. O método se justifica uma vez que cria uma função fronteira de eficiência, demonstrando quais as unidades são eficientes e quais não são. Além disso, é uma medida de desempenho capaz de comparar a eficiência de várias unidades operacionais mediante o uso de múltiplas entradas para a produção de múltiplas saídas (ALMEIDA; MACEDO, 2010).

A utilização da DEA possibilita o planejamento de metas, maximizando a eficiência de cada DMU, e, ainda, permite sinalizar problemas existentes, fornecendo informações úteis para o processo de tomada de decisão. Nesse sentido, apoia a decisão dos produtores, ao indicar o nível de eficiência, as fontes de ineficiência e as unidades que podem servir de referência (MELO, 2010).

Para aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA), foi fundamental definir as unidades a serem avaliadas (DMUs), as variáveis de *inputs* e *outputs* e o modelo a ser utilizado.

Neste trabalho, cada região produtora de cana-de-açúcar e a sua respectiva safra foram consideradas como sendo uma DMU, adotando-se, portanto, a terminologia empregada no modelo, ou seja, as DMUs são as regiões produtoras nas respectivas safras (Quadro 6). Com isso, é possível identificar a região e a respectiva safra mais eficiente.

Essas DMUs atendem aos pressupostos de homogeneidade citados por Dyson et al. (2001), pois referem-se a atividades similares, produzindo produtos comparáveis de modo que

um conjunto de saídas são definidas em um mesmo mercado, com as mesmas características mercadológicas.

Contudo, em virtude da disponibilidade de dados, a quantidade de DMUs não é alta e, segundo Senra et al. (2007), nesse caso, o uso de um grande número de variáveis não tem sentido no uso dos modelos básicos (CCR e BCC) DEA.

Quadro 6 – Classificação das DMUs

DMU	REGIÃO - SAFRA	ESTADOS
DMU 1	Expansão – 2007/2008	Mato Grosso do Sul, Minas Gerais - Triângulo Mineiro, Goiás e o oeste paulista
DMU 2	Expansão – 2008/2009	Mato Grosso do Sul, Minas Gerais - Triângulo Mineiro, Goiás e o oeste paulista
DMU 3	Expansão – 2009/2010	Mato Grosso do Sul, Minas Gerais - Triângulo Mineiro, Goiás e o oeste paulista
DMU 4	Expansão – 2010/2011	Mato Grosso do Sul, Minas Gerais - Triângulo Mineiro, Goiás e o oeste paulista
DMU 5	Expansão – 2011/2012	Mato Grosso do Sul, Minas Gerais - Triângulo Mineiro, Goiás e o oeste paulista
DMU 6	Tradicional 2007/2008	São Paulo - exceto oeste, Paraná e Rio de Janeiro
DMU 7	Tradicional 2008/2009	São Paulo - exceto oeste, Paraná e Rio de Janeiro
DMU 7	Tradicional 2009/2010	São Paulo - exceto oeste, Paraná e Rio de Janeiro
DMU 9	Tradicional 2010/2011	São Paulo - exceto oeste, Paraná e Rio de Janeiro
DMU 10	Tradicional 2011/2012	São Paulo - exceto oeste, Paraná e Rio de Janeiro
DMU 11	Nordeste 2007/2008	Pernambuco e Alagoas
DMU 12	Nordeste 2008/2009	Pernambuco e Alagoas
DMU 13	Nordeste 2009/2010	Pernambuco e Alagoas
DMU 14	Nordeste 2010/2011	Pernambuco e Alagoas
DMU 15	Nordeste 2011/2012	Pernambuco e Alagoas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, à medida que o número de variáveis aumenta, cresce também a chance de mais unidades alcançarem o desempenho máximo, uma vez que se tornam muito especializadas para serem comparadas a outras, e o método torna-se mais impreciso conforme apontam Dyson et al. (2001). Ainda de acordo com os autores, os cálculos de média, desvio padrão e ANOVA são cruciais para verificar se cada variável de *input* e *output* apresentam deficiência em relação aos resultados.

Para contornar o problema, Senra et al. (2007) sugerem restringir o número de variáveis utilizadas no modelo. Segundo Dyson et al. (2001), para determinar a quantidade de variáveis, o número de DMUs (n) deve estar relacionado com o número de insumos (m) e de produto (s), podendo ser representado por no mínimo $n = 2m \times s$, onde $m \times s$ é o produto do número de

inputs e do número de *outputs*. A relação do número de DMUs (Região/Safra), insumos (*inputs*) e produtos (*outputs*) é satisfeita, pois se têm $n = 15$, $m = 7$ e $s = 1$. Desta forma, para atender esta condição nem todas as variáveis de custos classificadas no COE, COT e CT foram utilizadas.

No Quadro 7, estão relacionadas as variáveis que compõem o modelo DEA desta pesquisa, conforme a classificação e a definição. Foram utilizadas oito variáveis, classificando-se uma como *output*, e as demais, como *inputs*. A justificativa para escolha da variável de *output* refere-se ao volume de produção da cana-de-açúcar, enquanto as variáveis de *inputs* se dá em razão da classificação dos custos feito pelo CEPEA e da segunda pressuposição de homogeneidade citada por Dyson et al. (2001), em que recursos similares estão disponíveis para todas as unidades e podem ser apresentados em um denominador comum como custos. Assim, a base de dados compreende os valores de cada variável em cada uma das safras nas três regiões avaliadas, ou seja, cada variável apresenta quinze valores diferentes.

Quadro 7 – Classificação das variáveis

Variáveis	Unidade	Classificação	Definição
Mecanização	(R\$/ha)	<i>Input</i>	Valor total, em reais por hectare, utilizado por região em cada safra.
Mão de obra	(R\$/ha)	<i>Input</i>	Valor total, em reais por hectare, utilizado por região em cada safra.
Insumos	(R\$/ha)	<i>Input</i>	Valor total, em reais por hectare, utilizado por região em cada safra.
Arrendamento	(R\$/ha)	<i>Input</i>	Valor total, em reais por hectare, utilizado por região em cada safra.
Despesas Administrativas	(R\$/ha)	<i>Input</i>	Valor total, em reais por hectare, utilizado por região em cada safra.
Remuneração da terra	(R\$/ha)	<i>Input</i>	Valor total, em reais por hectare, utilizado por região em cada safra.
Remuneração do capital	(R\$/ha)	<i>Input</i>	Valor total, em reais por hectare, utilizado por região em cada safra.
Quantidade cana	(t)	<i>Output</i>	Valor total, em toneladas de cana-de-açúcar, produzido por região em cada safra.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para obter as medidas de eficiência, foram assumidos, a princípio, os retornos constantes de escala do modelo CCR. Posteriormente, conforme Banker e Thrall (1992), essa medida de eficiência foi decomposta em uma medida de pura eficiência e uma eficiência de escala pelos retornos variáveis (BCC).

O modelo DEA de retorno variável de escala (BCC) considera que existem diferenças de escala de produção significativas entre a utilização de insumos por parte das DMUs e a

quantidade produzida e, portanto, a impossibilidade de estabelecer a exigência de proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* (SALGADO JÚNIOR; BONACIM; PACAGNELLA JÚNIOR, 2009).

Além disso, a competição imperfeita, as restrições financeiras e as diferenças tecnológicas levam as empresas a não operarem em um nível ótimo de escala, e o modelo BCC é o mais indicado nestes casos (BOZOGLU et al., 2006). Todavia, a utilização do modelo BCC onde não existem efeitos de escalas inerentes implica na sobreavaliação de pequenas e grandes unidades, sendo recomendado o seu uso apenas quando for possível aparecer efeitos de escala (DYSON et al., 2001).

O modelo BCC, para Banker, Charnes e Cooper (1984), permite decompor a eficiência técnica em eficiência de escala e “pura eficiência”. Assim, é necessário calcular a eficiência tanto pelo modelo CCR quanto pelo BCC para obtenção da medida de eficiência de escala, sendo esta igual à razão do modelo CCR pelo BCC.

De acordo com Melo (2010), os modelos seguem duas orientações: orientação a *inputs*, quando se deseja minimizar os recursos disponíveis, sem alteração do nível de produção; e, orientação a *outputs*, quando o objetivo é aumentar os produtos, sem alterar os recursos utilizados.

Neste estudo a orientação é para insumo porque o gestor tem maior controle sobre os fatores de produção podendo minimizar o seu uso e diminuir os custos, já que, no modelo a *outputs*, pode haver a necessidade de melhoria da tecnologia de forma a aumentar a produção o que, muitas vezes, não é possível devido aos altos custos necessários para investimento. Gong e Sickles (1992) explicam que este modelo é mais atraente porque a ineficiência é mais correlacionada com a utilização de insumos (*inputs*).

A análise da eficiência procurou descrever os resultados atingidos de cada região e os alvos a serem alcançados. “Em relação aos alvos, destaca-se uma das principais contribuições dos modelos DEA para a agricultura, qual seja, informar ao agricultor quais são as fontes de ineficiência e o que deve ser feito para a busca da eficiência” (GOMES; MANGABEIRA; SOARES DE MELLO, 2005, p. 615).

Dessa forma, a DMU eficiente apresenta valor igual ao atual para os alvos e, para a ineficiente, os valores são divergentes, indicando a magnitude e o recurso produtivo que está sendo mal empregado.

Outra análise a ser considerada é a fronteira invertida, que procura identificar qual a DMU mais eficiente já que empates de DMUs com 100% de eficiência são comuns na fronteira padrão.

