



Organizações Rurais & Agroindustriais

ISSN: 1517-3879

fic@unaes.com.br

Universidade Federal de Lavras

Brasil

Vieira, Juliano; Rosano-Peña, Carlos; Marini Thomé, Karim; de Oliveira Camelo, Caeverton
ECOEFIÊNCIA DA AGROPECUÁRIA GOIANA COM ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE
DADOS E FUNÇÕES DISTÂNCIA DIRECIONAIS
Organizações Rurais & Agroindustriais, vol. 18, núm. 2, abril-junio, 2016, pp. 154-170
Universidade Federal de Lavras
Minas Gerais, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87846845005>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

ECOEFIÊNCIA DA AGROPECUÁRIA GOIANA COM ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS E FUNÇÕES DISTÂNCIA DIRECIONAIS

Analysis of the eco-efficiency of agriculture in the state of Goiás, Brazil, using the Data Envelopment Analysis (DEA) method combined with Directional Distance Function (DDF)

RESUMO

O presente artigo estimou a ecoeficiência da agropecuária goiana utilizando o método da Análise Envoltória de Dados combinado com Funções Distância Direcionais. Para isso, utilizaram-se os dados do Censo Agropecuário de 2006 dos 246 municípios de Goiás, referentes a oito variáveis: quatro *inputs*, três *outputs* desejáveis e um *output* indesejável. Os resultados permitiram mapear e classificar os municípios em quatro categorias: i) ecoeficientes; ii) baixa ecoineficiência; iii) média ecoineficiência e iv) alta ecoineficiência. Foram considerados ecoeficientes 68 municípios e entre estes se destacaram Alto Paraíso de Goiás e Aparecida do Rio Doce que aparecem como referência para a metade dos municípios analisados. O município de pior desempenho foi Quirinópolis. O *score* de ecoineficiência geral de Goiás foi de 0,77, o que indica que a economia de recursos pode chegar aos R\$ 1.290.264.669,94 com mão de obra, capital e outros insumos e de 194.047 ha de terras. Concomitantemente é possível elevar a receita em R\$ 2.835.872.090,34, aumentar as áreas preservadas em 1.534.833 ha e reduzir as áreas degradadas em 20.470 ha. Assim, esses resultados reforçam a hipótese de que o aparente antagonismo entre os objetivos econômicos e ambientais não impede a formulação de políticas condizentes com a melhora da sustentabilidade econômica ambiental.

Juliano Vieira
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA
reljuo@hotmail.com

Carlos Rosano-Peña
Universidade de Brasília
crosano@unb.br

Karim Marini Thomé
Universidade de Brasília
thome@unb.br

Caeverton de Oliveira Camelo
Universidade de Brasília
caeverton@gmail.com

Recebido em: 15/05/2015. Aprovado em: 20/04/2016.
Avaliado pelo sistema *double blind review*
Avaliador científico: André Luis Ribeiro Lima

ABSTRACT

This paper aims to estimate the eco-efficiency of agriculture in the state of Goiás, Brazil, using the Data Envelopment Analysis (DEA) method, combined with Directional Distance Function (DDF). Therefore, data obtained from the Agricultural Census of 2006 of all 246 municipalities in the state of Goiás was used, with eight variables: four inputs, three desirable outputs, and one undesirable output. The results allowed us to map and classify the municipalities into four categories: i) eco-efficient; ii) low eco-inefficiency; iii) average eco-inefficiency; and iv) high eco-inefficiency. The results showed that sixty-eight municipalities were considered eco-efficient, with Alto Paraíso de Goiás and Aparecida do Rio Doce appearing as benchmarks for half of the sample cities. The municipality with the worst performance was Quirinópolis. The overall score of eco-inefficiency in the State was of 0.77, which indicates that resource savings with labor, capital and other inputs could reach R\$ 1,290,264,669.94 and 194,047 ha of land. Concurrently, it is possible to increase revenue by R\$ 2,835,872,090.34, and 1,534,833 ha of protected area, while reducing degraded areas by 20,470 ha. Thus, these results support the hypothesis that the apparent antagonism between economic and environmental objectives does not prevent the formulation of policies consistent with the improvement of environmental economic sustainability.

Palavras-chave: Eficiência; Centro-Oeste; Não-Paramétrica.

Keywords: Efficiency; Midwest; Nonparametric.

1 INTRODUÇÃO

No intuito de redefinir a lógica econômica em escala nacional, o governo de Getúlio Vargas incentivou, desde 1940, a expansão das fronteiras de produção agrícola e o desenvolvimento da região Centro-Oeste por

meio do programa “Marcha para o Oeste”. O crescimento horizontal da agropecuária buscava o aumento da oferta de alimentos e matérias-primas a custos razoáveis bem como a sustentação do desenvolvimento urbano-industrial orientado a substituir importações. Essa estratégia incluiu

o estado de Goiás, até então com uma agricultura de subsistência no mapa de produção agrícola nacional (MUELLER, 1990).

Esse programa governamental toma nova força a partir das décadas de 1960-70 com a “Revolução Verde”. Baseada na intensiva utilização de sementes geneticamente selecionadas, da mecanização agrícola, irrigação, insumos químicos e implantação de novas práticas agrícolas, tal revolução permitiu o aumento significativo da rentabilidade dos solos ácidos e pobres em nutrientes dos cerrados goianos (CUNHA et al., 1994).

Na década de 1970, para dar continuidade à modernização da agropecuária de Goiás, e do Centro-Oeste em geral, o governo federal cria o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO). Esse programa contemplou a eletrificação nas áreas de maior potencial produtivo, a construção de estradas, escolas, silos e armazéns, bem como financiamentos para incorporação de novas áreas produtivas e a utilização de calcário e fosfato para corrigir a baixa fertilidade do solo da região. Além disso, para mitigar os riscos dos empreendimentos, foram estabelecidos políticas de preços mínimos e seguro agrícola (ROCHA; MACIEL; LIMA, 2014). Já nesse período, fica explícito que o Cerrado brasileiro poderia assumir a posição de grande fornecedor de alimentos para o mundo.

