



Revista de Economia e Agronegócio - REA  
ISSN impresso: 1679-1614  
ISSN online: 2526-5539  
Vol. 16 | N. 1 | 2018

**Murilo Rossetto**<sup>1\*</sup>  
**Carlos Rosano-Peña**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Brasília,  
Programa de Pós-Graduação em  
Agronegócios, Brasília, Brasil

\* [murilo.rossetto@hotmail.com](mailto:murilo.rossetto@hotmail.com)

## A PRODUTIVIDADE E O IMPACTO DA LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO NA EFICIÊNCIA DA SOJICULTURA BRASILEIRA

### RESUMO

A sojicultura tornou-se uma atividade de grande impacto sobre as exportações e sobre o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. No entanto, um dos principais desafios da atividade se destringe nos elevados custos logísticos de distribuição, os quais acabam prejudicando a competitividade. Nesse contexto, este estudo buscou estimar a eficiência, o impacto da logística de distribuição em seu desempenho e a evolução da produtividade nos principais municípios sojicultores brasileiros, desde o ano de 2007 até o ano de 2014, por meio da Análise Envoltória de Dados, da abordagem metafronteira, do teste de *Wilcoxon-Mann-Whitney* e do Índice de Malmquist. Os resultados indicam que apenas quatro municípios se mantiveram na fronteira eficiente durante os distintos cenários delineados no presente estudo: Sorriso, Sapezal, Rio Verde e Barreiras. Foi constatado que, em média, a eficiência "dentro da fazenda" (primeiro cenário) corresponde a, aproximadamente, 82% do que poderia ser, e, com a inclusão dos custos logísticos (segundo cenário), a eficiência passa a ser algo em torno de 62% da produtividade máxima. Os resultados confirmam o impacto dos custos logísticos de distribuição na eficiência da sojicultura, indicando que a solução dos gargalos logísticos poderia elevá-la em, aproximadamente, 20%. Esses resultados revelam a necessidade de intervenções que visem a melhorar a competitividade da sojicultura.

**Palavras-chave:** Eficiência; Sojicultura; Logística de Distribuição; Análise Envoltória de Dados; Índice de Malmquist.

### ABSTRACT

Soybean has become an activity with a large impact on exports and the Brazilian Gross Domestic Product (GDP). However, one of the sector's main challenges is the high costs of the distribution logistics, which undermine the competitiveness of soybeans. In this context, the present work estimated frontiers of the efficiency and evaluated the productivity of the main municipalities of Brazilian soybean production, using the Data Envelopment Analysis, the meta-frontier approach, the test of *Wilcoxon-Mann-Whitney* and the Malmquist Index. The results indicate that only four municipalities remained at the efficient frontier during both scenarios: Sorriso, Sapezal, Rio Verde and Barreiras. On average, efficiency "on the farm" (1st scenario) is approximately 82% of what it could be, and with the inclusion of logistical costs of distribution (2nd scenario) efficiency is around 62% of the maximum productivity. The results also confirm the impact of the logistic costs of distribution on soybean efficiency, indicating that the solution of the logistic bottlenecks could increase soybeans efficiency by approximately 20%. These results reveal the need for interventions aimed at improving soybeans' competitiveness.

**Keywords:** Efficiency; Soybean; Distribution Logistics; Data Envelopment Analysis; Malmquist Index.

**JEL Code:** C14; D24; Q12; R15.

Recebido em: 13/07/2017  
Revisado em: 21/11/2017  
Aceito em: 30/11/2017



## INTRODUÇÃO

A relevância do complexo soja (grão, farelo e óleo) na economia nacional pôde ser observada a partir dos dados da balança comercial de 2016, que demonstram que essa atividade representou 29,93% das exportações agrícolas, liderando as vendas à frente de setores como o de carnes, café, complexo sucroalcooleiro e produtos florestais (AGROSTAT, 2017). Segundo estudo da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais - ABIOVE, a China e a União Europeia, principais destinos das exportações, foram responsáveis, respectivamente, por aproximadamente 59% e 19% das compras do complexo soja no período de janeiro a outubro do ano de 2016 (ABIOVE, 2017).

No entanto, um dos principais desafios do setor é o alto custo logístico, associado a um conjunto de dificuldades estruturais, burocráticas e econômicas que limitam a competitividade da sojicultora. Ao se tratar de eficiência, Tavares (2004) aponta que o custo de produção da soja brasileira comparada à americana é 28% menor, considerando apenas os custos na propriedade. Contudo, à medida que a análise se expande pela cadeia produtiva, o ônus agregado da infraestrutura logística encarece o produto brasileiro a ponto de a produção americana ser 24% mais viável economicamente. Correa e Ramos (2010) complementam que a infraestrutura logística atual brasileira é deficitária e agrega um alto custo ao produto quando comparada a concorrentes diretos como Estados Unidos (EUA) e Argentina. Nesse contexto, o objetivo principal deste artigo é estimar a eficiência, o impacto da logística de distribuição em seu desempenho e a evolução da produtividade nos principais municípios sojicultores brasileiros, desde o ano de 2007 até o ano de 2014.

Atualmente, o agronegócio é uma atividade econômica relevante para o desenvolvimento brasileiro, tanto do ponto de vista econômico quanto acadêmico e político. Dada tal importância, demandam-se estudos pertinentes à eficiência e à produtividade das fazendas, bem como à eficiência na gestão logística para a distribuição dessa oleaginosa, o que pode ser considerado fator preponderante para a competitividade da respectiva cadeia. Estudos já realizados, como o de Correa e Ramos (2010), apresentam somente o problema da logística para o escoamento da produção e não relatam a questão da eficiência e nem quanto a mesma pode ser impactada por esses custos logísticos de distribuição.

Sendo assim, do ponto de vista acadêmico, suscita-se que a análise de um tema atual e de tal notoriedade possa abrir a possibilidade de pesquisas mais aprofundadas sobre a relevância da eficiência para a produção de *commodities*, assim como da delimitação de regiões propícias para cada cultura, além do impacto da logística de distribuição na concorrência global. O tema deste trabalho pode ser considerado relevante para o meio acadêmico, na medida em que as informações aqui expostas podem ser utilizadas para reflexões relacionadas a organização, estratégia, conduta e desempenho de empresas inseridas nesse mercado. Além da importância no contexto econômico e acadêmico, este artigo também buscou fornecer informações de

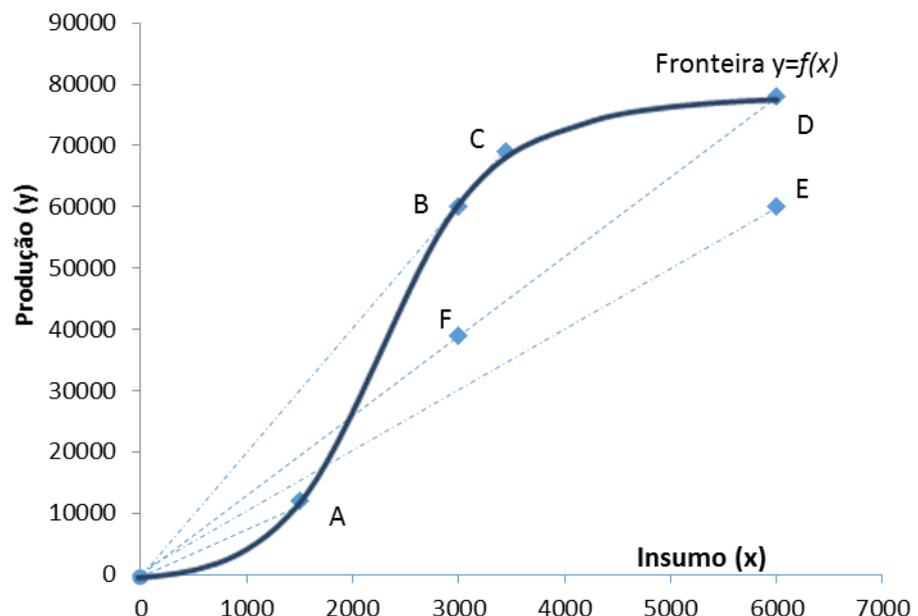
cunho político, com o objetivo de fomentar a elaboração de políticas públicas direcionadas à sojicultura e condizentes com a estrutura logística no país. As informações também poderão ser fornecidas aos sojicultores, com o intuito de orientá-los quanto às melhores práticas empregadas e demais noções correlatas ao desempenho na lavoura.