Nessa perspectiva, a DMU mais eficiente é aquela que consegue ter um desempenho mais equilibrado, ou seja, deve se “especializar” naquilo em que possui excelência, gastando pouco de todos os insumos e não deve possuir um desempenho ruim nas outras tarefas (NEVES JÚNIOR et al., 2012). Dessa maneira, é possível obter um índice combinado (composta normalizada) entre a fronteira padrão e a fronteira invertida, fornecendo uma estimativa precisa da DMU mais eficiente, o que permite criar um *ranking* de eficiência.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados os resultados da pesquisa. Antes de expor o resultado acerca da eficiência técnica e de escala das regiões produtoras de cana-de-açúcar, são apresentados os resultados da análise descritiva das variáveis e da análise de variância.

4.1 Análise descritiva dos dados

A análise descritiva dos dados possibilitou conhecer o comportamento das regiões produtoras de cana para cada variável associada ao custo de produção. A região Centro-Sul tradicional foi a maior produtora de cana-de-açúcar, com média de 381.654.255 toneladas no período compreendido entre as safras 2007/2008 a 2011/2012, e a região com menor produção foi a Nordeste, com média de 62.383.564 toneladas em igual período (Tabela 4).

Verifica-se, pela Tabela 4, que a quantidade produzida de cana-de-açúcar tem uma variação maior em relação à média, principalmente, nas regiões Centro-Sul expansão e Centro-Sul tradicional, conforme os coeficientes de variação de 19,94 e 7,54, respectivamente. O valor mínimo produzido pela região Centro-Sul expansão foi de 86.602.339 toneladas, enquanto na região Centro-Sul tradicional foi de 336.683.020 toneladas. A região Nordeste apresenta a produção máxima de 64.099.738 toneladas, valor este abaixo do mínimo produzido nas demais regiões.

Para atingir essa produção de cana no período, a mecanização foi o fator que teve o maior custo, com valores médios de R\$ 1.272, 26/ha na região Centro-Sul expansão, e R\$ 1.162,63/ha, na região Centro-Sul tradicional (Tabela 4). Melo (2010, p. 57) afirma em seu trabalho que “em termos de custos, é possível verificar que são os custos com mecanização que mais oneram a produção de cana-de-açúcar no Brasil”.

Ramos (2007), analisando o futuro da ocupação na agroindústria canavieira do Brasil, enfatiza que a legislação determinou prazo para que as regiões implantassem a mecanização nas áreas com declividade de até 12%. A região Centro-Sul expansão teve legislação posterior a Centro-Sul tradicional (GONÇALVES, 2009), o que pode explicar o custo de mecanização maior nesta região, ou seja, os produtores devem ter investido mais em maquinário, elevando os seus custos, enquanto, na região tradicional, esse investimento já foi realizado em grande parte.

Em relação à região Nordeste, o maior custo médio (R\$ 823,52/ha) é referente à mão de obra e, em seguida, a mecanização (R\$ 745,3/ha) (Tabela 4). Esse fato pode ser explicado por

Marques (2009) que afirma em seu trabalho a pouca utilização de máquinas nesta região devido às características dos terrenos e solos. Kohlhepp (2010) também argumenta neste sentido ao analisar a situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil, apontando que a baixa fertilidade dos solos e topografia inadequada para a mecanização contribuem para o aumento dos custos, principalmente, da mão de obra.

Tabela 4 – Estatística descritiva das variáveis utilizadas nas safras 07/08 a 11/12

Variável	Regiões	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Coefficiente Variação
Mecanização (R\$/ha)	Expansão	986,00	1754,09	1272,26	322,19	25,32
	Nordeste	623,00	905,37	745,33	124,84	16,75
	Tradicional	922,00	1534,86	1162,63	258,51	22,23
Mão de obra (R\$/ha)	Expansão	203,32	619,00	402,51	201,47	50,05
	Nordeste	550,42	1185,88	823,52	228,82	27,79
	Tradicional	442,72	830,25	539,81	163,03	30,20
Insumos (R\$/ha)	Expansão	424,70	677,00	571,99	108,92	19,04
	Nordeste	370,76	690,00	531,32	155,75	29,31
	Tradicional	387,93	712,00	530,52	166,25	31,34
Arrendamento (R\$/ha)	Expansão	153,00	519,63	239,27	157,85	65,97
	Nordeste	56,00	163,55	109,86	50,68	46,13
	Tradicional	84,18	905,57	281,21	350,62	124,68
Despesas Administrativas (R\$/ha)	Expansão	106,31	245,50	186,26	50,11	26,90
	Nordeste	122,82	268,00	212,82	60,02	28,20
	Tradicional	153,30	376,00	288,42	92,78	32,17
Remuneração da terra (R\$/ha)	Expansão	199,00	358,04	255,44	73,80	28,89
	Nordeste	172,00	342,49	233,44	70,63	30,26
	Tradicional	294,00	775,68	478,68	221,41	46,25
Remuneração do capital (R\$/ha)	Expansão	125,00	413,04	219,36	117,69	53,65
	Nordeste	98,00	359,18	192,77	107,19	55,61
	Tradicional	181,00	419,48	279,44	100,80	36,07
Quantidade de Cana (t)	Expansão	86.602.339	148.422.166	116.721.619	23.270.823	19,94
	Nordeste	60.231.407	64.099.738	62.383.564	1.439.634	2,31
	Tradicional	336.683.020	406.839.256	381.654.255	28.758.048	7,54

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os custos com insumos e mão de obra foram os fatores que mais contribuíram, depois da mecanização, no custo de produção da cana na região Centro-Sul tradicional e expansão. Os insumos variaram entre as médias de R\$530,52/ha e R\$571,99/ha. Esses dois custos (insumos e mão de obra) foram os mais relevantes no estudo de Baiyegunhi e Arnold (2011) ao examinarem os fatores que influenciam a produção de cana-de-açúcar em larga escala na África do Sul. Os autores justificam o motivo de esses custos serem os mais elevados, no caso da mão de obra, que é devido à natureza da indústria que utiliza a mão de obra intensiva nas lavouras em detrimento da mecanização e, para o caso dos insumos, principalmente, os fertilizantes, esses custos são decorrentes do aumento do preço do óleo no período analisado.

Outro ponto importante apresentado na Tabela 4 diz respeito à terra. Nesse caso, percebe-se que os custos médios da remuneração da terra (R\$ 478,68/ha) são maiores na região Centro-Sul tradicional. Esse dado reflete o aumento de 186% no preço das terras nesta região entre o período de 2007 e 2012, conforme destacado por Xavier (2012). Além disso, para Vieira Júnior et al. (2008), o aumento no preço contribuiu para a expansão da cana-de-açúcar em outras regiões. Isso pode ser notado pelo custo com arrendamento, demonstrando que o preço médio da região Centro-Sul expansão (R\$ 239,27/ha) não apresenta tanta diferença daquele da Centro-Sul tradicional (R\$ 282,21/ha) devido ao aumento do arrendamento de terras nos estados da região Centro-Oeste e de Minas Gerais resultante da instalação de usinas naquelas áreas.

Os custos com as despesas administrativas têm comportamento mais homogêneo entre as três regiões, pois apresentam valores de desvio padrão menores, sendo R\$ 50,11/ha para a região Centro-Sul expansão, R\$ 60,02/ha, para a região Nordeste, e R\$ 92,78/ha, para a região Centro-Sul tradicional, apontando menor dispersão.

Diante desses dados, com o propósito de inferir se as diferenças são estatisticamente significativas, os resultados dos testes estatísticos são analisados na próxima seção.

4.2 Teste de normalidade, teste *Kruskal-Wallis* e teste *Tukey*

Para verificar a normalidade da distribuição dos resíduos das variáveis, foi utilizado o teste de *Anderson-Darling*, considerando um nível nominal de significância de 5% (Tabela 5). O teste indicou que as variáveis mão de obra, insumos, arrendamento e remuneração do capital não apresentaram distribuição normal ($p\text{-valor} < 0,05$), enquanto as demais tiveram distribuição normal ($p\text{-valor} > 0,05$).

Tabela 5 – Teste *Anderson-Darling* dos resíduos para as variáveis de custo de produção

Variável	<i>Anderson-Darling</i>	P-valor
Mecanização (R\$/ha)	0,3162	0,5070
Mão de obra (R\$/ha)	0,8494	0,0216
Insumos (R\$/ha)	0,7882	0,0313
Arrendamento (R\$/ha)	1,4390	0,0006
Despesas Administrativas (R\$/ha)	0,3882	0,3408
Remuneração da terra (R\$/ha)	0,3711	0,3758
Remuneração do capital (R\$/ha)	0,8791	0,0181

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para verificar se houve diferença das variáveis com relação às regiões, foi realizado o teste de *Kruskal-Wallis* para as variáveis que não apresentaram distribuição normal (Tabela 6).