Um fator exógeno que contribuiu para atingir esse objetivo foi o Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER). Tal iniciativa surge em virtude do embargo provisório das exportações de grãos e farelos nos Estados Unidos (EUA), que buscava controlar a inflação dos preços de alimentos naquele mercado (PAARLBERG, 1980). Nesse período, os EUA eram os principais produtores e exportadores desses produtos e o Japão, como o maior importador no mercado internacional, percebeu a necessidade da diversificação de fornecedores (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION - FAOSTAT, 2013).

Nesse cenário, o governo japonês e o governo brasileiro, no final da década de 1970, uniram esforços para estimular a produção agrícola na nova fronteira agrícola, o Cerrado brasileiro. Essa cooperação melhorou a infraestrutura social e logística da região e, ofertando linhas de crédito específicas para a região, induziu a migração de experientes agricultores provenientes das regiões Sul e Sudeste para as regiões de Cerrado no Centro-Oeste. O PRODECER também se apoiou nas universidades, cooperativas e instituições de extensão

rural, e, segundo Reifschneider et al. (2010), permitiu desenvolver pesquisas em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), que possibilitaram o alcance de índices de produtividade de grãos até então nunca obtidos no bioma Cerrado.

Entretanto, essa transformação priorizou os resultados econômicos e teve consequências negativas para o meio ambiente. No Estado de Goiás, a expansão das fronteiras agrícolas, o desmatamento e a produção em massa de produtos homogêneos originaram efeitos contraproducentes, como o empobrecimento da biodiversidade, a contaminação química da água e a desertificação e erosão dos solos (VERDESIO, 1993). Paralelamente, cresceram as críticas relacionadas aos infortúnios gerados pela Revolução Verde no Cerrado brasileiro. Os movimentos ecológicos acusam produtores, agentes públicos e privados de utilizarem um modelo predatório, esgotando os recursos naturais e a biodiversidade (OLIVEIRA, 2014).

Nesse contexto, surge a necessidade de um novo paradigma, capaz de manter e expandir as conquistas da Revolução Verde e, ao mesmo tempo, minimizar a degradação ambiental gerada no Cerrado. Urge a resposta à seguinte questão: como maximizar o desempenho econômico e minimizar, ao mesmo tempo, os impactos ambientais e o uso de recursos naturais não renováveis? Ou seja, é factível uma agropecuária mais ecoeficiente?

Para avaliar a ecoeficiência, diversas abordagens podem ser utilizadas. Dentre elas, uma das mais adequadas é a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* - DEA) combinada com Funções Distância Direcionais (*Directional Distance Function*-DDF). Essa abordagem, parte da hipótese da existência de falhas de mercado inibidoras do comportamento eficiente, e da modelagem de uma fronteira tecnológica multiprodutos (com *outputs* desejados e indesejados) que permite estimar indicadores de ecoeficiência que podem subsidiar políticas consistentes com a otimização simultânea de objetivos econômicos e ambientais.

Tendo em vista a escassez de trabalhos sobre esse tema na agricultura brasileira e a relevância da questão ambiental, este artigo tem o objetivo de estimar a ecoeficiência da agropecuária goiana utilizando a DEA combinado com as DDF e incorporando, além dos fatores produtivos tradicionais, uma externalidade negativa e outra positiva de impacto ambiental. Para atingir esse objetivo, utilizaram-se dados do último Censo Agropecuário, o Censo 2006 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2012).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Inúmeros trabalhos teóricos e empíricos têm tratado o problema da eficiência e produtividade (BRAVO-URETA et al., 2007; DARKU; MALLA; TRAN, 2013). Observa-se, entretanto, que existem diferentes abordagens, dentro das quais se podem citar duas. Por um lado, notam-se pesquisas que abordam essa questão partindo da hipótese de comportamento ótimo das unidades produtivas, desconsiderando as externalidades inerentes ao processo produtivo. Para isto utilizam a tradicional função produção e os índices de produtividade total dos fatores. Porém, o significativo aumento de produtos indesejados ou contaminantes torna essa abordagem inadequada e conduz a resultados enganosos, já que as unidades produtivas com maiores restrições ambientais provavelmente exibem menores índices de produtividade e eficiência (PITTMAN, 1983). Isso, por outro lado, motivou o surgimento de outra abordagem, seguida neste trabalho. Ela parte da hipótese de que o antagonismo entre os objetivos econômicos e ambientais é aparente, e que não há necessariamente um jogo de soma zero quando existem falhas de mercado inibidoras do comportamento eficiente. A partir daí modela-se uma fronteira tecnológica multiprodutos (com *outputs* desejados e indesejados), que permite encontrar as possibilidades de aumentar a oferta de produtos desejados e minimizar simultaneamente o impacto ambiental e a utilização dos fatores produtivos, o que na terminologia inglesa é chamado resultado *win-win*.

2.1 Conceito de Eficiência

A palavra eficiência tem origem no termo latim *efficientia* e refere-se à capacidade (de uma pessoa, técnica ou empreendimento) de conseguir o melhor rendimento com o mínimo de erros, energia, tempo, dinheiro, mão de obra, materiais, máquinas ou, simplesmente, meios (HOUAISS, 2001). Mais especificamente, este conceito pode-se definir como a competência de utilizar, da melhor maneira possível, os escassos recursos disponíveis para obter o desempenho ótimo nos trabalhos socialmente necessários, ou seja, trata-se da capacidade de alcançar os objetivos e as metas desejadas com o mínimo de recursos disponíveis buscando-se desta forma a otimização da produção (CAMARGO; GUIMARÃES, 2013).

Sen (1993) fala da eficiência de Pareto - uma noção enunciada por Vilfredo Pareto - em que a eficiência é considerada ótima se não for possível melhorar a situação de alguém ou de algo sem prejudicar/degradar a condição de outro. Portanto, a eficiência é baseada na otimização simultânea de múltiplos critérios.

Na Figura 1, exemplifica-se o conceito básico de eficiência. Nela o eixo X representa os recursos, o eixo Y expressa a produção e a curva S, denominada fronteira tecnológica ou de eficiência, indica o máximo que pode ser produzido para cada nível de recurso com a tecnologia disponível num dado momento (MELLO et al., 2005). O conjunto de pontos sob e abaixo da curva S representa o conjunto de possibilidade de produção. Portanto, as melhores práticas, nesse conjunto, são aquelas unidades que formam a curva S, maximizando a produção e minimizando a utilização de recursos.