## REFERENCIAL TEÓRICO E METODOLOGIA

A sojicultora, assim como qualquer ação produtiva, é uma atividade caracterizada como um processo que utiliza múltiplos fatores produtivos (insumos, recursos humanos, terra e capital) e gera produtos, neste caso, o grão de soja. Na literatura econômica, esse processo é caracterizado pelo Conjunto de Possibilidade de Produção (CPP). O CPP é definido pela totalidade de combinações de insumos ou *inputs* ( $x$ ) utilizados e pelo conjunto de *outputs* ( $y$ ) resultantes da transformação desses insumos nas  $i$  unidades tomadoras de decisão observadas (*Decision Making Units - DMUs*) num determinado período de tempo (ROSANO-PENÑA et al., 2013). Formalmente,

$$\text{CPP} = \{(x, y): x \text{ pode produzir } (y) \wedge x, y \geq 0\}.$$

As propriedades clássicas do CPP, formuladas por Grosskopf (1986), determinam um espaço multidimensional formado por uma fronteira e pelos eixos das variáveis envolvidas ( $x, y$ ). Para o caso mais simples, com apenas um insumo para produzir um produto, o CPP pode ser visualizado na Figura 1. O espaço entre a fronteira  $y=f(x)$  e o eixo dos insumos ( $x$ ) indica o CPP que, portanto, é definido por  $y_i \leq f(x)$ .



**Figura 1. Fronteira do CPP**

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para Farrell (1957), a fronteira do CPP é formada pelo maior nível de produção possível com um determinado vetor *input*, ou, analogamente, pela menor quantidade de *inputs* plausível para produzir um dado vetor *output*. Isso quer dizer que as DMUs eficientes constituem a fronteira e as ineficientes colocam-se abaixo dela. Portanto, na Figura 1, os pontos correspondentes às unidades produtivas “A”, “B”, “C” e “D” retratam níveis de produção eficientes, enquanto que os pontos “E” e “F” representam DMUs ineficientes. Desse modo, os índices de ineficiência podem ser obtidos a partir da distância que separa a unidade da fronteira eficiente, ou seja, por meio da comparação das unidades produtivas com as DMUs eficientes.

Daí surge, segundo Farrell (1957), o conceito de eficiência como a capacidade que uma empresa ou economia (DMU) tem de produzir uma dada quantidade de produto com a menor quantidade de insumos possível, ou, equivalentemente, como a competência de maximizar a produção com uma dada quantidade de insumos. Para quantificar a eficiência bem como a produtividade com múltiplos insumos e produtos com funções distância, utilizam-se duas abordagens clássicas: a paramétrica e a não paramétrica.

Os métodos paramétricos partem da escolha de uma função distância paramétrica que expresse a relação funcional entre os produtos e insumos para representar a fronteira do CPP, decompondo o desvio da fronteira em ruído estocástico e ineficiência técnica. Conforme Falcão e Correia (2012), o modelo da fronteira de produção estocástica (*Stochastic Frontier Analysis - SFA*) é definido a partir de uma equação linear, não utiliza dimensões restritas, não tem restrição quanto ao tamanho da amostra e os dados tanto podem ter baixa quanto alta correlação. Já Ohira e Scazufca (2009), ressaltam que entre algumas desvantagens desse método estão a imposição de uma forma funcional para determinada atividade econômica, a escolha da distribuição do erro idiossincrático, a dependência de dados e informações de boa qualidade e a necessidade de o número de observações ser superior a 30 para validação estatística.

Quanto aos métodos não paramétricos, o modelo de Análise Envoltória de Dados (DEA) é o mais utilizado. Ele representa o CPP por meio de fronteiras determinísticas e funções distância aferidas mediante problemas de programação matemática, sem a necessidade de definir previamente uma função estocástica de produção e um tipo de distribuição (comportamento) dos erros desconhecidos, ficando livre das possíveis falhas decorrentes dessas especificações. Contudo, esse método, sendo determinístico, apresenta desvantagens por ignorar as perturbações aleatórias do processo produtivo não controladas pelos gestores, atribuindo todos os desvios da fronteira às ineficiências.

Segundo o estudo bibliométrico realizado por Lampe e Hilgers (2015), o resultado comparativo do quantitativo de contribuições metodológicas e setoriais das publicações envolvendo os métodos DEA e SFA é muito similar, sendo de 58% para o primeiro e de 62% para o segundo. Portanto, ambos são amplamente aceitos em sua aplicação e representam uma área de pesquisa estável. Além disso, o trabalho dos autores demonstra que não

existe consenso na literatura especializada, justificando a escolha da DEA ou de fronteiras estocásticas, já que ambas apresentam vantagens e desvantagens.

Para este estudo, considerando a alta complexidade das relações de mercado da sojicultura e da base de dados disponível para a análise, optou-se por um enfoque não paramétrico. Diante das limitações relacionadas e das demais características da pesquisa, como a multiplicidade de insumos e produtos e a individualização dos índices de eficiência de cada DMU, a abordagem DEA, que usa programação matemática, parece ser a mais apropriada.

## **Análise Envoltória de Dados (DEA)**

### **Modelo DEA/CCR**

A DEA tem como objetivo possibilitar a medição da eficiência de DMUs a partir de múltiplos insumos e produtos, não necessitando dos preços de mercado. Como, em muitos casos, esses preços são parcial ou totalmente desconhecidos, a DEA determina pesos para as variáveis (insumos e produtos) na mensuração da eficiência. Essa flexibilidade na ponderação, atribuída aos *inputs* e *outputs*, permite captar os diferentes contextos (mercados) em que as unidades avaliadas operam, o que determina as diversas formas como combinam os produtos e insumos, devendo ser levada em consideração na hora de avaliar suas ineficiências. Desse modo, cada unidade avaliada é comparada com o conjunto de unidades eficientes que ponderam as variáveis de maneira semelhante, ou seja, que têm o mesmo perfil tecnológico.

Inicialmente proposto por Charnes, Cooper e Rhodes em 1978 para estimar a eficiência técnica global de Farrell (ET), o método DEA foi nomeado DEA-CCR em homenagem a seus autores (COOPER et al., 2006). O DEA-CCR, desenhado de início para análises com retornos constantes de escala, fora posteriormente desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984) para estimar a eficiência técnica pura (ETP), em que foi incluída a possibilidade de retornos variáveis de escala, surgindo o Modelo DEA-BCC, igualmente relacionando as iniciais de seus autores (ROSANO-PEÑA, 2008).

A DEA-CCR pode ser orientada ao insumo ou ao produto. Na ótica orientada aos insumos ( $x$ ), seguindo o conceito de Farrell, buscam-se as unidades mais eficientes (*benchmark*), tendo em vista a máxima redução dos níveis de *inputs*, mantendo-se a produção constante. A formulação do modelo DEA-CCR orientado aos insumos para a DMU<sub>k</sub> (de um grupo de N organizações homogêneas) é apresentada em (1).

$$\text{Max } h_k = \sum_{r=1}^m u_r y_{rk} \quad (1)$$

Sujeito a:

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

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

$$u_i, v_i \geq 0$$

em que:  $y$  é o vetor produto;  $x$ , o vetor insumos;  $u, v$  = pesos;  $r = 1 \dots m$ ;  $i = 1 \dots n$ ;  $j = 1 \dots N$ .

Já pela ótica do modelo orientado aos produtos, objetiva-se a maximização da produção sem que haja incremento no nível de insumos utilizados. Dessa forma, a formulação do modelo DEA-CCR orientado aos produtos para a DMU $_k$  (de um grupo de  $N$  organizações homogêneas) é apresentada em (2).

$$\text{Min } \delta_k = \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} \quad (2)$$

Sujeito a:

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

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

$$u_i, v_i \geq 0$$

em que:  $y$  é o vetor produto;  $x$ , o vetor insumos;  $u, v$  = pesos;  $r = 1 \dots m$ ;  $i = 1 \dots n$ ;  $j = 1 \dots N$ .

Os resultados obtidos em (1) e (2) devem ser análogos. Apenas as DMUs eficientes com  $h=1$  em (1) alcançarão, em (2),  $\delta=1$ . As ineficientes, no modelo orientado aos produtos, apresentarão  $\delta > 1$ , inverso ao modelo (1) ( $\delta=1/h$ ). Assim, se  $h_k$  em (1) for 0,8, em (2), o resultado será  $\delta_k=1,25=1/0,8$ . Isso indica que a unidade  $k$  deverá aumentar os *outputs* de forma proporcional (radial) em 25% ( $1,25-1$ ) ou reduzir os *inputs* em 20% ( $1-0,8$ ) para se tornar eficiente. Na literatura, o método DEA, com frequência, é completado com outras modelagens, que, em função dos objetivos propostos, são mais exaustivas. Dois desses métodos são o de metafronteira e a análise de janelas, ambos utilizados nesta pesquisa.