Tabela 6 – Teste *Kruskal-Wallis* para variáveis que não apresentaram distribuição normal nos custos de produção da cana-de-açúcar nas regiões produtoras brasileiras

Região	Mão de obra	Insumos	Arrendamento	Remuneração do capital
Expansão - Nordeste	Sim	Não	Não	Não
Expansão - Tradicional	Não	Não	Não	Não
Nordeste - Tradicional	Não	Não	Não	Não
P-valor*	0,0484	0,8863	0,1198	0,4429

*P-valor menor que 0,05 são considerados estatisticamente significativos e indica que houve diferença na variável custo de produção analisada em relação às regiões.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre as variáveis que tiveram o teste *Kruskal-Wallis* realizado, apenas a variável mão de obra apresentou diferença significativa (p-valor = 0,0484), contudo foi verificada a diferença somente entre as regiões Centro-Sul expansão e Nordeste (Tabela 6). Para Marques (2009), na região Nordeste, a pequena escala de produção e a intensiva utilização da mão de obra nas etapas de plantio e colheita, podem ser apontados como os principais gargalos na produção de cana-de-açúcar. Assim, a mão de obra representa um custo bastante elevado nessa região, o que pode determinar a diferença. Além disso, Reetz et al. (2013) notaram que a tendência de alta nos custos de produção da região Nordeste ocorreu devido a diversos fatores, entre eles, os gastos com mão de obra.

Com relação às variáveis com distribuição normal, foi realizado o teste *Tukey* (Tabela 7) e as variáveis custo de mecanização e remuneração da terra apresentaram p-valor menor que 5%, resultando numa variação estatisticamente significativa. No entanto, a variável despesas administrativas não se apresentou estatisticamente significativa.

Tabela 7 – Teste *Tukey* para variáveis com distribuição normal nos custos de produção da cana-de-açúcar nas regiões produtoras brasileiras

Região	Mecanização	Despesas Administrativas	Remuneração da terra
Nordeste - Expansão	0,02**	0,82**	0,96**
Tradicional - Expansão	0,77**	0,09**	0,06**
Tradicional - Nordeste	0,06**	0,24**	0,04**
P-valor*	0,01	0,09	0,03

Nível de significância: 0,05; *P-valor menor que 0,05 são considerados estatisticamente significativos e indica que houve diferença na variável custo de produção analisada em relação às regiões; ** Valores abaixo de 0,05 indica que houve diferenças nas comparações das regiões duas a duas para determinada variável.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A variável custo de mecanização apresentou diferença somente quando comparadas as regiões Nordeste e Centro-Sul expansão (Tabela 7). Isso pode ser reflexo do aumento da tecnologia nos equipamentos de colheita/plantio nas lavouras da região Centro-Sul expansão em oposição a grande utilização de mão de obra no Nordeste.

A remuneração da terra apresentou diferença entre as regiões Centro-Sul tradicional e Nordeste. Uma das causas pode ser o valor elevado das terras no Estado de São Paulo, o que leva os investidores a implantar novas usinas em locais que tenham um custo de aquisição da terra mais favorável (SZMRECSÁNYI et al., 2008). Isto pode ser verificado, conforme Tabela 4, pela média da remuneração da terra que é mais elevado na região tradicional (R\$ 478,68/ha) quando comparada com as demais regiões. Marques (2009) argumenta que a região Centro-Sul expansão teve maior rentabilidade que a tradicional devido a diversos fatores, entre eles, o menor custo da terra.

Neste sentido Torquato, Ramos e Martins (2009) concluíram, de modo geral, ao utilizarem o arrendamento como uma variável de mensuração da eficiência, que as regionais que apresentavam menor custo de arrendamento também eram mais eficientes.

4.3 Análise da eficiência técnica e de escala

Os resultados da eficiência das regiões em estudo, apresentados na Tabela 8, evidenciam que a região tradicional é a mais eficiente, pois quatro das cinco DMUs foram consideradas eficientes (eficiência igual a um). Esse resultado confirma a pressuposição de que a região Centro-Sul tradicional é mais eficiente que as regiões Centro-Sul expansão e Nordeste. As razões para isto podem ser as justificativas apresentadas por Brunozi Júnior et al. (2012) que, ao analisarem a eficiência de 17 usinas do Estado de São Paulo, afirmam que a região dispõe de melhores condições de capital, gestão e instituições de pesquisa.

Esse resultado também vem de encontro ao apresentado por Torquato, Martins e Ramos (2009) que, ao fazerem o recorte das regionais paulistas produtoras de cana-de-açúcar em novas e tradicionais, identificaram as tradicionais mais próximas da fronteira de eficiência, indicando padronização das técnicas e dos resultados de produção.

Além disso, devido ao desenvolvimento econômico dessa região, alguns fatores, tais como, criação de infraestrutura de acesso a mercados consumidores, eletricidade e assistência técnica, são citados por Helfand e Levine (2004) como determinantes das diferenças de eficiência e contribuem para esse resultado.

Outra justificativa pode ser encontrada no trabalho de Carlucci (2012), que concluiu que 73% das usinas eficientes estão no Estado de São Paulo e o tamanho é um fator que influencia diretamente, pois, apesar de existirem usinas grandes, médias e pequenas eficientes, as grandes são em maior número. Para isso, o autor analisou 355 usinas listadas no anuário da cana-de-açúcar na safra 2008/2009, tendo sido utilizado como *input* a quantidade de moagem de cana, e como *outputs*, a quantidade produzida de açúcar e etanol pelas usinas.

Tabela 8 – Eficiência das regiões produtoras nas safras 2007/2008 a 2011/2012

DMU	Fronteira padrão	Fronteira invertida	Composta normalizada
DMU 1 (Expansão 2007/2008)	0,39	0,90	0,28
DMU 2 (Expansão 2008/2009)	0,48	0,74	0,42
DMU 3 (Expansão 2009/2010)	0,48	0,69	0,45
DMU 4 (Expansão 2010/2011)	0,82	0,66	0,66
DMU 5 (Expansão 2011/2012)	0,67	1,00	0,38
DMU 6 (Tradicional 2007/2008)	0,86	0,28	0,90
DMU 7 (Tradicional 2008/2009)	1,00	0,24	1,00
DMU 8 (Tradicional 2009/2010)	1,00	0,29	0,97
DMU 9 (Tradicional 2010/2011)	1,00	0,35	0,94
DMU 10 (Tradicional 2011/2012)	1,00	0,55	0,83
DMU 11 (Nordeste 2007/2008)	0,38	1,00	0,21
DMU 12 (Nordeste 2008/2009)	0,39	0,97	0,24
DMU 13 (Nordeste 2009/2010)	0,24	1,00	0,14
DMU 14 (Nordeste 2010/2011)	0,35	1,00	0,20
DMU 15 (Nordeste 2011/2012)	0,22	1,00	0,13
Média	0,62	0,71	0,52

Fonte: Elaborado pelo autor.

Visando a identificar qual a DMU mais eficiente entre as que obtiveram eficiência máxima, têm-se a fronteira invertida que considera as DMUs eficientes como ineficientes e vice-versa, atribuindo pesos as DMUs como forma de desempatar (Tabela 8). Conforme Macedo, Steffanello e Oliveira (2007, p. 65), “para uma DMU possuir alta eficiência, esta deve ter um elevado grau de pertinência em relação a fronteira otimista e baixo grau em relação a fronteira pessimista”. A partir da fronteira invertida, é possível calcular a fronteira composta normalizada que identifica a DMU 7 (Tradicional safra 2008/2009) como a mais eficiente (eficiência igual a 1). Destaca-se também uma tendência de queda de eficiência na região Centro-Sul tradicional referente às safras seguintes, sendo a região Centro-Sul expansão mais eficiente que a região Nordeste.

A região Centro-Sul expansão apresentava uma tendência de aumento de eficiência, mas na safra 2011/2012 houve uma diminuição. Uma das explicações é que a safra 2011/2012 foi marcada pela queda na produtividade da lavoura, redução no teor de açúcares totais recuperáveis e alta ociosidade da capacidade industrial instalada para processamento de cana (PECEGE, 2012).

De uma maneira geral, verifica-se que a eficiência média foi da ordem de 62%, demonstrando que, mantendo a mesma quantidade produzida, haveria a possibilidade de se reduzir o uso de insumos em aproximadamente 38% (Tabela 8). Resultado parecido com este foi o de Mahadevan (2008), que encontrou um valor médio de eficiência de 67,5% ao verificar 677 fazendas produtoras de cana em Fiji pela Análise Envoltória de Dados. O autor ainda identificou que a conservação do solo melhora a eficiência, os produtores donos da própria terra são mais eficientes que os produtores que fazem o arrendamento e que as fazendas com menor declividade também são mais eficientes.

Na Tabela 8, o menor valor obtido foi de 0,22 (Nordeste safra 2011/2012), mas para essa DMU chegar ao nível de eficiência, mantendo o mesmo nível de produção, deveria reduzir o uso de insumos (Mecanização, Mão de obra, Insumos, Arrendamento, Despesas Administrativas, Remuneração da terra e Remuneração do capital) em 78%.

O resultado da DMU 15 pode ser explicado em parte pela forte seca enfrentada pela região Nordeste em 2012, o que, segundo Reetz et al. (2013), fez com que o rendimento dos canaviais diminuísse em média 14,2%. Esses resultados são importantes, porque os recursos são escassos e a sua adequada utilização torna-se um fator primordial no desempenho do setor. Nesse caso, Torquato, Martins e Ramos (2009) argumentam que do ponto de vista econômico, as unidades produtivas devem buscar a eficiência no uso dos insumos empregados na produção.

A técnica DEA também contribui no que diz respeito aos alvos a serem alcançados pelas DMUs ineficientes, pois indica em quanto se devem reduzir os insumos a fim de se tornarem eficientes, evitando, assim, o desperdício (Tabela 9). Em conformidade com Melo (2010), para as DMUs ineficientes, os resultados mostram os valores divergentes entre os atuais e os alvos. A autora ainda destaca que a unidade produtora deve verificar em que etapa do processo ocorre problemas com a alocação dos recursos produtivos.