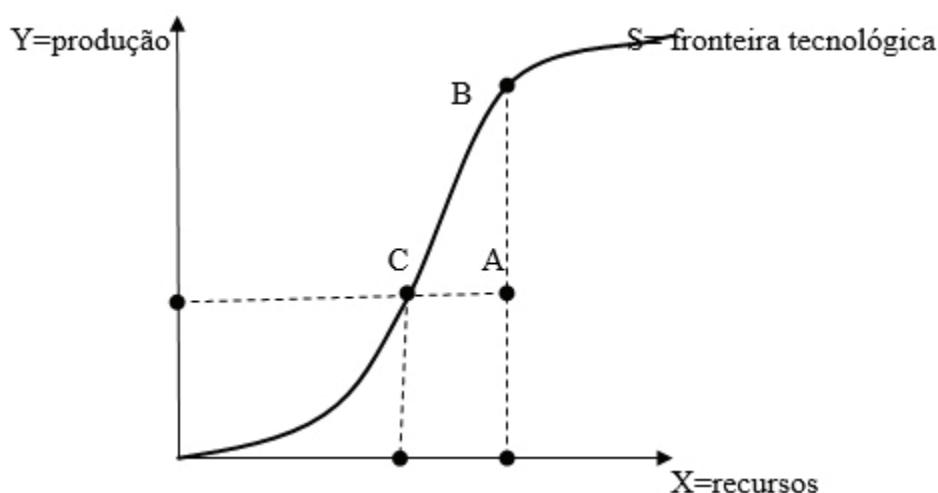


FIGURA 1 – Curva da fronteira de eficiência

Fonte: Soares de Mello et al. (2005)

Na Figura 1, as unidades “B” e “C” são eficientes, enquanto que a unidade “A”, abaixo da fronteira do conjunto viável de produção, deve ser considerada como uma unidade ineficiente. A unidade “A” utiliza recursos extras (com folgas) para produzir a mesma quantidade de “C”. Portanto, a unidade “A” pode tomar como referência a unidade “C” para tornar-se eficiente. Essa melhoria é chamada orientada à redução dos *inputs*. De outro ponto de vista, “A”, utilizando a mesma quantidade de recurso que “B”, tem um nível de produção inferior a este e, neste sentido, “A” tem a alternativa de espelhar-se em “B” para tornar-se eficiente. Essa melhoria é chamada orientada a aumento dos *outputs*.

2.2 Conceito de Ecoeficiência

Atualmente, há um amplo reconhecimento de que o meio ambiente é uma parte integrante e importante dos processos econômicos (DIOS-PALOMARES et al., 2015). Portanto, surge a necessidade de um novo conceito: a denominada ecoeficiência ou eficiência ambiental (ZHANG et al., 2008). A ecoeficiência não se restringe somente ao desempenho econômico, mas também considera os impactos ambientais do processo produtivo (ACADEMIA PEARSON, 2011).

A ecoeficiência é habitualmente definida como a capacidade que uma empresa ou economia tem de produzir uma dada quantidade de produto com a menor quantidade de insumos e impacto ambiental. Deste modo surge, como uma abordagem prática, um conceito parcial de sustentabilidade, que desconsidera os aspectos sociais e capacidade do planeta de absorver e suportar esse valor “mínimo” de degradação ambiental (SCHALTEGGER; MÜLLER; HINDRICHSEN, 1996; SCHMIDHEINY, 1992). Neste sentido, a ecoeficiência é uma condição necessária para a sustentabilidade, mas não suficiente.

Outros autores a definem como a relação entre o valor econômico agregado e o efeito ambiental indesejável (impacto ambiental), associado ao processo produtivo (HAHN et al., 2010). Logo, a World Business Council for Sustainable Development - WBCSD (2000) afirma que a ecoeficiência pode ser expressa matematicamente pela fórmula a seguir:

$$\text{Ecoeficiência} = \frac{\text{Valor da Produção Agregado}}{\text{Impacto Ambiental Gerado}}$$

Por conseguinte, a ecoeficiência irá majorar quando o impacto ambiental (denominador) diminuir e ou o valor da produção (numerador) aumentar (GÓMEZ-LIMÓN;

PICAZO-TADEO; REIG-MARTÍNEZ, 2012; VILLAVICENCIO; DIDONET, 2008).

2.3 Medidas de Eficiência e Ecoeficiência

Existem duas formas básicas para mensurar a eficiência: as paramétricas e as não paramétricas. A técnica paramétrica mais utilizada é a Análise de Fronteiras Estocásticas (*Stochastic Frontier Analysis* – SFA) que parte de uma relação funcional, *a priori* definida entre os insumos e um produto e estimada com métodos econométricos. Mas é pouco utilizada na análise da ecoeficiência pelas dificuldades de incluir na análise os produtos indesejados (externalidades) sem preço de mercado, e de criar um valor agregado da produção (COELLI et al., 2003; TANNURI-PIANTO; SOUSA; ARCOVERDE, 2009). Dentro das técnicas não paramétricas, a mais usada é a DEA (MÁRQUEZ et al., 2013) que utiliza métodos de programação linear, não requer a especificação de uma função produção que expresse a relação funcional entre um produto e os insumos, e possibilita a construção de uma hiperfronteira de múltiplos insumos e produtos (desejados e indesejados), permitindo o cálculo de índices ótimos de ecoeficiência. Portanto, neste estudo, optou-se pela utilização desse método.

2.3.1 DEA e DDF

A busca de uma medida de eficiência foi, pioneiramente, conduzida por Farrel (1957), que decompôs a eficiência total (econômica) em eficiência técnica e alocativa (STEFFANELLO; MACEDO; ALYRIO, 2009). A eficiência técnica (ET) envolve apenas os aspectos físicos do processo produtivo e indica a habilidade de uma organização na maximização da relação produto insumo (y/x). Já a eficiência alocativa (EA) envolve também os preços dos insumos e produtos. Reflete a habilidade da unidade produtiva de definir a combinação dos insumos e dos produtos que, respectivamente, minimiza os custos e maximiza a receita.