### Modelo DEA utilizando Metafronteira

O estudo da eficiência através de metafronteiras foi inicialmente desenvolvido por Hayami e Ruttan (1971) e posteriormente complementado por O'Donnell et al. (2008) para utilizar-se da análise de fronteiras eficientes. Essa metodologia é aplicada quando há heterogeneidade tecnológica entre as DMUs, em função do tamanho da propriedade, das condições climáticas ou dos contextos diferenciados em que operam. Ademais, permite estimar uma metafronteira que envelopa os

pontos de produção dos municípios mais eficientes e fronteiras de grupos. Assim, é possível decompor as diferenças de desempenho entre as firmas em eficiência técnica (dentro dos grupos) e efeitos de *gap* tecnológico (entre os grupos). Logo, a utilização dessa metodologia neste estudo, considerando unidades espalhadas ao longo de todo território nacional com diferentes custos logísticos, permite identificar a existência ou não de defasagem de eficiência entre os cenários “dentro da porteira” e “fora da porteira”.

Ao utilizar dois subgrupos, o método calcula três indicadores de eficiência. O primeiro estima a eficiência convencional ( $\delta_k^{g1}, \delta_k^{g2}$ ) para cada uma das DMUs, classificando-as em relação aos agrupamentos. Esse índice indica a eficiência de gestão de cada unidade dentro de seu grupo, podendo ser chamada de intergrupo. O segundo indicador ( $\delta_k^M$ ), utilizando a amostra completa, estima a eficiência baseando-se na distância da DMU em relação à metafronteira (fronteira comum). O terceiro é denominado Razão de *Gap* Tecnológico e calculado da seguinte maneira:  $\delta_k^M / \delta_k^g$ . Esse indicador mede o desvio da fronteira específica de cada grupo da metafronteira. Assim, é estabelecida a chamada eficiência intragrupo, de tal forma que quanto maior o valor para um grupo, mais avançada é a tecnologia de produção que ele adota.

### Modelo de Janelas

A análise de janela consiste em um método estruturado para se misturar, em uma mesma aplicação, DMUs referentes a diversos períodos distintos, tratando-as como independentes. Dessa forma, as N DMUs são analisadas em T períodos ( $t=1, 2, \dots, T$ ) e utilizam n insumos  $x_n^t$  para produzir m produtos  $y_m^t$ . A amostra tem, por conseguinte,  $N \times T$  observações. De acordo com Cook et al. (2001), essa é uma das formas de se incluir o fator tempo dentro da técnica DEA. Assim, o desempenho de uma DMU em um ano pode ser comparado com o seu próprio desempenho em outro ano, bem como com a eficiência das outras DMUs. Isso aumenta o número de unidades analisadas, o que pode ser útil quando se lida com pequenas amostras. Porém, essa abordagem assume implicitamente que não há mudanças tecnológicas dentro de cada uma das janelas.

Cook et al. (2001) indicam que, atualmente, a disponibilidade de dados históricos da mesma DMU é frequente, possibilitando análises quanto à evolução na eficiência de determinada firma ao longo do tempo. Ao utilizar a técnica de janelas, o fator tempo é incluso no método DEA, tratando cada ano de produção como uma DMU diferente. Após a aplicação do DEA sobre as janelas, pode-se calcular tanto a média das eficiências obtidas em todos os períodos quanto o valor do desvio padrão entre elas. Para calcular os ajustes em relação à fronteira eficiente, utiliza-se o resultado das folgas entre as DMUs, que correspondem às médias obtidas nos respectivos anos (ROCHA et al., 2015).

## Índice de Produtividade de Malmquist (IPM)

Outra maneira de se avaliar a dinâmica do desempenho de DMUs é através do Índice de Malmquist (IPM). Esse indicador foi concebido, em 1953, por Sten Malmquist em 1953, que construiu um índice de quantidade utilizando funções distância de Shephard dentro do contexto da teoria do consumidor. Mas, posteriormente o índice ganhou destaque no contexto da teoria da produção quando se tentou avaliar processos produtivos em que múltiplos insumos são transformados em múltiplos produtos. Este tipo de indicador é denominado de produtividade total de fatores (PTF). Segundo Caves, Christensen e Diewert (1982), este método é utilizado para medir a evolução na produtividade de empresas ao longo do tempo.

O IPM tem muitas virtudes, dentre elas pode-se destacar a utilização de funções distância orientadas aos insumos ou aos produtos que dispensam a utilização de uma relação funcional entre insumos e produtos para caracterizar o CPP, o que é muito útil quando os objetivos dos produtores são diferentes, ou ainda, quando estes são desconhecidos. Outra característica desejável é a possibilidade do desmembramento das mudanças de produtividade total dos fatores em mudança da eficiência e mudança tecnológica, permitindo, dessa forma, conhecer a natureza da modificação do progresso.

Segundo Färe et al (1994), uma forma de definir o índice de Malmquist é dada por:

$$IPM_o^{t,t+1} = \frac{ET_t^t}{ET_{t+1}^{t+1}} \left( \frac{ET_{t+1}^{t+1}}{ET_{t+1}^t} \frac{ET_t^t}{ET_t^{t+1}} \right)^{1/2} \quad (3)$$

Desse modo, segundo Rosano-Peña et al. (2012), diferentemente dos índices de produtividade clássicos, o IPM permite que se separe a evolução da eficiência produtiva dos deslocamentos da fronteira. O primeiro quociente do lado direito em (3), mede o quão distante a unidade avaliada encontra-se da fronteira eficiente entre os períodos  $t$  e  $t+1$ , captando a evolução da ET, efeito chamado de *catching-up*. Dessa forma, é medida a variação da eficiência relativa, podendo ser menor, igual ou maior que um, em função da queda, manutenção ou melhoria na eficiência, respectivamente. Já o segundo quociente em (3), capta o deslocamento médio geométrico da fronteira tecnológica entre os dois períodos avaliados em relação ao nível de *inputs*  $x^t$  e  $x^{t+1}$ , bem como representa a mudança tecnológica (técnica e organizacional). Se o deslocamento for maior que um, indicará progresso, resultante da inovação no setor, e se menor, retrocesso. Assim, o índice de Malmquist é interpretado da seguinte forma:

- a)  $IPM > 1$ : implica que a Produtividade Total de Fatores (PTF) no período  $t+1$  é superior à do período  $t$ .
- b)  $IPM = 1$ : implica que a distância entre a produção observada em  $t+1$  e o produto potencial em  $t$  se manteve constante.
- c)  $IPM < 1$ : induz que a PTF decresceu.

### Teste *Wilcoxon-Mann-Whitney*

A logística de distribuição para o agronegócio no Brasil pode ser considerada um dos principais entraves à eficiência de produtores e produtos agrícolas brasileiros. Portanto, este estudo visa a também, entre seus diversos objetivos, verificar se há diferenças nas medidas de eficiência entre os produtores que dispõem de maiores e de menores infraestruturas de logística de distribuição. Para isso, utilizou-se do Teste de *Wilcoxon-Mann-Whitney*. Essa ferramenta pretende comprovar se amostras diferentes foram ou não retiradas da mesma população. Trata-se de um mecanismo alternativo ao Teste “T”, utilizado quando as suposições de normalidade não são verificadas ou quando a amostra é pequena.

Inicialmente, é realizada a classificação dos valores observados, tendo em vista o *rank* ou *score* de cada um. Após elaborada a ordenação, o teste consiste na substituição dos dados iniciais pelos resultantes de sua posição no *ranking*. Por fim, define-se o cálculo estatístico do teste.

### Base de Dados - Municípios e Variáveis

Embora a sojicultura esteja disseminada ao longo de todos os biomas brasileiros, o volume produzido dessa cultura está concentrado em algumas regiões específicas, conforme demonstrado em capítulos anteriores. De acordo com os dados da Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2015), as Regiões Centro-Oeste e Sul foram responsáveis por aproximadamente 81% do volume produzido na safra 2014/15. Com base nessa informação, a seleção dos municípios pesquisados ocorreu em função da representatividade de cada um em relação ao volume total produzido no Brasil, como também em razão de sua importância para a respectiva região. Portanto, para fins de análise, utilizou-se os principais municípios brasileiros sojicultores definidos pela CONAB como modelos em seus Estados.

A Tabela 1 a seguir lista os municípios (DMUs), suas Mesorregiões e seus Estados, bem como o número de vezes que participaram da análise de janela, pois, como já explicado, com essa técnica, eles são analisados em vários períodos.