No caso da região Centro-Sul tradicional, a única safra que não apresentou eficiência máxima foi a de 2007/2008 (DMU 6). Os alvos a serem atingidos são bem menores que os das demais regiões, indicando que cada custo de produção deveria ter sido diminuído em 14% para que se tornasse eficiente (Tabela 9).

Observa-se também, na Tabela 9, que, no caso da DMU 15 (menor eficiência), os valores dos custos de produção devem ser diminuídos consideravelmente (acima de 77%), destacando-se o fator mão de obra, que no caso da região Nordeste, representa o maior custo médio do setor (Tabela 4). Gomes, Mangabeira e Soares de Mello (2005) ressaltam a possibilidade de o agricultor não conseguir alcançar de forma imediata o alvo a ser

perseguido. Nesse caso, deve procurar atingir alvos intermediários mais próximos da sua realidade.

Portanto, é possível notar que em todas as regiões existe a possibilidade de melhoria no uso dos recursos por parte dos produtores de cana-de-açúcar. Constatação semelhante foi a de Melo (2010), que utilizou como *inputs* a área plantada com cana-de-açúcar em hectares, custo anual equivalente com operações mecanizadas (R\$), custo anual equivalente com operações manuais (R\$), custo anual equivalente com insumos (R\$) e um *output*, o valor anual equivalente líquido da produção (R\$). A autora constatou que apenas 13,56% dos produtores independentes do Estado do Paraná foram eficientes. Ainda de acordo com a autora, os alvos com mecanização deveriam ter redução, em média, de 41%, as operações manuais, de 37%, e os gastos com insumos, de 52%.

Tabela 9 – Valores atuais, alvos e percentual de redução das DMUs ineficientes

DMUs	Inputs	Atual (R\$/ha)	Alvo (R\$/ha)	Redução (%)
DMU 1 (Expansão 2007/2008)	Mecanização	986,00	225,27	77
	Mão de obra	619,00	113,26	82
	Insumos	677,00	144,32	79
	Arrendamento	153,00	52,47	66
	Despesas Administrativas	193,00	75,74	61
	Remuneração da terra	199,00	78,10	61
	Remuneração do capital	125,00	49,05	61
DMU 2 (Expansão 2008/2009)	Mecanização	986,00	274,01	72
	Mão de obra	619,00	137,76	78
	Insumos	677,00	175,55	74
	Arrendamento	153,00	63,82	58
	Despesas Administrativas	193,00	92,14	52
	Remuneração da terra	199,00	95,00	52
	Remuneração do capital	125,00	59,67	52
DMU 3 (Expansão 2009/2010)	Mecanização	1,230,81	382,54	69
	Mão de obra	314,05	151,69	52
	Insumos	570,12	169,01	70
	Arrendamento	171,95	83,05	52
	Despesas Administrativas	245,50	101,23	59
	Remuneração da terra	309,76	149,62	52
	Remuneração do capital	211,00	89,12	58
DMU 4 (Expansão 2010/2011)	Mecanização	1,404,40	454,26	68
	Mão de obra	257,16	210,32	18
	Insumos	511,13	146,08	71
	Arrendamento	198,75	32,54	84
	Despesas Administrativas	106,31	86,95	18
	Remuneração da terra	358,04	251,63	30
	Remuneração do capital	222,77	112,01	50
DMU 5 (Expansão 2011/2012)	Mecanização	1,754,09	436,97	75
	Mão de obra	203,32	136,04	33
	Insumos	424,70	122,31	71
	Arrendamento	519,63	190,85	63
	Despesas Administrativas	193,50	80,48	58
	Remuneração da terra	211,42	141,46	33
	Remuneração do capital	413,04	114,90	72

continua

DMUs	<i>Inputs</i>	Atual (R\$/ha)	Alvo (R\$/ha)	conclusão
				Redução (%)
DMU 6 (Tradicional 2007/2008)	Mecanização	922,00	793,67	14
	Mão de obra	479,00	412,33	14
	Insumos	712,00	612,90	14
	Arrendamento	158,00	136,01	14
	Despesas Administrativas	376,00	323,67	14
	Remuneração da terra	294,00	253,08	14
	Remuneração do capital	181,00	155,81	14
DMU 11 (Nordeste 2007/2008)	Mecanização	623,00	162,94	74
	Mão de obra	806,00	74,62	91
	Insumos	690,00	95,08	86
	Arrendamento	56,00	21,00	63
	Despesas Administrativas	268,00	53,71	80
	Remuneração da terra	172,00	64,50	63
	Remuneração do capital	98,00	34,72	65
DMU 12 (Nordeste 2008/2009)	Mecanização	623,00	167,92	73
	Mão de obra	806,00	76,90	90
	Insumos	690,00	98,00	86
	Arrendamento	56,00	21,64	61
	Despesas Administrativas	268,00	55,35	79
	Remuneração da terra	172,00	66,48	61
	Remuneração do capital	98,00	35,78	63
DMU 13 (Nordeste 2009/2010)	Mecanização	747,52	164,97	78
	Mão de obra	550,42	80,36	85
	Insumos	387,34	93,32	76
	Arrendamento	163,55	39,40	76
	Despesas Administrativas	205,53	49,51	76
	Remuneração da terra	254,83	61,39	76
	Remuneração do capital	200,14	37,47	81
DMU 14 (Nordeste 2010/2011)	Mecanização	905,37	186,91	79
	Mão de obra	769,29	97,00	87
	Insumos	370,76	86,67	77
	Arrendamento	144,97	51,04	65
	Despesas Administrativas	122,82	43,24	65
	Remuneração da terra	225,88	79,52	65
	Remuneração do capital	208,54	46,31	78
DMU 15 (Nordeste 2011/2012)	Mecanização	827,80	165,83	80
	Mão de obra	1,185,88	96,58	92
	Insumos	518,52	91,97	82
	Arrendamento	128,80	28,78	78
	Despesas Administrativas	199,76	44,64	78
	Remuneração da terra	342,49	76,54	78
	Remuneração do capital	359,18	38,88	89

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na análise de eficiência da produção de cana-de-açúcar no perímetro irrigado Curu-Paraipaba no Estado do Ceará, Campos et al. (2006) identificaram que os alvos dos produtores ineficientes deveriam diminuir em média 12% com mão de obra, 36%, com o capital investido, e 46%, com insumos. Para a análise, os autores utilizaram como *inputs* fatores básicos de produção, tais como, terra, mão de obra, capital, insumos básicos e água para a obtenção de um único produto, a cana-de-açúcar.

Para verificar o efeito da escala de produção no grau de eficiência técnica, inicialmente, foi utilizado o modelo DEA com retornos constantes à escala. Em seguida, foi utilizado o modelo com retornos variáveis e, com essas medidas, calculou-se a eficiência de escala (Tabela 10). Segundo Kassai (2002), o modelo CCR permite uma avaliação da eficiência global, e o modelo BCC distingue entre a eficiência técnica “pura” e a eficiência de escala.

Com base nos retornos constantes à escala, observou-se que o nível médio de ineficiência foi de 0,38 (1-0,62), resultado semelhante ao encontrado por Brunozi Júnior et al. (2012) que, ao analisarem 17 usinas beneficiadoras de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo, encontraram ineficiência de 0,375 para retornos constantes de escala. Como o modelo é orientado a insumos, esse valor indica que, em média, as regiões produtoras poderiam ter gasto 38% menos com mecanização, mão de obra, insumos, arrendamento, despesas administrativas, remuneração da terra e remuneração do capital, e que, ainda assim, não teriam redução na produção da cana.

Tabela 10 – Eficiência técnica e de escala das regiões produtoras

DMU	Eficiência Técnica – Retornos Constantes	Eficiência Técnica – Retornos Variáveis	Eficiência Escala
DMU 1 (Expansão 2007/2008)	0,39	1,00	0,39
DMU 2 (Expansão 2008/2009)	0,48	1,00	0,48
DMU 3 (Expansão 2009/2010)	0,48	1,00	0,48
DMU 4 (Expansão 2010/2011)	0,82	1,00	0,82
DMU 5 (Expansão 2011/2012)	0,67	1,00	0,67
DMU 6 (Tradicional 2007/2008)	0,86	1,00	0,86
DMU 7 (Tradicional 2008/2009)	1,00	1,00	1,00
DMU 8 (Tradicional 2009/2010)	1,00	1,00	1,00
DMU 9 (Tradicional 2010/2011)	1,00	1,00	1,00
DMU 10 (Tradicional 2011/2012)	1,00	1,00	1,00
DMU 11 (Nordeste 2007/2008)	0,38	1,00	0,38
DMU 12 (Nordeste 2008/2009)	0,39	1,00	0,39
DMU 13 (Nordeste 2009/2010)	0,24	1,00	0,24
DMU 14 (Nordeste 2010/2011)	0,35	1,00	0,35
DMU 15 (Nordeste 2011/2012)	0,22	0,94	0,39
Média	0,62	0,99	0,65

Fonte: Elaborado pelo autor.

Destaca-se que a ineficiência também pode ser decorrente da incorreta escala de produção porque a eficiência técnica total (retornos constantes) é composta pela pura eficiência técnica (retornos variáveis) e pela eficiência de escala.