Posteriormente, Charnes, Cooper e Rhodes (1978) desenvolveram a DEA com a finalidade de calcular a eficiência técnica de Farrel (1957), orientada à redução dos insumos com o mesmo nível de produção ou ao aumento dos produtos com um fixo consumo de insumos. Essa ferramenta tem se mostrado bastante relevante quando se aborda a análise da eficiência frente à complexidade dos processos produtivos, ao grande número de informações e variáveis existentes sobre as unidades tomadoras de decisão - *Decision Making Units* – DMU’s (GOMES; MANGABEIRA; MELLO,

2005; STEFFANELLO; MACEDO; ALYRIO, 2009). Utilizando múltiplos *inputs* e *outputs*, a DEA compara o desempenho de cada DMU em relação às melhores práticas, ou seja, com as unidades que formam a fronteira eficiente. Estima um índice de eficiência medindo a distância que separa cada DMU da fronteira (AVELLAR; MILIONI; RABELLO, 2005; GOMES; MANGABEIRA, 2004). Assim, se uma unidade produtiva tem um índice (*score*) de eficiência igual a 1 ou 100% formará a fronteira, seu desempenho não pode ser melhorado, será um *benchmark*. Um índice de eficiência menor que 1 indicará ineficiência, e identificará a distância do afastamento da fronteira, o que permitirá estimar as mudanças necessárias para se tornar eficiente. Por exemplo, um índice de 0,90 orientado aos insumos aconselhará que essa unidade produtiva possa reduzir o consumo de insumos em 10% para ser parte da fronteira eficiente (BOZOĞLU et al., 2006; FÄRE; GROSSKOPF; LOVELL, 1994; STEFFANELLO; MACEDO; ALYRIO, 2009).

Segundo Golany e Roll (1989), existem três fases, que devem ser levadas em consideração ao utilizar os modelos DEA, são elas: i) identificação das DMU's que irão compor a amostra de análise; ii) seleção das variáveis, tanto *inputs* quanto *outputs*, que devem ser as mais relevantes e adequadas para estabelecer a eficiência dos DMU's e a iii) determinação do modelo DEA mais adequado e o tipo de orientação do mesmo, ou seja, se voltado para *inputs* ou *outputs*.

Existem dois modelos clássicos DEA: i) o modelo *Constant ReturnstoScale* (CRS ou CCR) e ii) o modelo *VariableReturnstoScale* (VRS ou BCC) (GOMES; MANGABEIRA, 2004). O modelo CCR de

Charnes, Cooper e Rhodes (1978) pressupõe retornos constantes de escala e projeta os pontos ineficientes para a fronteira de maior produtividade, ou seja, identifica as DMU's eficientes e ineficientes e determina a que distância da fronteira de maior produtividade as unidades ineficientes estão (STEFFANELLO; MACEDO; ALYRIO, 2009). O índice estimado com este modelo é chamado de eficiência técnica global ou eficiência CCR. Já o modelo BCC, desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984), considera os retornos variáveis de escala, admitindo que as DMU's podem estar operando com diferentes níveis de escala (retornos crescentes, constantes e decrescentes), o que permite determinar o porte ideal dos empreendimentos, bem como as unidades superdimensionadas e subdimensionadas (ANJOS; BORDIN; MELLO, 2010). O índice calculado com este modelo é chamado de eficiência técnica pura ou eficiência BCC.

A diferença entre os dois modelos e as duas fronteiras (CCR e BCC) pode ser observada na Figura 2. Nota-se que a DMU "B" é considerada eficiente para ambos os modelos, visto que, encontra-se em ambas as fronteiras. Enquanto que as DMU's "A" e "C" são consideradas eficientes somente para o modelo BCC, pois estão apenas nessa fronteira. Comparando o desempenho de "A" e "C" com a fronteira CCR pode-se concluir que ambas não atingem a maior produtividade devido à ineficiência de escala. "A" é uma unidade com tamanho subdimensionado e "C" – superdimensionado. Apenas a unidade "B" tem o porte ideal. No entanto, é necessário resaltar que o porte (ou escala) das unidades avaliadas pode ser uma variável não controlada pelos tomadores de decisão.

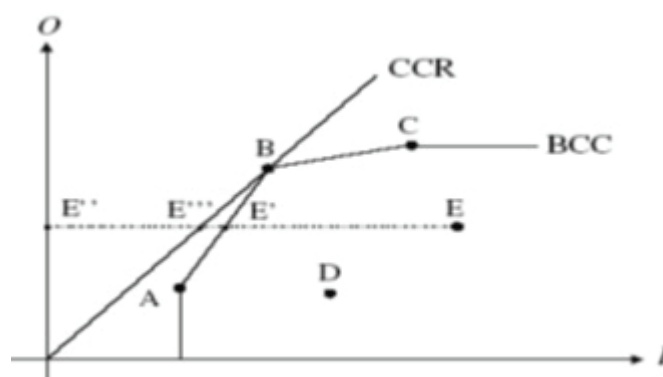


FIGURA 2 – Fronteira de Eficiência DEA – CCR e BCC

Fonte: Steffanello, Macedo e Alyrio (2009).

Já a DMU “E” é ineficiente tanto para o modelo BBC quanto para CCR. Tem ineficiência técnica e de escala. Essa DMU deve projetar-se na fronteira: espelhar-se em E’ para ter eficiência técnica ou em E’’ para resolver a ineficiência de escala (STEFFANELLO; MACEDO; ALYRIO, 2009).

Os modelos CCR e BCC modelaram inicialmente os impactos ambientais indesejáveis ora como *inputs* a minimizar, ora como variáveis *outputs* com valores invertidos ou negativos a maximizar, usando as medidas radiais orientadas de Farrel (1957) (ZHOU; ANG; POH, 2008). Porém, essas abordagens têm uma importante limitação: não contemplam as possíveis projeções que permitem otimizar concomitantemente o desempenho de todas as dimensões, mostrando a capacidade de expansão da produção e de redução simultânea dos insumos e os produtos indesejados.