Dessa forma, para análise da eficiência através da DEA, modelo de janela, foram utilizadas um total de 97 DMUs, compostas por 13 municípios, sendo todas referências para suas respectivas Regiões. Uma peculiaridade, referente exclusivamente ao Estado do Rio Grande do Sul, diz respeito à evolução da análise para municípios vizinhos ao longo do período de 2007 a 2014. Tal mudança é explicada pela proximidade entre os municípios e pela disponibilidade de fazendas-modelo, não alterando o objetivo principal do estudo, visto que as condições climáticas e de relevo são similares em ambas as localidades. As DMUs Cruz Alta, nos anos de 2013 e 2014, foram agrupadas às DMUs Passo Fundo, que detêm a base de dados de 2007 a 2012. Embora ambos os municípios tenham divisas em comum, a distância geográfica entre as cidades é de 149 quilômetros. O mesmo caso

ocorre entre Santa Rosa (2008) e São Luiz Gonzaga (2009 a 2014), sendo que a distância entre ambas é de 116 quilômetros.

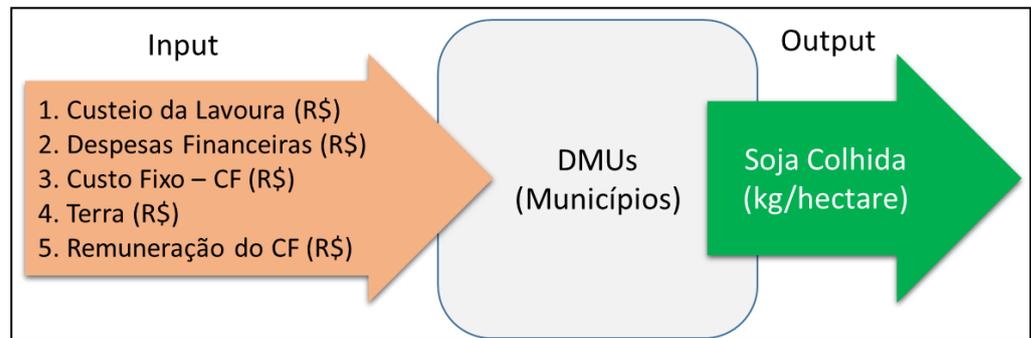
**Tabela 1. Municípios e Mesorregiões dos Estados pesquisados**

Estado	Mesorregião	Município	Quantidade de DMUs
Bahia	Oeste Baiano	Barreiras	8
Goiás	Sudoeste Goiano	Rio Verde	8
Goiás	Leste Goiano	Cristalina	4
Maranhão	Sul Maranhense	Balsas	8
Minas Gerais	Noroeste de Minas	Unaí	8
Mato Grosso	Sudeste Mato-grossense	Primavera do Leste	8
Mato Grosso	Norte Mato-grossense	Sapezal	8
Mato Grosso	Norte Mato-grossense	Sorriso	8
Mato Grosso do Sul	Leste de Mato Grosso do Sul	Chapadão do Sul	8
Paraná	Centro Ocidental Paranaense	Campo Mourão	8
Paraná	Norte Central Paranaense	Londrina	6
Rio Grande do Sul	Noroeste Rio-Grandense	São Luiz Gonzaga	7
Rio Grande do Sul	Noroeste Rio-Grandense	Passo Fundo	8
TOTAL			97

Fonte: Elaborado pelos autores.

Além de analisar os municípios selecionados, buscou-se, neste trabalho, testar o impacto da logística de escoamento da soja na eficiência. Para isso, foram desenhados dois cenários: 1) aquele limitado à produção interna da propriedade e 2) aquele que incorpora ao desempenho da propriedade os custos logísticos de distribuição. Esses dois grupos serão utilizados na análise de metafronteira e seus diferentes níveis de eficiência serão examinados por meio do teste U de *Mann-Whitney*.

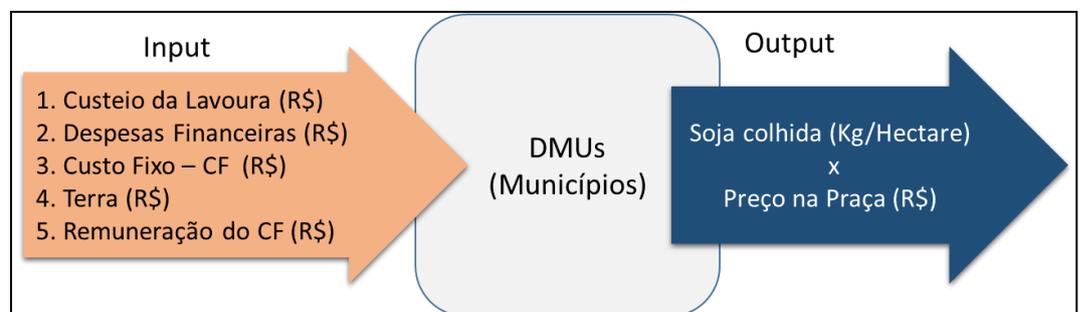
O primeiro cenário, conforme observa-se na Figura 2, contempla como insumos: mão de obra, área plantada, capital e insumos agrícolas diretos (fertilizantes, agroquímicos e sementes), todos mensurados em R\$/hectare. Como produto, considerou-se a produção em sacas de soja por hectare.



**Figura 2. Cenário “dentro da porteira”.**

Fonte: Elaborado pelos autores.

O segundo cenário, conforme observa-se na Figura 3, contempla como insumos as mesmas variáveis do anterior: mão de obra, área plantada, capital e insumos agrícolas diretos (fertilizantes, agroquímicos e sementes). Como produto, diferentemente do primeiro cenário, considerou-se a receita média das sacas por hectare, estimada de acordo com o preço na praça referência de cada município. Ademais, essa receita inclui o impacto dos custos da logística de distribuição.



**Figura 3. Cenário “dentro e fora da porteira”.**

Fonte: Elaborado pelos autores.

As unidades de medida das variáveis selecionadas determinam a escolha do método DEA-CCR orientado ao produto. A normalização dos valores pelos hectares de terra ameniza a escala de operações das unidades produtivas analisadas, o que justifica a utilização dos métodos com retornos constantes de escala, como o DEA-CCR. A orientação ao produto está determinada pelo pressuposto de que os produtores rurais, diante do constante aumento da demanda, buscam maximizar a produção com os recursos disponíveis.

Os *inputs* e *outputs* escolhidos neste trabalho seguem as variáveis clássicas encontradas na revisão da literatura sobre a agricultura (GOMES et al., 2005). Ressalta-se que os insumos têm uma alta representatividade na estrutura do custo de produção das propriedades agrícolas. Os dados dos *inputs* e *outputs* foram obtidos a partir da Série Histórica de Custos de Produção para Culturas de Verão, elaborada pela Companhia Nacional de

Abastecimento (CONAB), filtrada para os anos de 2007 a 2014. Destaca-se aqui a atualidade dos dados, compreendendo uma série histórica desde 1998 a 2014. Por esse motivo, optou-se pela não utilização das informações contidas no Censo Agropecuário de 2006 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. A partir da Tabela 2, percebe-se a disparidade dos dados em função da localização de cada município.

**Tabela 2. Estatística da Base de Dados**

	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Médio	Desvio Padrão
Despesas de Custeio da Lavoura (R\$)	1971,74	680,42	1.166,34	233,16
Despesas Financeiras e Pós-colheita (R\$)	501,05	146,09	295,46	77,89
Custo Fixo (R\$)	693,39	102,47	251,67	100,23
Terra (R\$)	5567,88	32,45	302,90	121,41
Remuneração Capital Fixo (R\$)	193,44	11,06	66,47	37,63
Produção (Kg/Ha)	3.300,00	1.800,00	2.881,67	299,55

Fonte: Elaborado pelos autores.

A utilização das séries históricas, compostas por dados referentes ao período de 2007 a 2014, exige sua deflação. Para isso, utilizou-se do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), conforme exposto na Tabela 3. Esse índice, elaborado pelo IBGE desde 1979, acompanha a inflação e tem como unidades de coleta os estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços, públicos ou privados. Quanto ao período, o indicador é disponibilizado mensalmente, porém, por ser foco deste estudo a safra de soja, os índices considerados foram anuais, com referência ao mês de janeiro.

**Tabela 3. Índice IPCA - Mês Referência Janeiro**

Ano	Inflação	IPCA	IPCA Acumulado
2007	-	-	-
2008	5,9%	1,059	1,059
2009	4,31%	1,0431	1,104
2010	5,91%	1,0591	1,169
2011	6,5%	1,065	1,245
2012	5,84%	1,0584	1,318
2013	5,91%	1,0591	1,396
2014	6,40%	1,064	1,486

Fonte: IBGE (2016).

Para avaliar a dinâmica da produtividade através do Índice de Produtividade de Malmquist-IPM, 24 DMUs foram separadas em dois blocos de dados:

i) Bloco "A": DMUs no ano de 2007;

ii) Bloco “B”: DMUs no ano de 2014.