Conforme Melo (2010), a ineficiência de escala pode ser devido a DMU estar operando abaixo da escala ótima (retorno crescente) ou acima da escala ótima (retorno decrescente). Por meio desta análise pode-se verificar que todas as DMUs ineficientes

(DMU1, DMU2, DMU3, DMU4, DMU5, DMU6, DMU11, DMU12, DMU13, DMU 14 e DMU 15) apresentam retorno crescente de escala, ou seja, podem aumentar a produção a custos médios decrescentes, mas, para isso, precisam aumentar a quantidade da sua produção. Foi possível observar também que 4 DMUs são eficientes tecnicamente e em escala, ou seja, estão otimizando o uso de recursos e atuam em escala ótima (Tabela 10).

Assim, as médias de eficiência de escala e de pura eficiência são, respectivamente, de 0,65 e 0,99 (Tabela 10), ou seja, as regiões ineficientes poderiam, em média, diminuir 1% dos custos de produção que obteriam a mesma produção, e, para operarem em escala ótima de produção, deveriam aumentar a quantidade produzida de cana em 35%.

A DMU 15 (Tabela 10) é a única que tem ineficiência técnica (0,06), devido ao uso excessivo de insumos e ineficiência de escala (0,61). Esta última ocorre porque a DMU está operando abaixo da escala ótima e, para operar em escala ótima, seria necessário aumentar a produção. Além disso, deve diminuir o uso excessivo de insumos.

A partir da Tabela 10, foi possível descrever o principal problema enfrentado pelas regiões produtoras, podendo ser de escala ou eficiência (Tabela 11). Caso seja eficiente só em escala, o problema é a relação dos insumos com o produto. Sendo eficiente apenas tecnicamente, o problema é a escala produtiva, mas, se for eficiente tanto em escala quanto em técnica, não apresenta problemas.

Tabela 11 – Problemas das regiões produtoras, segundo a eficiência pura e de escala

DMU	Condição	Retorno de escala	Problema maior
DMU 1 (Expansão 2007/2008)	Ineficiente	Crescente	Escala
DMU 2 (Expansão 2008/2009)	Ineficiente	Crescente	Escala
DMU 3 (Expansão 2009/2010)	Ineficiente	Crescente	Escala
DMU 4 (Expansão 2010/2011)	Ineficiente	Crescente	Escala
DMU 5 (Expansão 2011/2012)	Ineficiente	Crescente	Escala
DMU 6 (Tradicional 2007/2008)	Ineficiente	Crescente	Escala
DMU 7 (Tradicional 2008/2009)	Eficiente	Constante	Não tem
DMU 8 (Tradicional 2009/2010)	Eficiente	Constante	Não tem
DMU 9 (Tradicional 2010/2011)	Eficiente	Constante	Não tem
DMU 10 (Tradicional 2011/2012)	Eficiente	Constante	Não tem
DMU 11 (Nordeste 2007/2008)	Ineficiente	Crescente	Escala
DMU 12 (Nordeste 2008/2009)	Ineficiente	Crescente	Escala
DMU 13 (Nordeste 2009/2010)	Ineficiente	Crescente	Escala
DMU 14 (Nordeste 2010/2011)	Ineficiente	Crescente	Escala
DMU 15 (Nordeste 2011/2012)	Ineficiente	Crescente	Escala e Eficiência

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme a Tabela 11, do total de DMUs analisadas, quatro não apresentam problemas, dez apresentam problemas de escala e uma, problema de escala e eficiência. Em síntese, percebe-se que o maior problema das regiões produtoras de cana-de-açúcar não é a ineficiência no uso dos *inputs* e, sim, a incorreta escala de produção, contradizendo os resultados de Pachiel (2009) e Brunozi Júnior et al. (2012) que constataram como principal problema o uso inadequado de insumos pelas usinas.

Pachiel (2009) analisou 16 usinas no Estado de São Paulo e constatou que 50% delas apresentavam problemas de eficiência técnica, 25%, problemas de escala, e 25% não tinham problemas nem de escala e nem de eficiência técnica.

Brunozi Júnior et al. (2012) consideram como *output* o faturamento anual bruto das usinas e, como *inputs*, o custo da mão de obra, o custo dos insumos de produção e a composição da estrutura permanente e operacional das usinas. Das 17 usinas avaliadas, 11 foram consideradas ineficientes e, dessas, apenas duas apresentaram problemas de escala, apresentando o restante problema de eficiência técnica.

Para as DMUs que apresentam os problemas de escala a sugestão é identificar em qual nível de produção se encontram já que podem expandir a produção a custos decrescentes até que se tornem 100% eficientes. Dessa maneira, atuariam no ponto de retornos constantes, onde a produção ocorre com custos médios mínimos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura da cana-de-açúcar representa um importante segmento do agronegócio brasileiro. E a pesquisa sobre eficiência é relevante a fim de contribuir para o aumento da produtividade e elucidar os possíveis fatores determinantes da ineficiência.

Nesta pesquisa, foi realizado o detalhamento dos custos de produção nas três regiões e o maior custo médio relacionado à produção da cana-de-açúcar foi o da mecanização, estando em conformidade com Melo (2010); no entanto, na região Nordeste, o mais relevante é o da mão de obra, que é explicado em parte, pelas justificativas apresentadas por Marques (2009). Estes dois custos apresentaram diferença estatística significativa entre as regiões Centro-Sul expansão e Nordeste.

Buscou-se também, avaliar a eficiência das principais regiões produtoras de cana-de-açúcar com base nos custos de produção. As regiões Centro-Sul tradicional, Centro-Sul expansão e Nordeste, que representam as DMUs, foram agrupadas por safra com base nos custos de produção das safras 2007/2008 a 2011/2012 e, por meio da técnica DEA orientado a insumos, foram identificadas os índices de eficiências das regiões. Considerando retornos constantes de escala, em todos os custos de produção analisados como *inputs*, é possível fazer reduções em seus gastos visando à eficiência.

A região que apresentou melhor eficiência foi a Centro-Sul tradicional, seguida pela Centro-Sul expansão e a Nordeste. Esse resultado confirma Brunozi et al. (2012) ao afirmarem que a região Centro-Sul tradicional dispõe de melhores condições de capital, gestão e instituições de pesquisa. Também encontra respaldo em Torquato, Martins e Ramos (2009) que identificaram regiões tradicionais mais eficientes que novas regiões produtoras de cana-de-açúcar. A partir dos resultados obtidos, permitiu-se verificar que 26,66% das safras apresentaram eficiência máxima e operaram com eficiência técnica e de escala, ou seja, retornos constantes de escala.

A eficiência técnica média, sob retornos variáveis à escala, foi de 99%, indicando que os custos de produção poderiam ter diminuídos em 1%. No entanto, a eficiência média de escala foi de 65%, demonstrando problemas com escala de produção nas regiões, ou seja, a escala de produção deveria ser aumentada em 35%. Esse resultado foi semelhante ao de Mahadevan (2008) que identificou ineficiência de 32,5% dos produtores de cana-de-açúcar em Fiji.

Dessa forma, apesar de as regiões apresentarem ineficiência no uso dos insumos o maior problema relaciona-se com a escala incorreta de produção, demonstrando que o volume

de produção pode ser aumentado. Esses resultados referente à eficiência de escala e a eficiência técnica contrapõem-se aos de Pachiell (2009) e Brunozi Júnior et al. (2012) que encontraram como principal problema das usinas a eficiência técnica. Destaca-se a safra 2011/2012 da região Nordeste que apresentou ineficiência tanto técnica quanto de escala.

É importante notar que os dados usados neste estudo são agregados e não uma representação individual das unidades de cada região. Portanto, alguns produtores de cana-de-açúcar podem ter retorno de escala crescente, enquanto outros, retorno constante ou decrescente.

Assim, a principal contribuição desse trabalho é indicar que a escala de produção é o principal problema dos produtores de cana-de-açúcar. Todavia, deve-se destacar que elementos macroeconômicos tais como, infraestrutura de acesso a consumidores, eletricidade (HELFAND; LEVINE, 2004), falta de infraestrutura para exportação (NEVES et al., 2011) e questões de mercado (ALVES, 2009), como a manutenção, pelo governo, do preço da gasolina abaixo do preço de mercado internacional afetam a eficiência de escala. Nesse sentido, fatores como a demanda por etanol pode influenciar na eficiência de escala tendo em vista que um maior consumo do produto pode fazer com que a produção aumente.

Em relação aos limites do estudo, um ponto a ser considerado é o espaço temporal adotado na pesquisa, já que, a princípio, não se dispunha de dados de custos em períodos superiores às safras utilizadas, implicando em limitações no número de variáveis utilizados no modelo DEA. Outro ponto é o fato de a análise ter focado apenas os custos de produção. Desta forma, sugere-se para pesquisas futuras a análise da receita com os custos por produto (açúcar, etanol) além da utilização de variáveis macroeconômicas de maneira a aplicar a técnica DEA com uma série maior.