Uma das pioneiras soluções para esse problema foi encontrada por Chung, Färe e Grosskopf (1997) ao incorporar no DEA as funções distância direcionais multi objectivos. De acordo com Rosano-Peña, Daher e Medeiros (2013), as DDF permitem calcular diferentes medidas de ecoeficiência que, satisfazendo o conceito ótimo de Pareto, podem subsidiar políticas consistentes com a otimização simultânea de objetivos econômicos e ambientais. Para calcular a ecoeficiência com retornos variáveis de escala de cada DMUⁱ, Chung, Färe e Grosskopf (1997) formulam o modelo BCC por meio do seguinte problema de programação linear (PPL).

$$\bar{D} = (x, y, b; -g_x, g_y, -g_b) = \text{Max } \beta \quad (1)$$

s.a:

$$(1 + \beta g_y) * y^i \leq Yz \quad (1.1)$$

$$(1 + \beta g_b) * b^i = Bz \quad (1.2)$$

$$(1 + \beta g_x) * x^i \geq Xz \quad (1.3)$$

$$e * z \leq 1 \quad (1.4)$$

$$z \geq 0 \quad (1.5)$$

Em que:

$x = (x_1, x_2 \dots x_n)$ é o vetor *input* utilizado para produzir o vetor *output* desejado $y = (y_1, y_2 \dots y_n)$ e o vetor *output* indesejado $b = (b_1, b_2 \dots b_n)$.

$g = (g_1, g_2 \dots g_n)$ é o vetor que determina a direção da projeção desejada para a fronteira eficiente.

$X_{(n \times k)}$, $Y_{(p \times k)}$ e $B_{(q \times k)}$ representam as matrizes *inputs*, *outputs* desejados e *outputs* indesejados, respectivamente, da amostra das k DMU’s.

$e = (1, 1, \dots 1) \in R^k$ o vetor linha formados por uns.

z é o vetor de intensidade estimado para cada DMU na definição do hiperplano (fronteira) de referência resultado de combinações lineares das melhores práticas. Seu equivalente no PPL dual mostra o peso ou importância de cada *input* e cada *output* na determinação da ecoeficiência. β é o valor ótimo da ecoeficiência a ser estimado. Indicar o percentual em que a DMU avaliada poderia incrementar todos os produtos desejáveis e reduzir simultaneamente os insumos e externalidades negativas quando a direção, *a priori* definida pelo pesquisador do vetor direção é $(-g_x = 1, g_y = 1, -g_b = 1)$. Sendo maior ou igual a zero ($\beta = 0$), significa que a unidade avaliada é eficiente; se $\beta > 0$ é ineficiente;

O significado do conceito β pode ser ilustrado graficamente. Suponha-se que as DMU’s avaliadas (A, B, C, D, E, F,... e K), utilizando uma determinada quantidade de insumos, produzem um *output* desejável e um *output* indesejável. Dessa forma, na Figura 3, a área OABCDEJK representa o conjunto de possibilidades de produção cuja fronteira eficiente é formada pelo segmento OABCD.

Assim, F (como E, G, H, I, J e K) é ecoineficiente. Seu nível de ineficiência e projeção para a fronteira depende do vetor direção definido *a priori*. Por exemplo, anelando saber em quanto pode ser acrescentado o *output* desejado de F com o mesmo nível de impacto ambiental e insumos, ou seja, determinando $g = (-g_x = 0, g_y = 1, -g_b = 0)$, o PPL (1) projetará F no ponto $F'' = [b^F, y^F (1 + \beta g_y)]$. No entanto, desejando reduzir o impacto ambiental, mantendo o produto desejado e os insumos constantes, usando o vetor direção $g = (-g_x = 0, g_y = 0, -g_b = 1)$, o PPL (1) projetará F no ponto $F' = [b^F (1 - \beta g_b), y^F]$. Por fim, querendo aumentar y e reduzir b simultaneamente com os mesmos insumos, utilizando $g = (-g_x = 0, g_y = 1, -g_b = 1)$, o PPL (1) projetará F no ponto $F''' = [b^F (1 - \beta g_b), y^F (1 + \beta g_y)]$. Portanto, observa-se que, satisfazendo o conceito ótimo de Pareto, é possível atingir a ecoeficiência de diferentes formas.

Para concluir esta seção, é necessário salientar que o PPL (1) pode identificar falsos ecoeficientes quando o maior produtor não é o maior poluidor, ou seja, quando há um conjunto de DMUs “superpoluidoras”. Chamam-se “superpoluidoras” as unidades que utilizam tecnologias obsoletas e, para um dado nível de insumo, emitem mais que a unidade eficiente mais poluente.

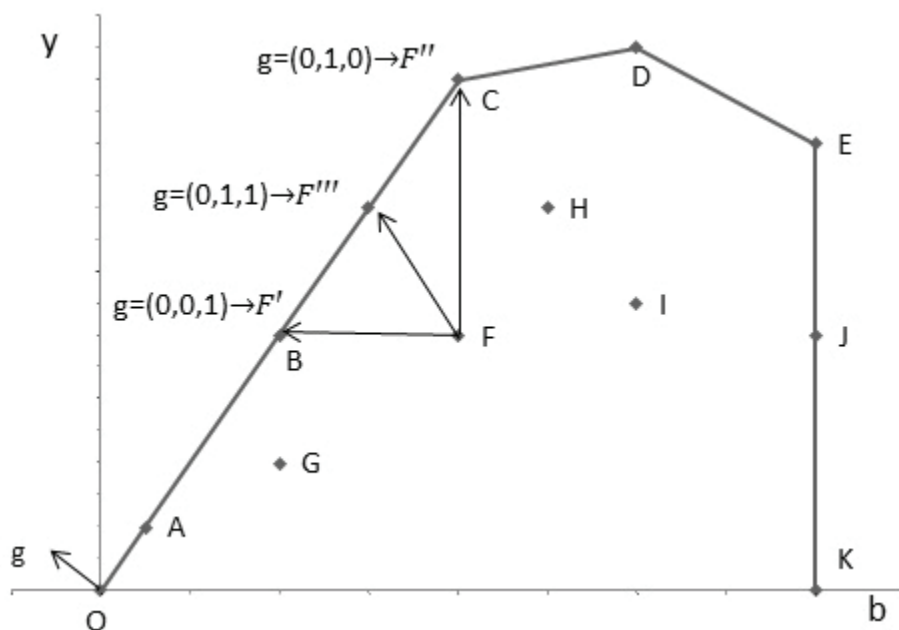


FIGURA 3 – Exemplificação das Funções Distância Direcionais

Fonte: Elaborado pelos autores

Para Picazo-Tadeo e Prior (2009), quando o CPP inclui unidades “superpoluidoras”, o PPL (1) deve considerar E ecoeficiente, dado que é um posto extremo. Além disso, poderá projetar algumas unidades ineficientes e “superpoluidoras” à direita de D na fronteira \overline{DE} , cuja inclinação é negativa. Assim, o preço sombra (ou peso relativo) da poluição (b) e a relação de substituição entre os produtos indesejados e desejados de E, J e muitas unidades “superpoluidoras” serão positivos. Em outras palavras, unidades ecoeficientes podem aumentar a degradação ambiental e, simultaneamente, reduzir a produção desejável. Isto infringe o princípio ótimo no sentido *de Pareto*. Portanto, uma das formas de testar esses casos é observar o valor do preço sombra de b que deve ser negativo.