Dessa forma, calculou-se a média para cada *input* e *output* de ambos os blocos. Entretanto, em função da indisponibilidade de dados para todos os municípios, no período de 2007 a 2014, apenas o de Cristalina não foi incluído na análise do IPM. Para calcular os índices de eficiência no Modelo CCR, foi utilizado o programa MaxDEA Pro 6.1. Já para o cálculo dos Índices de Malmquist (IPM), utilizou-se o programa DEAP (COELLI, 1996), enquanto que para a análise estatística dos índices de eficiência e o teste *Wilcoxon-Mann-Whitney*, o software utilizado foi o Programa “R”, versão 3.3.1.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos dados da amostra selecionada e dos métodos descritos anteriormente, é apresentada nesta seção a análise dos resultados. Porém, a princípio, julga-se necessário lembrar que o modelo CCR busca a identificação da eficiência técnica global, enquanto o modelo BCC tem como objetivo estimar a ineficiência técnica pura, que desconsidera o tamanho ótimo das propriedades. Ambos os índices variam de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior a eficiência. Para o IPM, um índice menor que 1 indica retrocesso, igual a 1 corresponde à constância e maior que 1 significa um progresso da produtividade.

### Análise da Eficiência no Modelo CCR/CRS - Cenário 1

No cenário 1, em que se considera produto apenas a produção em quilos por hectare ou, como aqui definido, a produção “dentro da porteira”, o modelo CCR, conforme já mencionado, propõe analisar a eficiência da unidade produtiva considerando retornos constantes de escala. Verifica-se que, para esse cenário, a distribuição dos índices ficou relativamente concentrada em valores acima de 0,6, com um valor mínimo de 0,55, máximo de 1 e uma média de 0,83. Sendo assim, a partir desses dados, pode-se aferir que, em média, os municípios sojicultores ineficientes podem elevar o valor da produção com os insumos disponíveis. Isso pode ser atingido apenas imitando as melhores práticas, ou seja, tendo como referência os municípios eficientes da amostra.

A Tabela 4 apresenta o *ranking* das melhores práticas. Nele, assumem a primeira posição as DMUs que obtiveram *score* igual a 1. As demais seguem a ordem normal de distribuição. Logo, entre as melhores práticas, doze unidades são consideradas eficientes: Balsas 2010, Barreiras 2010, Barreiras 2013, Chapadão do Sul 2008, Rio Verde 2008, Rio Verde 2009, Rio Verde 2010, Rio Verde 2013, Rio Verde 2014, São Luiz Gonzaga 2010, Sapezal 2013 e Sorriso 2014.

**Tabela 4. Ranking 20 melhores práticas - Cenário 1 Modelo CCR - Orientado ao Produto**

<i>Rank</i>	<i>DMU</i>	<i>Score</i>	<i>Benchmark</i>
1	Balsas2010	1.00	Balsas2010
1	Barreiras2010	1.00	Barreiras2010
1	Barreiras2013	1.00	Barreiras2013
1	ChapadãodoSul2008	1.00	ChapadãodoSul2008
1	RioVerde2008	1.00	RioVerde2008
1	RioVerde2009	1.00	RioVerde2009
1	RioVerde2010	1.00	RioVerde2010
1	RioVerde2013	1.00	RioVerde2013
1	RioVerde2014	1.00	RioVerde2014
1	SãoLuizGonzaga2010	1.00	SãoLuizGonzaga2010
1	Sapezal2013	1.00	Sapezal2013
1	Sorriso2014	1.00	Sorriso2014
13	RioVerde2012	0.99	RioVerde2013
14	PassoFundo2007	0.97	Balsas2010; Barreiras2010; RioVerde2014
15	Sorriso2010	0.97	RioVerde2008; RioVerde2013; RioVerde2014
16	Londrina2007	0.97	Barreiras2010; RioVerde2010; RioVerde2014
17	PassoFundo2012	0.96	RioVerde2013
18	Balsas2013	0.96	Balsas2010; Barreiras2010; RioVerde2014; Sorriso2014
19	SãoLuizGonzaga2009	0.96	Barreiras2013; SãoLuizGonzaga2010
20	Balsas2014	0.95	Balsas2010; Barreiras2010; RioVerde2014; Sorriso2014

Fonte: Dados de pesquisa.

O município de Rio Verde, no Estado de Goiás, foi destaque nesse *ranking*, pois esteve presente seis vezes entre as vinte melhores práticas e ainda apresentou o *score* máximo (igual a 1) em cinco oportunidades. Além dos vastos campos agricultáveis, o município conta, na atualidade, com grande incentivo privado, levando em consideração as diversas multinacionais e também empresas nacionais do agronegócio presentes na região.

Em função da atividade agropecuária, estão presentes, desde 2009, no município, grandes organizações comercializadoras de grãos, como Perdigão, Cargill, Siol Alimentos, Kowalski Alimentos, Comigo e Brejeiro (RIO VERDE, 2009). Além das empresas do elo da comercialização, ressaltase também a presença de diversas companhias de fornecimento de insumos. Além disso, a região é privilegiada com instituições de ensino privadas e públicas, as quais têm papel fundamental na formação de profissionais qualificados. Em termos econômicos, o município vem se mantendo como quarto maior PIB do Estado de Goiás, somando, em 2013, aproximadamente R\$ 7,3 bilhões, com participação da agropecuária em cerca de 16,1% desse total (IBGE, 2013).

Outro município que merece destaque no quesito eficiência é o de Barreiras, no Estado da Bahia, que se apresentou como eficiente (*score* igual a 1) em dois casos (Barreiras2010 e Barreiras2013), sendo que, nessa localidade, as plantações de soja se iniciaram na década de 1990 e vêm se expandindo e impulsionando o crescimento econômico da região (FREITAS, 2011). Vale destacar que, na região em que está localizado esse município, os resultados

são considerados expressivos devido à expansão da área cultivada, à oferta de bens agrícolas e, em especial, à elevação da produtividade (SICSÚ; LIMA, 2000)

Os municípios de Londrina, Passo Fundo e São Luiz Gonzaga, representando a Região Sul do Brasil, tradicional na sojicultura desde meados da década de 60, representaram apenas 25% das observações. Ainda que essas regiões possuam custos de oportunidade da terra superiores ao de regiões de fronteira, as mesmas conseguiram ser eficientes quanto aos demais custos e à maximização do produto o suficiente para figurarem nesse *ranking*. Por outro lado, os municípios de Balsas, Barreiras, Rio Verde, Sapezal e Sorriso, localizados nas Regiões Centro-Oeste e Nordeste do Brasil, representaram os outros 75% das vinte melhores práticas.

Sendo assim, nota-se, então, a partir desse *ranking*, a predominância, neste cenário, de regiões de fronteira agrícola, ou seja, dispostas no cerrado, interior do país. Esse resultado, gerado pelo modelo CCR, corrobora a afirmação de que regiões de fronteira agrícola são mais eficientes “dentro da porteira”, em virtude do baixo custo de oportunidade da terra atrelado à maior escala de produção. Por outra perspectiva, o *ranking* exposto na Tabela 5 revela as vinte piores práticas ao levar-se em consideração o cenário 1.

Conforme apresentado na Tabela 5, as posições dessas DMUs aparecem de maneira invertida em relação à tabela anterior, pois as piores práticas estão no topo da lista, considerando o *ranking* ordenado de maneira decrescente. Por conseguinte, a DMU Unai 2008 se encontra mais distante da fronteira eficiente, pois obteve um *score* de 0,60, ficando aquém da fronteira em, aproximadamente, 2.125,98 quilos/hectare, o que representa um percentual de melhoria necessária de algo em torno de 79%, mantendo-se constante os insumos utilizados. Como referência para essa DMU, têm-se Barreiras 2010, Rio Verde 2010 e Rio Verde 2014.

Os resultados calculados para esse cenário apontam para um desequilíbrio entre zonas tradicionais e de fronteira agrícola, no que tange à ineficiência “dentro da porteira”. Calcula-se que exatamente 40% das observações são compostas pelos municípios de Passo Fundo (4) e São Luiz Gonzaga (4), os quais estão localizados na Região Sul do país. Esses dois municípios somaram um total de 8 observações, distribuídas praticamente em todos os anos analisados. Dada essa concentração de DMUs ineficientes em apenas dois municípios, é possível afirmar que os mesmos tendem a mudar de atividade, tendo em vista que, nesse período, apresentaram ineficiência na sojicultura.