REFERÊNCIAS

- ADLER, Nicole; FRIEDMAN, Lea; SINUANY-STERN, Zilla. Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 140, p. 249-265, 2002.
- ALBANEZ, Tatiana; BONIZIO, Roni Cleber; RIBEIRO, Evandro Marcos Saidel. Análise da estrutura de custos do setor sucroalcooleiro brasileiro. **Custos e @gronegocio on line**, Recife, v. 4, n. 1, p. 79-102, jan./abr., 2008. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Sucroalcooleiro_000fxewvkfn02wyiv80soht9h288g8g9.pdf>. Acesso em: 15 fevereiro 2014.
- ALKHATHLAN, Khalid; MALIK, Syed Abdul. Are saudi banks efficient? evidence using data envelopment analysis (DEA). **International Journal of Economics and Finance**, Toronto, v. 2, n. 2, p. 53-58, May, 2010.
- ALMEIDA, Kátia de; MACEDO, Marcelo Alvaro da Silva. Análise do desempenho contábil-financeiro no agronegócio brasileiro: aplicando DEA no setor agroindustrial nos anos de 2006 e 2007. **Pensar Contábil**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 48, p. 5-21, maio/ago., 2010.
- ALVES, Christiane Luci Bezerra. Liberalização Comercial: aspectos teóricos e estratégias recomendadas. **Revista de Economia & Relações Internacionais**, São Paulo, v. 7, n. 14, p. 5 - 19, jan., 2009.
- ALVES, Francisco et al. **Certificação socioambiental para a agricultura: desafios para o setor sucroalcooleiro**. São Carlos: Ed. USFCar/Imaflora, 2008.
- ANDRADE, Maria Margarida de. **Introdução à metodologia do trabalho científico**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- ANDRADE, Mário Geraldo Ferreira de et al. Controle de custos na agricultura: um estudo sobre a rentabilidade na cultura da soja. **Custos e @gronegocio on line**, Recife, v. 8, n. 3, p. 23-45, jul./set., 2012. Disponível em: <<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero3v8/rentabilidade%20soja.pdf>>. Acesso em: 23 janeiro de 2014.
- ÂNGULO-MEZA, Lidia et al. ISYDS - Integrated System for Decision Support (SIAD - Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a software package for data envelopment analysis model. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, p. 493-503, 2005.
- ANJOS, Maria Anita dos. **Aplicação da análise envoltória de dados (DEA) no estudo da eficiência econômica da indústria têxtil brasileira nos anos 90**. 2005. 239 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- ARANGO, Hector Gustavo. **Bioestatística teórica e computacional**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.
- ARAUJO, Massilon Justino de. **Fundamentos de agronegócios**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

BACCARIN, José Giacomo; GEBARA, José Jorge; BORGES JÚNIOR, Júlio Cesar. Expansão canavieira e ocupação formal em empresas sucroalcooleiras do centro-sul do Brasil, entre 2007 e 2009. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 49, n. 02, p. 493-506, abr./jun., 2011.

BAIYEGUNHI, Lloyd J. S.; ARNOLD, C. A. Economics of sugarcane production on large scale farms in the Eshowe/Entumeni areas of KwaZulu-Natal, South Africa. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 6, n. 21, p. 4960-4967, Oct., 2011.

BANKER, Rajiv D.; CHARNES, Abraham; COOPER, William Wagner. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, Providence, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

BANKER, Rajiv D.; THRALL, Robert M. Estimation of returns to scale using data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 62, p. 74-84, 1992.

BARROS, Geraldo Sant'ana de Camargos; ALVES, Lucilio Rogério Aparecido; OSAKI, Mauro. Biofuels, food security and compensatory subsidies. **China Agricultural Economic Review**, Bingley, v. 2, n. 4, p. 433-455, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Intercâmbio comercial do agronegócio: principais mercados de destino**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Relações Internacionais do Agronegócio. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em 23 abril 2014.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. **Projeções do Agronegócio Mundial e Brasil 2006/07 a 2017/2018**. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em 06 maio 2014.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Estatísticas e dados básicos de Economia Agrícola**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em 06 abril 2014.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agronegócio brasileiro em números. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em 27 dezembro 2013.

BOEHLJE, Michael; ROUCAN-KANE, Maud; BRORING, Stefanie. Future agribusiness challenges: Strategic uncertainty, innovation and structural change. **International Food and Agribusiness Management Review**, Washington, v. 14, n. 5, p. 53-82, 2011.

BORNIA, Antonio Cezar. **Análise gerencial de custos: aplicação em empresas modernas**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BOZOGLU, Mehmet et al. Evaluation of different trout farming systems and some policy issues in the Black Sea Region, Turkey. **Journal of Applied Sciences**, [s. l.] v. 6, n. 24, p. 2882-2888, 2006.

BRAVO-URETA, Boris E.; PINHEIRO, António E. Efficiency analysis of developing country agriculture: A review of the frontier function literature. **Agricultural and Resource Economics Review**, [s. l.] v. 22, p. 88-101, 1993.

BRUNOZI JÚNIOR, Antonio Carlos et al. Eficiência produtiva e análise econômica e financeira de usinas de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo. **Revista Ambiente Contábil**, Natal, v. 4, n. 2, p. 74-92, jul./dez., 2012.

CALSINA, Saúl Olarte. Um nuevo paradigma de agronegocio sostenible: análisis e propuesta teórica. **Agroalimentaria**, Caracas, v. 13, n. 35, p. 31-42, jul./dic., 2012.

CAMARGO JÚNIOR, Alceu Salles; TONETO JÚNIOR, Rudinei. Indicadores sócio-econômicos e a cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 39, n. 6, p. 57-67, jun., 2009.

CAMPOS, Kilmer Coelho et al. **Análise da eficiência de produção de cana-de-açúcar no perímetro irrigado curu-paraipaba no Estado do Ceará**. Research in agricultural & applied economics, 2006. Disponível em: <<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/146397/2/332.pdf>>. Acesso em: 25 abril 2014.

CARLUCCI, Fábio Vogelaar. **Aplicação da análise envoltória de dados (DEA) para avaliação do impacto das variáveis tamanho e localização na eficiência operacional das usinas de cana-de-açúcar na produção de açúcar e etanol no Brasil**. 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2012.

CARMO, Hérnani Magalhães Olivense. **Análise envoltória de dados para avaliação da eficiência da avicultura familiar em Alagoas**. 2012. 105 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.

CARVALHO, Glaucio Rodrigues; OLIVEIRA, Clesiane de. **O setor sucroalcooleiro em perspectiva**. Campinas, SP: Embrapa, 2006. Disponível em: <http://www.cnpm.embrapa.br/publica/download/cit10_sugaralcool.pdf>. Acesso em: 23 maio 2014.

CARVALHO, Francisval de Melo; FIÚZA, Marco Antônio; LOPES, Marcos Aurélio. Determinação de custos como ação de competitividade: estudo de um caso na avicultura de corte. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 908-913, maio/jun., 2008.

CHADDAD, Fabio Ribas. UNICA: Challenges to deliver sustainability in the brazilian sugarcane industry. **International Food and Agribusiness Management Review**, Washington, v. 13, n. 4, p. 173-192, 2010.

CHAGAS, André Luis Squarize. **Três ensaios sobre o setor produtor de cana-de-açúcar no Brasil**. 2009. 112 f. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CHARNES, Abraham; COOPER, WilliamWagner; RHODES, Edwardo. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operatinal Research**, Amsterdam, v. 2, p. 429-444, 1978.

CHAUHAN, Narvendra Singh; MOHAPATRA, Pratap K. J.; PANDEY, Keshaw Prasad. Improving energy productivity in paddy production through benchmarking – an application of data envelopment analysis. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 47, p. 1063-1085, 2006.

COELLI, Timothy James. Recent developments in frontier modeling and efficiency measurement. **Australian Journal of Agricultural Economics**, Parkville, v. 39. n. 3. p. 219 - 245. Dec., 1995.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar. Terceiro levantamento, abril/2013**. Brasília: Conab, 2013.

Disponível em:

http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_04_09_10_30_34_boletim_cana_p_ortugues_abril_2013_4o_lev.pdf>. Acesso em: 30 abril 2014.

CONNOLLY, Aidan J.; CONNOLLY, Kate Philipps; LYONS, Mark. A seismic change: land control in Africa. Is this a wake-up call for agribusiness? **International Food and Agribusiness Management Review**, Washington, v. 15, n. 2, p. 171-177, 2012.

COSTA, Ricardo Cunha da. Mitigação de riscos e ampliação de retornos: aplicação dos conceitos de fronteira eficiente de Markowitz e de carteira alavancada ao setor sucroalcooleiro. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 29, p. 37-76, mar., 2009. Disponível em:

<
http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/Set2902.pdf>. Acesso em: 19 março 2014.

DAVIS, John Herbert; GOLDBERG, Ray Allan. A concept of agribusiness. **American Journal of Agricultural Economics**, Saint Paul, v. 39, n. 4, p. 1042-1045, 1957.

DIAS, Marina O. S. et al. Second generation ethanol in Brazil: can it compete with electricity production? **Bioresource Technology**, Essex, v. 102, p. 8964-8971, 2011.

DOMINGUES, Ivonete de Almeida Souza. **Variabilidade climática e sua influência na produtividade da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) na região norte e nordeste do Paraná**. 2010. 235 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

DUARTE, Sérgio Lemos et al. Variáveis dos custos de produção da soja e sua relação com a receita bruta. **Custos e @gronegocio on line**, Recife, v. 7, n. 1, p. 78-100, jan./abr., 2011. Disponível em: <<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero1v7/soja.pdf>>. Acesso em: 25 janeiro de 2014.

DHUNGANA, Basanta R.; NUTHALL, Peter L.; NARTEA, Gilbert V. Measuring the economic inefficiency of Nepalese rice farms using data envelopment analysis. **The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, Oxford, v. 48, n.2, p. 347-369, 2004.

DYSON, Robert G. et al. Pitfalls and protocols in DEA. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 132, n. 2, p. 245-259, 2001.

