



XIV CONGRESO INTERNACIONAL DE COSTOS

II Congreso Colombiano de Costos y Gestión

*Los costos y la gestión en la ruta
de la innovación y el conocimiento!*

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

Autores:

Nevison Amorim Pereira
nevison@reito.ufu.br

Marcelo Tavares
mtavares@ufu.br

Área temática:

Costos y control de gestión

Metodología aplicada:

M1- Análítica/Modelling

Medellín, Colombia, Septiembre 9, 10, 11 de 2015

Convocan:



FACULTAD DE
CIENCIAS ECONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE
CIENCIAS CONTABLES



RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar 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. Utilizou-se a Análise Envoltória de Dados (DEA) orientada a insumos. O *output* utilizado foi a quantidade de cana produzida 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 a região Centro-Sul tradicional é a mais eficiente tecnicamente. 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 o maior problema das regiões é a quantidade produzida.

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

1 INTRODUÇÃO

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 (CARVALHO; OLIVEIRA, 2006).

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).

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 JUNIOR et al., 2008). Todavia, a produtividade e a competitividade é distinta entre as regiões produtoras devido às tecnologias empregadas e às ações políticas implementadas pelo governo (MARTINS et al., 2007). 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 JUNIOR et al., 2012).

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). Além disso, o crescimento da produção não é determinado apenas pelas inovações tecnológicas, mas também pela eficiência com que as tecnologias disponíveis são utilizadas (NISHIMIZU; PAGE, 1982).

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.

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).

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).

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.

Assim, surge a seguinte questão: qual a eficiência das regiões produtoras de cana-de-açúcar em relação aos custos de produção utilizados?

Para responder a essa questão, o objetivo geral desta pesquisa foi avaliar 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) Determinar o desempenho das três regiões produtoras de cana no Brasil, a partir do cálculo de medidas de eficiência pela técnica DEA;
- b) Identificar a eficiência técnica e de escala das regiões em estudo, quanto à produção de cana-de-açúcar.

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.

Quanto ao aspecto prático, 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, obtém-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.

Além desta introdução, este estudo apresenta quatro capítulos. No segundo capítulo, têm-se o referencial teórico, que consiste na apresentação 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

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).

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).

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. Além disso, as diferenças regionais entre as práticas dos produtores também explicam diferenças nos custos de produção (XAVIER, 2012).

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 e a rotação adequada de culturas com a cana 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).

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).

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 nos seguintes pressupostos: 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 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). 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).

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 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).

A DEA apresenta dois modelos clássicos. 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.

A DEA tem sido utilizada em diversas áreas, inclusive no agronegócio. Em relação à cultura da cana-de-açúcar, alguns estudos têm sido desenvolvidos conforme 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.

Aspectos sociais no segmento de usinas de cana-de-açúcar também têm sido avaliados para identificar a eficiência das usinas. 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).

3 METODOLOGIA

O estudo se caracterizou como descritivo em relação ao objetivo. Quanto aos procedimentos técnicos, empregou-se a pesquisa bibliográfica e a documental. Em relação à abordagem, a pesquisa se classificou como quantitativa.

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). 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.

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

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 1). 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 1 – 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).

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 $s = 1$. Para atender esta condição nem todas as variáveis de custos classificadas no COE, COT e CT foram utilizadas.

No Quadro 2, 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 2 – 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 através dos retornos variáveis (BCC). 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.

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).

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. 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 JUNIOR 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

Os resultados da eficiência das regiões em estudo, apresentados na Tabela 1, evidenciam que a região Centro-Sul tradicional é a mais eficiente, pois quatro das cinco DMUs foram consideradas eficientes (eficiência igual a um). 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.

Tabela 1 – 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.

Esse resultado também vai ao 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.

Visando 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 1). 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).

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 1). 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 1, o menor valor obtido foi de 0,22 (Nordeste safra 2011/2012), e 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.

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 2). 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 Junior 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.

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 2).

Tabela 2 – 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.

Assim, as médias de eficiência de escala e de pura eficiência são, respectivamente, de 0,65 e 0,99 (Tabela 2), 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 2) 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 2, foi possível descrever o principal problema enfrentado pelas regiões produtoras, podendo ser de escala ou eficiência (Tabela 3). 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.

Conforme a Tabela 3, 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.

Tabela 3 – 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.

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

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

Nesta pesquisa, buscou-se 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.

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. Destaca-se a safra 2011/2012 da região Nordeste que apresentou ineficiência tanto técnica quanto de escala.

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.

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 de cana 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 fev. 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.

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.

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.

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.

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.

CARVALHO, Glauco 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.

- CHARNES, Abraham; COOPER, William Wagner; RHODES, Edwardo. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, v. 2, p. 429-444, 1978.
- DYSON, Robert G. et al. Pitfalls and protocols in DEA. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, v. 132, n. 2, p. 245-259, 2001.
- FARRELL, Michael James. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, London, v. 120, n.3, p. 253-290, 1957.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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 jul. 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.
- 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.

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.

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 JUNIOR, 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.

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 Investigación e Docencia Económicas*, Alvaro Obregón, n. 552, 2013. Disponível em <http://www.cide.edu/>. Acesso em: 26 maio 2014.

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 @gronegócio 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 jun. 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.

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.

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

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.

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.

VIEIRA JUNIOR, 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.

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.