**Tabela 5. Ranking 20 piores práticas - Cenário 1 Modelo CCR - Orientado ao Produto**

<i>Rank</i>	<i>DMU</i>	<i>Score</i>	<i>Benchmark</i>
97	Unai2008	0.56	Barreiras2010; RioVerde2010; RioVerde2014
96	SãoLuizGonzaga2014	0.61	Balsas2010; Barreiras2010; RioVerde2014
95	SãoLuizGonzaga2012	0.61	Barreiras2010; RioVerde2010; RioVerde2014
94	PassoFundo2013	0.62	Barreiras2013; RioVerde2013; SãoLuizGonzaga2010
93	SãoLuizGonzaga2013	0.62	Balsas2010; Barreiras2010; RioVerde2014
92	Barreiras2014	0.63	Barreiras2010; RioVerde2013
91	Chapadão do Sul2014	0.64	Barreiras2010; RioVerde2010; RioVerde2013
90	Balsas2008	0.64	Barreiras2010; RioVerde2014; Sorriso2014
89	Primavera do Leste2008	0.66	Barreiras2010; RioVerde2014; Sorriso2014
88	PassoFundo2008	0.67	Barreiras2010; RioVerde2013; RioVerde2014
87	PassoFundo2014	0.67	RioVerde2013
86	SãoLuizGonzaga2011	0.67	Barreiras2010; RioVerde2010; RioVerde2014
85	Unai2011	0.68	Barreiras2010; RioVerde2010; RioVerde2013
84	Sapezal2008	0.69	Barreiras2010; RioVerde2010; RioVerde2014
83	Primavera do Leste2012	0.70	Barreiras2010; RioVerde2013
82	PassoFundo2009	0.70	RioVerde2010; RioVerde2013; RioVerde2014
81	Unai2012	0.70	RioVerde2013
80	Unai2007	0.71	RioVerde2010; RioVerde2013; RioVerde2014
79	Sapezal2007	0.72	BarreirasPC2010; RioVerde2010; RioVerde2014
78	Primavera do Leste2009	0.73	Barreiras2010; RioVerde2014; Sorriso2014

Fonte: Dados de pesquisa.

O restante das observações não mencionadas se concentraram em 6 municípios: Unai (4), Primavera do Leste (3), Balsas (1), Barreiras (1), Chapadão do Sul (1) e Sapezal (2). Para aqueles que figuraram entre uma e duas observações, pode ser possível apontar um fator externo ao processo, como uma variável não controlada, a fim de explicar essa ineficiência. Já Unai e Primavera do Leste, se assemelham ao perfil dos municípios sulistas, ou seja, emergem com possibilidade de mudança de atividade, dada a ineficiência aferida. Ainda que ambos tenham largas extensões de áreas destinadas ao cultivo de soja, para que se tornem eficientes, os mesmos devem trabalhar em prol, principalmente, do aumento na produtividade ou da redução nos custos de produção, haja vista que, nesse cenário, analisaram-se apenas os fatores internos à propriedade.

### **Análise da Eficiência no Modelo CCR/CRS - Cenário 2**

Após a análise restrita à propriedade rural na seção anterior, na qual se buscou avaliar a eficiência dos municípios em diferentes anos, observando apenas fatores circunscritos à produção na unidade, buscou-se extrapolar o estudo para um macroambiente, considerando também os custos com a logística de distribuição. Diferentemente do cenário anterior, para este considerou-se a receita média das sacas por hectare como *output*, estimada com base no preço na praça referência de cada município. Vale destacar que essa receita inclui o impacto dos custos da logística de distribuição.

Ao contrário do primeiro cenário, os dados do segundo, por envolverem mais variáveis que impactam diretamente no produto, deslocaram a curva

de melhores práticas para baixo. Para este cenário, o mínimo da série ficou em 0,34, a média foi igual a 0,64 e o máximo, igual a 1. Verifica-se também que ocorre uma concentração dos índices no intervalo de 0,4 a 0,7, o que acaba por distinguir esses resultados daqueles observados anteriormente. Dessa forma, entende-se que os custos logísticos acarretaram uma redução de aproximadamente 25,6% na média dos valores do cenário, se comparados ao anterior.

Assim, a fim de identificar quais municípios tiveram sua eficiência afetada pela logística, é apresentado abaixo o *ranking* das práticas eficientes com seus respectivos *scores*, utilizando o modelo CCR orientado ao produto. Embora este cenário tenha envolvido variáveis que, na teoria, prejudicam as regiões que ficam mais distantes dos locais de escoamento da produção, os municípios de Barreiras, Rio Verde, Sapezal e Sorriso se sobressaíram, representando a fronteira eficiente, com índice igual a 1.

**Tabela 6. Ranking 20 melhores práticas - Cenário 2 Modelo CCR - Orientado ao Produto**

<i>Rank</i>	<i>DMU</i>	<i>Score</i>	<i>Benchmark</i>
1	Barreiras2013	1.00	Barreiras2013
1	RioVerde2013	1.00	RioVerde2013
1	RioVerde2014	1.00	RioVerde2014
1	Sapezal2013	1.00	Sapezal2013
1	Sorriso2014	1.00	Sorriso2014
6	CampoMourão2014	0.97	RioVerde2013; RioVerde2014
7	Balsas2014	0.97	RioVerde2014; Sorriso2014
8	SãoLuizGonzaga2010	0.94	Barreiras2013; RioVerde2013
9	Balsas2013	0.92	RioVerde2014; Sorriso2014
10	CampoMourão2013	0.91	RioVerde2013; RioVerde2014
11	Cristalina2014	0.91	Barreiras2013; RioVerde2013; RioVerde2014
12	PrimaveradoLeste2014	0.91	RioVerde2014; Sorriso2014
13	Sapezal2014	0.90	RioVerde2014; Sorriso2014
14	Sorriso2013	0.88	Barreiras2013; RioVerde2013; RioVerde2014
15	Barreiras2010	0.85	RioVerde2014; Sorriso2014
16	Cristalina2013	0.81	RioVerde2013; RioVerde2014
17	ChapadãoodoSul2013	0.81	RioVerde2013; RioVerde2014
18	Unai2014	0.80	RioVerde2014; Sorriso2014
19	PrimaveradoLeste2013	0.79	RioVerde2013; RioVerde2014
20	SãoLuizGonzaga2009	0.79	Barreiras2013

Fonte: Dados de pesquisa.

Abaixo da fronteira eficiente, ou seja, das DMUs que obtiveram *score* igual a 1, encontra-se um grupo com 8 unidades que se aproximam dessa curva, sendo que alcançaram um *score* mínimo de 0,9. Nessa faixa, estão Campo Mourão (2), Balsas (2), São Luiz Gonzaga, Cristalina, Primavera do Leste e Sapezal. Ressalta-se que para essa parcela também há predominância de municípios de fronteira agrícola, somando 5 observações, ou seja, aproximadamente 62,5% dos totais de DMUs.

Entre as melhores práticas, levando em consideração o cenário 1 na Tabela 4 e o cenário 2 na Tabela 6, verifica-se que apenas quatro municípios, independentemente do período analisado, se mantiveram na fronteira eficiente durante ambos os cenários, os quais foram: Sorriso, Sapezal, Rio Verde e Barreiras. Vale destacar que eles se localizam nos Estados de Mato Grosso, Goiás e Bahia, e pertencem ao grupo aqui considerado como de fronteira agrícola. Dessa forma, apesar de estarem mais distantes dos principais portos de escoamento da produção, é possível inferir que, mesmo com a introdução dos custos logísticos de distribuição, esses municípios ainda apresentam eficiência nesse tipo de produção.

**Tabela 7. Ranking 20 piores práticas - Cenário 2 Modelo CCR - Orientado ao Produto**

<i>Rank</i>	<i>DMU</i>	<i>Score</i>	<i>Benchmark</i>
97	Unai2007	0.34	RioVerde2013; RioVerde2014
96	Unai2008	0.37	RioVerde2013; RioVerde2014
95	Sapezal2007	0.38	RioVerde2013; Sorriso2014
94	RioVerde2007	0.39	RioVerde2013; RioVerde2014
93	ChapadãoDoSul2007	0.40	Barreiras2013; RioVerde2013; RioVerde2014
92	Balsas2008	0.42	RioVerde2014; Sorriso2014
91	SãoLuizGonzaga2012	0.43	RioVerde2014; Sorriso2014
90	PrimaveradoLeste2007	0.44	RioVerde2013; RioVerde2014
89	Balsas2007	0.45	RioVerde2014; Sorriso2014
88	Balsas2009	0.46	RioVerde2014; Sorriso2014
87	PrimaveradoLeste2008	0.46	RioVerde2014; Sorriso2014
86	PassoFundo2008	0.46	RioVerde2013; RioVerde2014
85	PassoFundo2009	0.47	RioVerde2013; RioVerde2014
84	Barreiras2007	0.48	RioVerde2014; Sorriso2014
83	Sorriso2007	0.48	Barreiras2013; RioVerde2013; RioVerde2014
82	PassoFundo2007	0.48	RioVerde2014; Sorriso2014
81	CampoMourão2007	0.48	RioVerde2013; RioVerde2014
80	Londrina2007	0.49	RioVerde2013; RioVerde2014
79	Unai2012	0.49	RioVerde2013
78	PrimaveradoLeste2012	0.49	RioVerde2013; RioVerde2014

Fonte: Dados de pesquisa.