Caso se confirme a existência de unidades “superpoluidoras”, Färe, Grosskopf e Weber (2006) recomendam tratar a poluição como um *input* e trocam a restrição (1.2) por (2.2) como no seguinte PPL:

$$\overline{D}_0 = (x, y, b; -g_x, g_y, -g_b) = \text{Max} \beta \quad (2)$$

s.a:

$$(1 + \beta g_y) * y^i \leq Yz \quad (2.1)$$

$$(1 - \beta g_b) * b^i \geq Bz \quad (2.2)$$

$$(1 - \beta g_x) * x^i \geq Xz \quad (2.3)$$

$$z \geq 0 \quad (2.4)$$

Esta modelagem permitirá projetar as unidades “superpoluidoras” na fronteira eficiente, porém, pode atribuir a estas últimas um preço sombra ou peso relativo nulo.

3 METODOLOGIA

A aplicação do referencial teórico descrito exige inicialmente a definição de um modelo representativo do processo produtivo que contemple as variáveis mais importantes do problema (GOMES; MANGABEIRA; MELLO, 2005). Sendo assim, a criação deste modelo depende da definição das unidades produtivas – DMU’s e dos parâmetros: as variáveis de entradas ou insumos (*inputs*) e as variáveis de saídas ou produtos (*outputs*), incluindo ainda os *outputs* ou saídas/produtos indesejados.

O Estado de Goiás está dividido em cinco mesorregiões, 18 microrregiões e 246 municípios, totalizando uma área de 340.111,783 km². Baseado nos

dados coletados do último censo agropecuário (IBGE, 2006), ficou estabelecido que os municípios representam as unidades produtivas do sistema de modelagem deste trabalho, sendo, portanto, um total de 246 DMU's.

Com relação às variáveis, nesta pesquisa foram contempladas as variáveis econômicas e ambientais, mais utilizadas em estudos nessa área (GOMES, 2008). Assim, os parâmetros são formados por quatro *inputs*, três *outputs* desejáveis e um *output* indesejável. A definição de cada variável está descrita no Quadro 1.

Vale ressaltar que a extensão da área preservada (*y3*) está prevista no Código Florestal, Lei nº 12.651/2012. Tem a função de manutenção da vegetação nativa e preservação da biodiversidade e de recursos hídricos (NERY et al., 2013). No cerrado, cada propriedade deve manter 35% da sua área total preservada (BRASIL, 2012).

Na Tabela 1 são apresentados os dados da estatística descritiva das variáveis selecionadas no estudo dos 246 municípios goianos.

QUADRO 1 – Apresentação das variáveis utilizadas na mensuração da ecoeficiência dos municípios goianos

| CLASSIFICAÇÃO | VARIÁVEIS | DESCRIÇÃO |
|--|------------------------------------|--|
| Insumos (<i>inputs</i>) | Salários (<i>x1</i>) | Somatório dos valores anuais, expressos em R\$ 1.000,00, pagos em salários para os empregados e familiares. |
| | Insumos Agrícolas (<i>x2</i>) | Somatório dos valores anuais, expressos em R\$ 1.000,00, pagos em despesas com: adubos, corretivos de solo, sementes e mudas, agrotóxicos, compra de animais, medicamentos para animais, ração e sal mineral, energia elétrica, combustíveis etc. |
| | Depreciação Estimada (<i>x3</i>) | Estimativa da depreciação usando-se o 10% do valor total do capital fixo, expressos em R\$ 1.000,00: dos veículos, tratores, máquinas, implementos agrícolas etc. |
| | Área (<i>x4</i>) | Área dos estabelecimentos, expressa em hectares (ha). |
| Produtos desejáveis (<i>outputs</i>) | Receita Vegetal (<i>y1</i>) | Receita bruta (R\$) anual obtida por produtos vegetais. |
| | Receita Animal (<i>y2</i>) | Receita bruta (R\$) anual obtida por produtos animais. |
| | Área Preservada (<i>y3</i>) | Matas e florestas naturais dos estabelecimentos destinadas à preservação permanente e reserva legal, expressa em hectares (ha). |
| Produto Indesejáveis (<i>badoutput</i>) | Área Degradada (<i>b1</i>) | Terras degradadas, expressa em hectares (ha), que já tenham sido utilizadas com lavouras ou pastagens e que perderam sua capacidade de utilização devido ao manejo inadequado, causando erosão, desertificação, salinização ou outro problema de exaustão do solo. |

Fonte: Elaborado pelos autores

TABELA 1 – Estatística descritiva das variáveis utilizadas no estudo

| Variável | Média | Desvio-Padrão | Mínimo | Máximo |
|-----------------|---------------|---------------|-----------|----------------|
| <i>x1</i> (R\$) | 4.095.573,45 | 6.639.770,43 | 35.500,00 | 51.220.250,00 |
| <i>x2</i> (R\$) | 19.674.119,01 | 35.972.576,86 | 85.852,00 | 297.145.409,00 |
| <i>x3</i> (R\$) | 1.975.726,46 | 4.110.815,41 | 9.130,10 | 34.297.766,50 |
| <i>x4</i> (ha) | 106.244 | 121.828 | 610 | 650.553 |
| <i>y1</i> (R\$) | 18.665.829,09 | 52.515.695,63 | 0,00 | 527.394.603,00 |
| <i>y2</i> (R\$) | 13.441.836,49 | 15.379.927,85 | 38.645,00 | 108.841.533,00 |
| <i>y3</i> (ha) | 18.069 | 23.627 | 10 | 124.066 |
| <i>b1</i> (ha) | 181 | 435 | 0 | 4.455 |

Fonte: Elaborado pelos autores

Há de advertir que no censo agropecuário existem dados ausentes. Por questão de sigilo, em 51 municípios algumas variáveis apareciam com o símbolo (x), indicando a existência de uma ou duas propriedades no município com esses dados. Para estimar esses valores ausentes, o cálculo foi realizado em duas etapas. A primeira consistiu no cômputo das diferenças entre o total da microrregião e o somatório dos dados municipais. Essa diferença, na segunda etapa, foi distribuída com base na porcentagem de cada município da área total da microrregião.