ESBERARD, Rafael Ramalho; CHAIM, Rafael Veiga; TUROLLA, Frederico Araújo. Custos de produção como diferencial estratégico: o caso do setor sucroalcooleiro. **Revista Administração em Diálogo**, São Paulo, v. 2, n. 13, p. 73-90, 2009.

ESTATCAMP. **Action® versão 2.5.197.344**. [2014] Disponível em: <<http://www.portaaction.com.br/>>. Acesso em: 20 maio 2014.

EVANGELISTA, Balbino Antônio. **Projeção de cenários atuais e futuros de produtividade de cana-de-açúcar em ambiente de cerrado**. 2011. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

FADASI, Raheleh et al. An analysis of improving energy use with data envelopment analysis in apple orchard. **Asian Journal of Agriculture and Rural Development**, Punjab, v. 2, n. 2, p. 277-286, 2012.

FARIA, Flávia Peixoto; JANNUZZI, Paulo de Martino; SILVA, Silvano José da. Eficiência dos gastos municipais em saúde e educação: uma investigação através da análise envoltória no Estado do Rio de Janeiro. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 42, n.1, p. 155-177, jan./fev., 2008.

FARRELL, Michael James. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, London, v. 120, n.3, p. 253-290, 1957.

FEHR, Lara Cristina Francisco et al. Análise temporal das variáveis de custos da cultura do café arábica nas principais regiões produtoras no Brasil. **Custos e @gronegocio on line**, Recife, v. 8, n. 1, p. 161-187, jan./mar., 2012. Disponível em: <<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero1v8/cafe.pdf>>. Acesso em: 30 abril 2014.

FERMAM, Ricardo Kropf Santos. **Os requisitos ambientais no comércio internacional: Ferramentas de acesso a mercados para o setor de defensivos agrícolas**. 2009. 240 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

FERREIRA, Marco Aurélio Marques; GONÇALVES, Rosiane Maria Lima; BRAGA, Marcelo José. Investigação do desempenho das cooperativas de créditos de Minas Gerais por meio da análise envoltória de dados (DEA). **Economia Aplicada**, São Paulo, v. 11, n. 3, jul./set., p. 425-445, 2007.

FREITAS, Rogério Edivaldo; MENDONÇA, Marco Aurélio Alves de. O mercado internacional sucroalcooleiro para o Brasil. **Revista de política agrícola**, Brasília, ano 17, n. 3, p. 44-50, jul./ago./set., 2008.

GARCIA, Marco Antonio Lopes. **Avaliação de um sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar**. 2013. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GOMES, Eliane Gonçalves; MANGABEIRA, João Alfredo de Carvalho; SOARES DE MELLO, João Carlos Correia Baptista. Análise envoltória de dados para avaliação de

eficiência e caracterização de tipologias em agricultura: um estudo de caso. **Revista de Economia Rural**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 607-631, out./dez., 2005.

GOMES, Eliane Gonçalves; SOARES DE MELLO, João Carlos Correia Baptista; BIONDI NETO, Luiz. **Avaliação de eficiência por análise de envoltória de dados: conceitos, aplicações à agricultura e integração com Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas, SP: Embrapa, 2003.

GONÇALVES, Antonio C. et al. Análise envoltória de dados na avaliação de hospitais públicos nas capitais brasileiras. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 41, n. 3, p. 427-435, 2007.

GONÇALVES, Daniel Bertoli. Considerações sobre a expansão recente da lavoura canavieira no Brasil. **Informações Econômicas**, São Paulo, p. 70-82, v. 39, n. 10, out., 2009.

GONG, Byeong-Ho; SICKLES, Robin C. Finite sample on the performance of stochastic frontier and data envelopment analysis using panel data. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 51, p. 259-284, 1992.

HAAS, Dieter J. Productive efficiency of english football teams – a data envelopment analysis approach. **Managerial and Decision Economics**, Chichester, v. 24, p. 403-410, 2003.

HASANOV, Shavkat; NOMMAN, Ahmed Mirza. Agricultural efficiency under resources scarcity in Uzbekistan: a data envelopment analysis. **Business and Economic Horizons**, Praha, v. 4, n.1, p. 81-87, 2011.

HELFAND, Steven M.; LEVINE, Edward S. Farm size and the determinants of productive efficiency in the Brazilian Center-West. **Agricultural economics**, Amsterdam, v. 31, p. 241 – 249, 2004.

HUTCHINGS, Tim R.; NORDBLOM, Tom L. A financial analysis of the effect of the mix of crop and sheep enterprises on the risk profile of dryland farms in South-Eastern Australia. **Australian Farm Business Management Journal**, Orange, v. 8, n. 1, p. 19-42, 2011.

KASSAI, Silvia. **Utilização da análise por envoltória de dados na análise das demonstrações contábeis**. 2002. 350 f. Tese (Doutorado em Contabilidade e Controladoria) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

KENNEDY, P. Lynn; HARRISON, R. Wes; PIEDRA, Mario A. Analyzing agribusiness competitiveness: The case of the United States sugar industry. **International Food and Agribusiness Management Review**, Washington, v. 1, n. 2, p. 245-257, 1998.

KING, Robert P. et al. Agribusiness economics and management. **American Journal Agricultural Economics**, Saint Paul, v. 92, n. 2, p. 554-570, 2010.

KOHLHEPP, Gerd. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010.

LEE, Boon L. Efficiency of research performance of australian universities: a reappraisal using a bootstrap truncated regression approach. **Economic Analysis & Policy**, Brisbane, v. 41, n. 3, p. 195-203, Dec., 2011.

LEMOS, Stella Vannucci et al. Economic efficiency of two baling systems for sugarcane straw. **Industrial Crops and Products**, [s. l.] n. 55, p. 97-101, 2014.

LEONE, George Sebastião Guerra. **Custos: planejamento, implantação e controle**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

LINS, Marcos Estellita; et al. Performance assessment of alternative energy resources in brazilian power sector using data envelopment analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.] v. 16, p. 898-903, 2012.

MACEDO, Marcelo Álvaro da Silva; CIPOLA, Fabrício Carvalho; FERREIRA, Antônio Francisco Ritter. Desempenho social no agronegócio brasileiro: aplicando DEA no segmento de usinas de processamento de cana-de-açúcar. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 48, n.1, p. 223-243, jan./mar., 2010.

MACEDO, Marcelo Álvaro da Silva; STEFFANELLO, Marinês; OLIVEIRA, Carlos Augusto de. Eficiência combinada dos fatores de produção: aplicação de análise envoltória de dados (DEA) à produção leiteira. **Custos e @agronegócio on line**, Recife, v. 3. n. 2, p. 59-86, jul./dez., 2007. Disponível em: <<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero2v3/eficiencia%20de%20producao.pdf>>. Acesso em: 15 julho 2014.

MAHADEVAN, Renuka. The high price of sweetness: the twin challenges of efficiency and soil erosion in Fiji's sugar industry. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 66, p. 468-477, 2008.

MAIA, Sinézio Fernandes; OLIVEIRA, Augusto César Santos de. Análise da produção da cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco: uma abordagem pelos custos dos recursos domésticos (Crd). **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 30, n. Especial, p. 468-482, dez., 1999.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MARINHO, Alexandre. Estudo de eficiência em hospitais públicos e privados com a geração de *rankings*. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 6, p. 145-58, nov./dez., 1998.

MARQUES, Pedro Valentim (Coord). **Custos de produção agrícola e industrial de açúcar e álcool no Brasil na safra 2007/2008**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2009. Relatório apresentado a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA.

MARTINS, Eliseu. **Contabilidade de custos**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARTINS, Alexandra Pereira et al. Competitividade do sistema produtivo de cana-de-açúcar em Minas Gerais: abordagem da matriz de análise política. **Revista de economia e agronegócio**, Viçosa, v. 5, n.1, p. 73-100, 2007.

MASAYI, Nelly; NETONDO, Godfrey Walufa. Effects of sugarcane farming on diversity of vegetable crops in Mumias Division, Western Kenya. **International Journal of Biodiversity and Conservation**, Oxford, v. 4, n.13, p.515-524, Oct., 2012.

MATSUNAGA, Minoru et al. Metodologia de custo utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 23, n.1, p. 123-39, 1976.

MELO, Carmem Ozana de. **Eficiência econômica da produção de cana-de-açúcar de produtores independentes do Estado do Paraná**. 2010. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

MELLO, João Carlos Correia Baptista Soares de et al. Uma análise da qualidade e produtividade de programas de pós-graduação em engenharia. **Ensaio: avaliação de políticas públicas educacionais**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 39, p. 167-179, abr./jun., 2003.

MOUSAVI-AVVAL, Seyed Hashem et al. Energy storage in field operations of sunflower production using data envelopment analysis approach. **International Journal of Energy e Environment**, Najaf, v. 2, n. 5, p. 933-944, 2011.

MOUSAVI-AVVAL, Seyed Hashem. et al. Energy saving of field operations in soybean production using data envelopment analysis approach. **African Journal of Agricultural Research**, Oxford, v. 8, n. 46, p. 5776-5784, 2013.

MSUYA, Elibariki; ASHIMOGO, Gasper. Estimation of technical efficiency in Tanzanian sugarcane production: A case study of Mtibwa sugar estate outgrowers scheme. **Munich Personal RePEc Archive**, Munich, n. 3747, Jun., 2007. Disponível em: <<http://mpra.ub.uni-muenchen.de/3747/>>. Acesso em 26 junho 2014.