Verifica-se, a partir dos dados da Tabela 7, que a faixa de valores obtidos nesse cenário para piores práticas é muito inferior se comparado ao anterior. Enquanto que as vinte piores práticas no primeiro cenário possuem um *score* que varia entre 0,56 a 0,73, o *ranking* para o cenário “dentro e fora da porteira” varia de 0,34 a 0,49. Essa variação reflete o impacto geral dos custos da logística de distribuição em ambos os grupos de DMUs.

Por conseguinte, há de se realçar que o município de Unai figurou como as piores DMUs nesse cenário, dado que a DMU “Unai2007” obteve o *score* mínimo de 0,34, ficando aquém da fronteira em 2.552,60 unidades de medida, o que representa um aumento na receita com produto em aproximadamente 190%, mantendo-se constante o dado nível de insumos. Há de se destacar o fato de esse município ficar geograficamente distante dos portos de escoamento da produção, o que pode ter contribuído para os resultados observados nesse cenário.

Em termos de equilíbrio entre áreas, as zonas de fronteira dominam os índices de piores práticas frente a regiões tradicionais. Enquanto que, no primeiro cenário, elas representavam 60% das observações, no segundo, a representatividade obteve ligeira alta, passando para 70%. Esses dados corroboram a teoria de que, embora alguns municípios de fronteira consigam manter sua eficiência mesmo com os custos logísticos agregados, a maioria tende a piorar seu *score*, haja vista que o custo de deslocamento e a infraestrutura deficitária de armazenagem têm grande impacto na eficiência pós-colheita, o que já pôde ser observado no estudo de Correa e Ramos (2010).

### Avaliação Inter/Intragrupo e Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney

No Brasil, o custo logístico para o escoamento da produção de grãos em áreas de difícil acesso e afastadas de grandes centros é bastante elevado (CORREA; RAMOS, 2010), o que acaba por afetar a eficiência da produção de soja no país. Ao levar esse contexto em consideração, e como os níveis de eficiência medidos relativamente a uma fronteira não podem ser comparados com os relacionados a outra fronteira, analisou-se o desempenho dos municípios dos dois grupos em relação à metafronteira, sendo que os resultados estão registrados na Tabela 8.

**Tabela 8. Resumo Estatístico dos Resultados**

		Cenário	
		1	2
Eficiência Intergrupo (fronteira de grupo)	Média	0,83	0,64
	Desvio	0,12	0,16
	Mínimo	0,55	0,34
	Eficientes	12	5
Eficiência Intragrupo (metafronteira)	Média	0,82	0,61
	Desvio	0,11	0,16
	Mínimo	0,55	0,34
	Eficientes	8	4
Razão de <i>Gap</i> Tecnológico	Média	0,99	0,96
	Desvio	0,01	0,04
	Mínimo	0,95	0,78

Fonte: Dados de pesquisa.

Na Tabela 8, pode-se notar as diferenças entre os dois cenários. Na análise intergrupo, a quantidade de DMUs eficientes no segundo cenário é menor, conforme pode ser visualizado nas seções anteriores, sendo que esse número decresce de 12, no primeiro, para 5, no segundo. Além disso, como se esperava desde o ponto de vista teórico, as médias relativas à metafronteira do primeiro cenário são maiores que as do segundo, e os desvios padrão indicam que o primeiro é menos heterogêneo que o segundo. Esses resultados mostram que, quando se toma como referência a metafronteira, o primeiro cenário é o que apresenta a maior eficiência, ou

seja, a inclusão dos custos logísticos torna as unidades produtivas mais ineficientes.

Assim, ao se levar em consideração as médias dos dois cenários, pode deduzir-se que os impactos dos custos logísticos representam um decréscimo de aproximadamente 0,21 (0,82-0,61) na média da eficiência. Em outras palavras, com base nos dados analisados, a solução dos entraves logísticos, já identificados na literatura por Correa e Ramos (2010), poderia elevar a eficiência da sojicultora em algo em torno de 20%.

As estimativas da fronteira para cada grupo e da metafronteira permitem calcular a Razão de *Gap* Tecnológico, registrada na Tabela 8, que avalia a distância da fronteira de cada cenário à metafronteira. Como explicado na seção referente à metodologia, o incremento desse valor implica numa redução do hiato entre a fronteira do grupo e a metafronteira. A média da Razão de *Gap* Tecnológico do primeiro cenário é maior, confirmando mais uma vez que ele é o mais eficiente.

Para comprovar se efetivamente a diferença entre os dois cenários é significativa, utilizou-se o Teste de *Wilcoxon-Mann-Whitney*, em que se levou em consideração o seguinte:

$H_0$ : Não existem diferenças entre os dois cenários;

$H_1$ : Existem diferenças entre os dois cenários;

O teste indicou um p-valor menor que 0,01. Isso sugere a não rejeição da hipótese  $H_1$ , ou seja, pode-se confirmar a existência de diferenças significativas entre os dois cenários. Sendo assim, certifica-se, de fato, o impacto dos custos logísticos na eficiência da sojicultora. De maneira complementar, observa-se ainda que há interseção entre as medianas e os 1º e 3º quartis no *boxplot*, o que comprova a distribuição diferente entre ambas as séries históricas.

### **Análises dos resultados do IPM**

Uma vez validado o impacto dos custos logísticos na eficiência da sojicultora, o seguinte passo foi a avaliação do desempenho da produtividade no tempo. Usou-se o Índice de Produtividade de Malmquist (IPM) com orientação ao produto para o primeiro cenário no período de 2007 a 2014. Os resultados médios dos Índices de Malmquist, da Mudança na Eficiência Técnica e da Mudança Tecnológica para os municípios avaliados estão registrados na Tabela 9. Conforme visto na seção referente à metodologia, os valores inferiores à unidade ( $< 1$ ) indicam a queda, ou seja, a variação negativa; os superiores à unidade ( $> 1$ ) correspondem ao crescimento; e os iguais a um ( $= 1$ ) mostram que não houve mudanças.

A média agregada do IPM dos municípios no período 2007-2014 indica um decréscimo de 8% da produtividade. Esse desempenho do IPM se deu em razão do retrocesso de 12% nas mudanças tecnológicas, cujo efeito foi amortecido pela evolução positiva da eficiência técnica (3%).

### **Tabela 9. Resultados para o Índice Malmquist - Orientação ao Produto**

DMU	Município	Índice de Malmquist	Mudança na Eficiência Técnica	Mudança Tecnológica
1	Barreiras	0.77	1.00	0.77
2	Rio Verde	0.99	1.04	0.95
3	Balsas	0.63	1.00	0.63
4	Unai	1.05	1.00	1.05
5	Primavera	0.99	1.15	0.86
6	Sapezal	1.29	1.10	1.17
7	Sorriso	0.89	1.00	0.89
8	Chapadão do Sul	0.85	0.97	0.88
9	Campo Mourão	1.03	1.10	0.94
10	Londrina	0.89	1.04	0.86
11	São Luiz Gonzaga	0.75	1.00	0.75
12	Passo Fundo	0.91	0.94	0.97
Média		0.91	1.03	0.88

Fonte: Dados de pesquisa.

A Tabela 9 evidencia que a minoria dos municípios mostrou progresso no IPM e destaca que existe ainda uma grande heterogeneidade entre as DMUs, com índices oscilando entre 1,29 e 0,63. Apenas três apresentaram taxas médias de crescimento positivas. Sendo assim, o município mais produtivo foi Sapezal, o que pode ser explicado pelo progresso nos índices de mudança tecnológica e na eficiência. Outra observação interessante nesse período, conforme os resultados mostrados na Tabela 9, é que o índice de mudanças na eficiência sugere que o efeito *catching-up* (relativo à incorporação do progresso técnico) poderia ser maior para um grande número de municípios, ou seja, existe uma margem que poderá ser atingida.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho estimou as fronteiras de eficiência e avaliou a produtividade dos principais municípios sojicultores brasileiros, utilizando-se do método da Análise Envoltória de Dados (DEA), da análise de janela com retornos constantes (CRS) e orientação à produção. Complementarmente, utilizou-se da abordagem de metafronteira e do teste de *Wilcoxon-Mann-Whitney*, a fim de verificar o impacto dos custos logísticos de distribuição na eficiência dos municípios, modelando-se dois grupos: 1) cenário limitado à produção interna da propriedade e 2) cenário que incorpora ao desempenho da propriedade os custos logísticos de distribuição, aferidos pela receita média de sacas por hectare. Por fim, utilizou-se o Índice de Malmquist (IPM) visando a analisar a dinâmica dos níveis de produtividade e verificar a variação na eficiência técnica e a mudança tecnológica. A integração desses métodos mostrou-se adequada para estimar o desempenho da sojicultura e comprovar o impacto dos custos logísticos de distribuição na sua eficiência, bem como identificar quais municípios devem trabalhar na elevação dessa eficiência para se manter no mercado.