Esquemáticamente, a modelagem representativa do processo produtivo ficou disposta conforme a Figura 4 a seguir.

Para calcular a ecoeficiência seguindo o modelo DEA em conjunto com as DDF, utilizou-se o *software* Max Dea – versão 6.4, enquanto que para o georreferenciamento dos resultados, usou-se o *software* IpeaGEO – versão 2.0.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com a metodologia descrita e os dados coletados, calculou-se a ecoeficiência dos municípios do Estado de Goiás com o PPL (1), avaliando-se os preços sombra resultantes das variáveis envolvidas. Todas elas mostraram o sinal esperado, revelando a inexistência de falsos ecoeficientes e “superpoluidores”. Isto permitiu definir enquanto é possível aumentar os produtos desejados (y) e reduzir o produto indesejado (b) simultaneamente com

os mesmos insumos, ou seja, utilizando o vetor direção $g = (-g_x = 0, g_y = 1, -g_b = 1)$. Os resultados encontrados permitiram classificar os municípios conforme o registro da Tabela 2 e o georreferenciamento da Figura 5.

Observa-se que dos 246 municípios goianos pesquisados, 68 apresentaram-se ecoeficientes, ou seja, com um $\beta=0$, indicando um *score* 1, que é calculado estimando as projeções radiais indicadas pelo valor de β e as projeções não radiais apontadas pelas possíveis folgas encontradas em cada variável. Essas municipalidades representam aproximadamente 27,64% de todas as DMU's avaliadas. A microrregião que concentra o maior número destes municípios é Chapada dos Veadeiros, situado no norte de Goiás.

Já em relação aos municípios julgados com “baixa ecoineficiência” (apresentando um β abaixo de 0,11100 ou um *score* entre 0,90000 a 0,99999), observa-se que foram somente 7,72% do total, sendo assim, somente 19 municípios se enquadraram nessa denominação. Apesar de poucos, eles estão dispersos entre 11 microrregiões, apenas estando ausentes em Chapada dos Veadeiros, Vão do Paraná, Entorno do Distrito Federal, Pires do Rio, Catalão, Goiânia e Quirinópolis.

Com 100 municípios e 40,65% do total, a chamada “média ecoineficiência” engloba os municípios que apresentaram um *score* de 0,60000 a 0,89999, ou seja, um β entre 0,11100 e 0,69100. Unicamente não foram encontrados em uma microrregião: Chapada dos Veadeiros.