MUGERA, Amin W. Sustained competitive advantage in agribusiness: applying the resource-based theory to human resources. **International Food and Agribusiness Management Review**, Washington, v. 15, n. 4, p. 27-48, 2012.

NEGRÃO, Luiz Celso Parisi; URBAN, Maria Lucia de Paula. Álcool como “commodity” internacional. **Economia e energia**, Rio de Janeiro, n. 47, p. 8-18, dez. 2004 – jan. 2005. Disponível em: http://ecen.com/eee47/eee47p/alcoool_commodity.htm>. Acesso em: 05 fevereiro 2014.

NEVES, Marcos Fava; TROMBIN, Vinicius Gustavo (Coord.). **A dimensão do setor Sucroenergético: mapeamento e quantificação da safra 2013/2014**. Ribeirão Preto: Markestrat, Fundace, FEA-RP/USP, 2014.

NEVES, Marcos Fava; TROMBIN, Vinicius Gustavo; CONSOLI, Matheus Alberto. Measurement of sugar cane chain in Brazil. **International Food and Agribusiness Management Review**, Washington, v. 13, n. 3, p. 37-54, 2010.

NEVES, Marcos Fava et al. Análisis del sector sucroenergético brasileño bajo um enfoque de planificación estratégica. **Agroalimentaria**, Caracas, v. 17, n. 32, p. 29-45, ene.-jun., 2011.

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

NICOLELI, Marcelo; MOLLER, Horst Dieter. Análise da competitividade dos custos do café orgânico sombreado irrigado. **Custos e @gronegocio on line**, Recife, v. 2, n. 1, p. 29-44, fev., 2006. Disponível em:

<<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero1v2/Custos%20do%20cafe%20organico.pdf>>. Acesso em: 01 março 2014.

NISHIMIZU, Mieko; PAGE, John Moroney Jr. Total Factor Productivity Growth. Technological Progress and Technical Efficiency Change: Dimensions of Productivity Change in Yugoslavia, 1965–78. **The Economic Journal**, London, v. 92, n. 368, p. 920-936, Dec., 1982.

NUNEZ, Hector M. How relevant has been the learning-by-doing for Brazilian sugarcane ethanol production? **Centro de Investigação e Docencia Económicas**, Alvaro Obregón, n. 552, 2013. Disponível em: <<http://www.cide.edu/>>. Acesso em: 26 maio 2014.

OLIVEIRA, Marli Dias Mascarenhas; NACHILUK, Katia. Custo de produção de cana-de-açúcar nos diferentes sistemas de produção nas regiões do Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 41, n. 1, p. 5-33, jan., 2011.

OLIVEIRA, Terezinha Bezerra Albino et al. Tecnologia e custos de produção de cana-de-açúcar: um estudo de caso em uma propriedade agrícola. **Latin American Journal of Business Management**, Taubaté, v. 3, n. 1, p. 150 -172, jan./jun., 2012.

OLIVEIRA, Terezinha Bezerra Albino et al. Análise de custos e eficiência de fazendas produtoras de cana-de-açúcar por meio da Análise Envoltória de Dados. **Custos e @gronegocio on line**, Recife, v. 10, n. 1, p. 228-252, jan./mar., 2014. Disponível em: <<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero1v10/DEA.pdf>>. Acesso em: 15 junho 2014.

OZCAN, Yasar A. **Health care benchmarking and performance evaluation an assessment using data envelopment analysis (DEA)**. New York: Springer, 2008.

PACHIEL, Marcelo Guedes. **Eficiência produtiva de usinas de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo**. 2009. 67 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

PADOVEZE, Clóvis Luís. **Contabilidade de custos: teoria, prática, integração com sistemas de informações (ERP)**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

PECEGE. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil:** Fechamento da safra 2011/2012. Piracicaba: ESALQ/USP, 2012. Relatório apresentado à Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA.

RAMOS, Pedro. O futuro da ocupação na agroindústria canavieira do Brasil: uma discussão dos trabalhos disponíveis e um exercício de estimação. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 37, n. 11, p. 69-75, nov., 2007.

REETZ, Erna Regina et al. **Anuário brasileiro da cana-de-açúcar 2013**. Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta Santa Cruz, 2013.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social:** métodos e técnicas. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

RODRIGUES, Nubia Aparecida. **Comportamento dos custos de produção do café arábica em relação aos fatores climáticos**. 2013. 135 f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

RODRIGUES, Marcio Heleno; SOUZA, Mariluce Paes de; SOUZA FILHO, Theophilo Alves de. Analyzing the performance and the resource allocation of the dairy production in Rolim de Moura municipality, Rondônia, Brazil. **Journal of Agricultural Extension and Rural Development**, [s. l.] v. 4, n. 15, p. 402-409, 2012.

ROGGE, Nicky; VAN REETH, Daam; VAN PUYENBROECK, Tom. Performance evaluation of Tour de France cycling teams using data envelopment analysis. **International Journal of Sport Finance**, Morgantown, v. 8, n. 3, p. 236-257, 2013.

SALGADO JÚNIOR, Alexandre Pereira; BONACIM, Carlos Alberto Grespan; PACAGNELLA JÚNIOR, Antônio Carlos. Aplicação da análise envoltória de dados (DEA) para avaliação de eficiência de usinas de açúcar e álcool da região nordeste do Estado de São Paulo. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 494-513, 2009.

SANTOS, Maria Juraci Zani dos. **Influências climáticas associadas às pedológicas e econômicas na produção de cana de açúcar nos núcleos canavieiros do Estado de São Paulo**. 1981. 411 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.

SANTOS, Gilberto José dos; MARION, José Carlos. SEGATTI, Sônia. **Administração de custos na agropecuária**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SEGATO, Silvelena Vanzolini et al. **Atualizações em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livrocere, 2006.

SENRA, Luis Felipe Aragão de Castro et al. Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 2, p. 191-207, maio-Ago., 2007.

SHEN, Shaoewi; SHEN, Zuiyi; XU, Bing. Analysis of fishery production efficiency based on the three-stage DEA. **Journal of Networks**, [s. l.]v. 8, n. 2, p. 461-468, Feb., 2013.

SILVA, Ana Thereza Barbosa da. **Modelagem e simulação de processos (corte, carregamento e transporte) na produção agrícola de açúcar e álcool**. 2012. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

SILVA, Claudia Brito. **Inovação na indústria sucroalcooleira paulista: os determinantes da adoção das tecnologias de agricultura de precisão**. 2009. 89 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

SIQUEIRA, Paulo Henrique de Lima. Análise dos índices financeiros das usinas de açúcar e álcool brasileiras: análise de *benchmarking* utilizando análise envoltória de dados. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 45, 2007. **Anais**. XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Londrina: Sober, 2007.

SIQUEIRA, Paulo Henrique de Lima; REIS Brício dos Santos. Determinantes de competitividade da agroindústria processadora de cana-de-açúcar no Triângulo Mineiro e no Alto Paranaíba, Minas Gerais. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 202-215, 2006.

SOKALL, Robert R.; ROHLF, F. James. **Biometry: the principles and practice of statistics in biological research**. 3rd ed. New York: W. H. Freeman, 1995.

STAUB, Roberta Blass; SOUZA, Geraldo; TABAK, Benjamin M. **Evolution of bank efficiency in Brazil: A DEA approach**. Brasília, DF: Banco Central do Brasil, dez., 2009, Brasil. Working Paper Series (200). Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/pec/wps/ingl/wps200.pdf>>. Acesso em: 01 março 2014.

SZMRECSÁNYI, Tamás. Concorrência e complementariedade no setor açucareiro. **Cadernos de Difusão Tecnológica**, Brasília, v. 6, n. 2/3, p. 165-182, maio/dez., 1989.

SZMRECSÁNYI, Tamás et al. **Dimensões, riscos e desafios da atual expansão canavieira**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

TORQUATO, Sérgio Alves; MARTINS, Renata; RAMOS, Soraia de Fátima. Cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: eficiência econômica das regionais novas e tradicionais de produção. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 39, n. 5, p. 92-99, 2009.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Como avançar com a bioeletricidade**. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/cme/audiencias-publicas/01-04-2014-seminario-farina>>. Acesso em: 03 outubro 2014.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 3. ed., São Paulo: Atlas, 2000.

VIANA, Karina R. O.; PEREZ, Ronaldo. Survey of sugarcane industry in Minas Gerais, Brazil: Focus on sustainability. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, n. 58, p. 149-157, 2013.

VIEIRA JÚNIOR, Pedro Aabel et al. Produção brasileira de cana de açúcar e deslocamento da fronteira agrícola no Estado de Mato Grosso. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 38, n. 4, p. 58-77, abr., 2008.

WATKINS, K. Bradley et al. Measuring technical, allocative and economic efficiency of rice production in Arkansas using data envelopment analysis. **Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting**, Orlando, Florida, February, 2013. Disponível em: <<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/142962/2/Watkins%202013.pdf>>. Acesso em: 22 fevereiro 2014.

XAVIER, Carlos Eduardo Osorio. The evolution of production cost in Brazil's cane industry. **F. O. Licht's International Sugar and Sweetener Repor**, London, v. 144, n. 11, p. 204-207, 2012.

XU, Xiaosong; JEFREY, Scott R. Efficiency and technical progress in traditional and modern agriculture: evidence from rice production in China. **Agricultural Economics**, Amsterdam, v. 18, p. 157-165, 1998.