Os resultados mostram que, em média, a eficiência “dentro da fazenda” (primeiro cenário) está estimada em 82% do que poderia ser, enquanto que com a inclusão dos custos logísticos (segundo cenário) a eficiência se torna aproximadamente 62% do que seria, considerando a produtividade máxima. Sendo assim, os resultados também confirmam o impacto dos custos logísticos de distribuição na eficiência da sojicultura e indicam que a solução dos gargalos logísticos que o país enfrenta poderia elevá-la em 20%. Além disso, a média do IPM no período 2007-2014 aponta um decréscimo de aproximadamente 8% da produtividade nessa cultura, explicado pelo retrocesso de cerca de 12% nas mudanças tecnológicas, cujo efeito foi amortecido pela evolução positiva da eficiência técnica (3%).

A relevância desses resultados é tanto de ordem acadêmica quanto econômica e política. Pela perspectiva acadêmica, o trabalho contribuiu ao preencher uma lacuna no que tange ao estudo da eficiência da sojicultura relacionada ao impacto logístico nas regiões produtoras específicas. Do ponto de vista econômico e político, a presente pesquisa é relevante devido ao fato de que, a partir dela, os gestores públicos e privados terão à sua disposição dados e informações capazes de auxiliá-los nas tomadas de decisões, uma vez que o evidente nível de ineficiência e o significativo impacto dos custos logísticos de distribuição revelam a necessidade de intervenções que melhorem a competitividade da cadeia dessa cultura.

Cabe ainda destacar que existe um grande potencial de pesquisas no que se refere à eficiência da sojicultura no Brasil. Sendo assim, como sugestão de estudos futuros, pode-se citar trabalhos que destrinchem a influência de cada um dos fatores relacionados aos custos logísticos de distribuição, bem como desvendem os fatores determinantes da ineficiência além dos custos logísticos, e também que busquem determinar a inter-relação espacial da eficiência dos municípios sojicultores, principalmente com a utilização dos dados do próximo Censo Agropecuário.

Para finalizar, cabe ressaltar que alguns cuidados devem ser tomados no uso dos resultados encontrados, pois, de acordo com Rosano-Peña et al. (2012), o método DEA, como qualquer outra metodologia, possui limitações devido ao fato de ser uma técnica determinística e estimar a eficiência relativa. Logo, a DEA é muito susceptível aos dados utilizados e seus resultados estão condicionados às unidades avaliadas, às variáveis incluídas na pesquisa e ao pressuposto de que todos os demais fatores envolvidos são idênticos. Portanto, o acréscimo ou a exclusão de unidades e variáveis (*inputs* e *outputs*) pode acabar afetando os resultados encontrados.

**REFERÊNCIAS**

ABIOVE. Associação Brasileira das Indústrias de óleo vegetal. Disponível em: <[http:// www.abiove.com.br](http://www.abiove.com.br)>. Acesso em: 03 jan. 2017.

AGROSTAT. Estatística de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro – 2017. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/AGROSTAT.html>>. Acesso em: 04 fev. 2017.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for the estimation of technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

CAVES, D.W.; CHRISTENSEN, L.R. ; DIEWERT, W.E. The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity. *Econometrica*, Vol.50, No.6, pp.1393-1414. 1982

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. 1978.

COELLI, T. *A guide to DEAP version 2.1: a data envelopment analysis (computer) program*. Centre for Efficiency and Productivity Analysis, University of New England, Australia, 1996.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira. Grãos – Safra 2013/2014. 12º levantamento. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14\\_09\\_10\\_14\\_35\\_09\\_boletim\\_graos\\_setembro\\_2014.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_10_14_35_09_boletim_graos_setembro_2014.pdf)>. Acesso em: 28 abr. 2016.

COOK, W. D.; COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. *Data Envelopment Analysis: a comprehensive text with models, applications, reference and DEA-Solver software*. 1 ed. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2001.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references. *Springer Science & Business Media*. 2006.

CORREA, V. H. C.; RAMOS, P. A precariedade do transporte rodoviário brasileiro para o escoamento da produção de soja do Centro-Oeste: situação e perspectivas. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 48, n. 2, p. 447-472, 2010.

FALCÃO, V. A.; CORREIA, A. R. Eficiência portuária: análise das principais metodologias para o caso dos portos brasileiros. *Journal of Transport Literature*, v. 6, n. 4, p. 133-146, 2012.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; NORRIS, M.; ZHANG, Z. Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries. *The American Economic Review*, v. 84, n. 1, p. 66-83, 1994.

FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistic Society, Series A (General)*, v. 120, p. 253-281, 1957.

- FREITAS, M. de C. M. de. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. *Enciclopédia Biosfera*, v. 07, n. 12, p. 1-12, 2011.
- GOMES, E. G.; MANGABEIRA, J. A. D. C.; MELLO, J. C. C. B. S. Análise de envoltória de dados para avaliação de eficiência e caracterização de tipologias em agricultura: um estudo de caso. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 43, n. 4, p. 607-631, 2005.
- GROSSKOPF, S. The role of the reference technology in measuring productive efficiency. *The Economic Journal*, v. 96, n. 382, p. 499-513, 1986.
- HAYAMI, Y.; RUTTAN, V. W. Induced innovation and agricultural development. *Staff Papers Series*, v. 71, n. 1, 1971.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa\\_resultados.php?id\\_pesquisa=44](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=44)>. Acesso em: 31 jan. 2017.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. *Produto Interno Bruto dos Municípios*. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=521880&idtema=152&search=goias%7Crio-verde%7Cproduto-interno-bruto-dos-municipios-2013>>. Acesso em: 11 fev. 2016.
- LAMPE, H. W.; HILGERS, D. Trajectories of efficiency measurement: A bibliometric analysis of DEA and SFA. *European Journal of Operational Research*, v. 240, n. 1, p. 1-21, 2015.
- O'DONNELL, C. J.; RAO, D. S. P.; BATTESE, G. E. Metafrontier frameworks for the study of firm-level efficiencies and technology ratios. *Empirical Economics*, v. 34, n. 2, p. 231-255, 2008.
- OHIRA, T.; SCAZUFCA, P. Métodos de análise de eficiência de empresas para o setor de saneamento. In: *A Economia do Saneamento no Brasil*. São Paulo: Singular, 2009.
- RIO VERDE. Prefeitura Municipal. *Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento*. 2009. Disponível em: <<http://www.rioverdegoias.com.br/i.php?si=not&ler=2&id=4637>>. Acesso em: 11 fev. 2016.
- ROCHA, R. T.; REBELATTO, D. A. N.; DE CASTRO CAMIOTO, F. Análise da eficiência de fatores nos países do BRICS a partir da aplicação da Análise por Envoltória de dados. *Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace*, v. 6, n. 1, 2015.
- ROSANO-PEÑA, C. Um Modelo de Avaliação da Eficiência da Administração Pública através do Método Análise Envoltória de Dados (DEA). *Revista de Administração Contemporânea*, Curitiba, Paraná, v. 12, n. 1, p. 83-106, 2008.
- ROSANO-PEÑA, C.; ALBUQUERQUE, P. H. M.; CARVALHO, J. M. A eficiência dos gastos públicos em educação: evidências georreferenciadas nos municípios goianos. *Economia Aplicada*, v.16, n. 03, p. 421-443, 2012.

ROSANO-PEÑA, C.; DAHER, C. E.; MEDEIROS, O. R. Ecoeficiência e Impacto da Regulação Ambiental na Agropecuária Brasileira com Funções Distância Direcionais. In: *Encontro da ANPAD*, 37, 2013.

SICSÚ, A. B.; LIMA, J. P. R. Fronteiras agrícolas no Brasil: a lógica de sua ocupação recente. *Nova Economia*, v. 10, n. 01, p. 109-138, 2000.

TAVARES, Carlos Eduardo Cruz. *Fatores críticos à competitividade da soja no Paraná e no Mato Grosso*. Brasília: Conab, 2004.