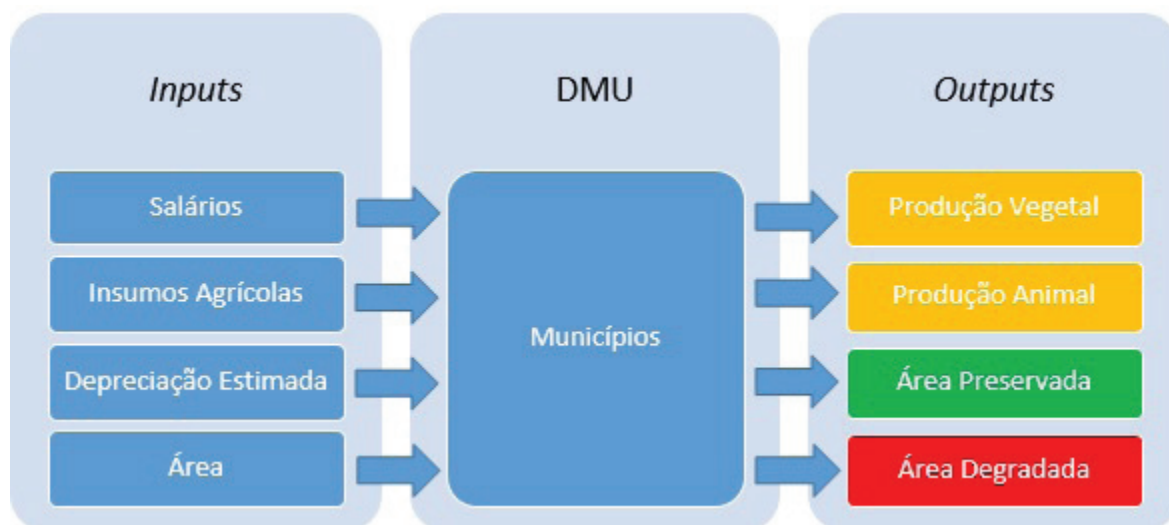


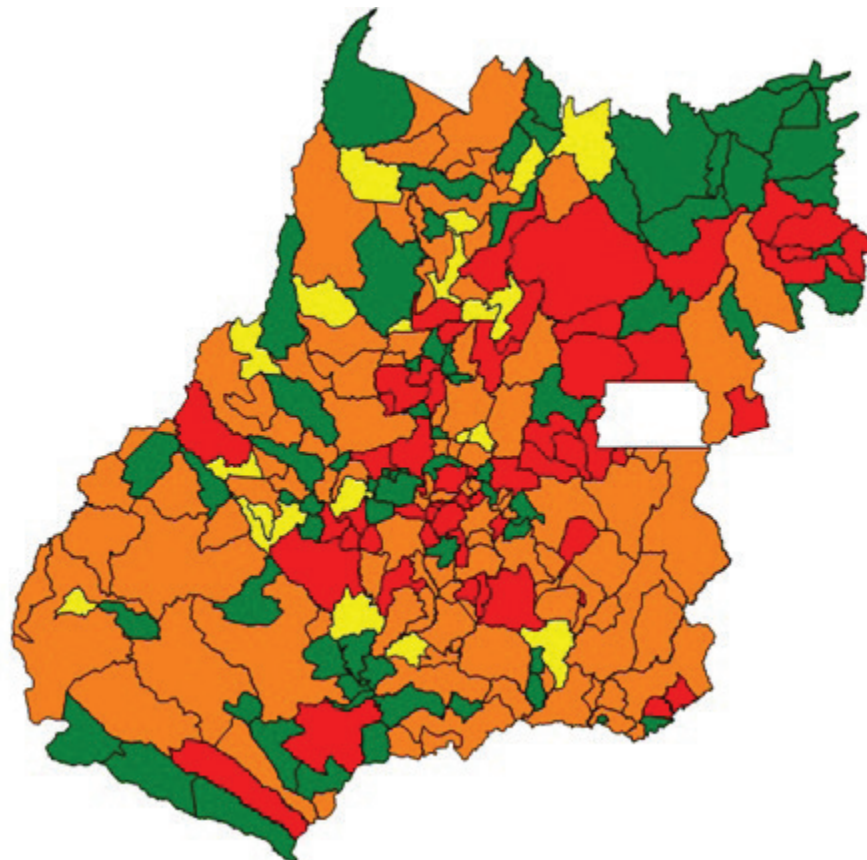
FIGURA 4 – Esquema do processo produtivo: *Inputs*, DMU e *outputs*

Fonte: Elaborado pelos autores

TABELA 2 – Classificação dos resultados e porcentagem de cada categoria

| Categoria | Quantidade de Municípios | % |
|-----------------------|--------------------------|--------|
| Ecoeficientes | 68 | 27,64% |
| Baixa Ecoineficiência | 19 | 7,72% |
| Média Ecoineficiência | 100 | 40,65% |
| Alta Ecoineficiência | 59 | 23,98% |

Fonte: Dados de Pesquisa



Cor verde Municípios ecoeficientes
 Cor amarela Municípios com baixa ecoineficiência
 Cor laranja Municípios com média ecoineficiência
 Cor vermelha Municípios com alta ecoineficiência

FIGURA 5 – Mapa demonstrativo dos municípios ecoeficientes, com baixa, média e alta ecoineficiência do Estado de Goiás

Fonte: Dados de pesquisa

Há também de se realçar que 23,98% do total de municípios goianos apresentaram um *score* menor que 0,59999, ou seja, um β elevado ($\beta > 0,69100$), e com isso entraram no grupo dos municípios denominados com “alta ecoineficiência”. Esses 59 municípios estão ausentes apenas em três microrregiões: São Miguel do Araguaia, Rio Vermelho e Sudoeste de Goiás.

Nos próximos subtópicos, são analisados os resultados encontrados para as melhores e piores categorias mencionadas.

4.1 Ecoeficientes

Alto Paraíso de Goiás e Aparecida do Rio Doce são os municípios melhor colocados na classificação dos municípios ecoeficientes, estando localizados em microrregiões diferentes: Chapada dos Veadeiros e Sudoeste de Goiás respectivamente. Destaca-se que ambas foram 123 vezes referências para outros municípios, ou seja, considerados *benchmark* para a metade de todas as DMSs. Na Tabela 3, registra-se a classificação dos outros

18 municípios ecoeficientes que são referências e o número de vezes que são *benchmark*.

Grande parte do município de Alto Paraíso de Goiás esta inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) de Pouso Alto, criada para proteger o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, um dos principais polos de ecoturismo do Centro-oeste brasileiro. Isto limita as áreas de produção agropecuária e situa o município no primeiro lugar do *ranking* de terras preservadas com 44% da área total dos estabelecimentos (IBGE, 2010). Ou seja, torna inviável a produção em larga escala na região, o que fez com que os produtores locais procurassem uma produção para atender nichos especiais de mercado (CAMPOS; VALENTE, 2010). Além disso, confirmando esse fato, os resultados do cálculo mostram que sua ecoeficiência está relacionada à forma como o município decide como alocar a produção e os recursos. O preço sombra da variável área preservada na determinação da ecoeficiência é o mais relevante, com aproximadamente 71,08% da importância dos *outputs*, enquanto, que a variável área teve peso de aproximadamente 100% nos *inputs*.

TABELA 3 – *Ranking* dos vinte municípios goianos ecoeficientes

| Posição | DMU | Município | Referência |
|---------|-----|------------------------|------------|
| 1 | 43 | Alto Paraíso de Goiás | 123 |
| 2 | 165 | Aparecida do Rio Doce | 123 |
| 3 | 215 | Rio Quente | 122 |
| 4 | 88 | Ouro Verde de Goiás | 114 |
| 5 | 194 | Turvelândia | 54 |
| 6 | 96 | Fazenda Nova | 50 |
| 7 | 50 | Teresina de Goiás | 30 |
| 8 | 46 | Colinas do Sul | 29 |
| 9 | 71 | São Patrício | 29 |
| 10 | 94 | Cachoeira de Goiás | 22 |
| 11 | 196 | Água Limpa | 18 |
| 12 | 227 | Anhanguera | 18 |
| 13 | 198 | Bom Jesus de Goiás | 17 |
| 14 | 6 | São Miguel do Araguaia | 13 |
| 15 | 108 | Buriti de Goiás | 9 |
| 16 | 168 | Castelândia | 9 |
| 17 | 172 | Maurilândia | 9 |
| 18 | 240 | Gouvelândia | 9 |
| 19 | 45 | Cavalcante | 8 |
| 20 | 13 | Itapirapuã | 7 |

Fonte: Dados de pesquisa

Empatado em número de referência com o município de Alto Paraíso, está o município de Aparecida do Rio Doce. Esta pequena comarca é um grande produtor de gado de corte e suínos, o que explica que a receita animal obteve o maior peso nos *outputs* com 58,20% seguido pela área degradada com 42,24%, dado que foram contabilizados apenas 12 hectares de área degradada. Já a variável - insumos agrícolas aparece com o maior peso nos *inputs* (91,42%).

Nesse sentido, é necessário também enfatizar que, na classificação dos 68 ecoeficientes, apenas dois estão na lista dos dez municípios de Goiás com maior PIB agropecuário. Eles são: Chapadão do Céu e Montividiu, municípios da microrregião do Sudoeste de Goiás. Os outros municípios dessa lista aparecem com ineficiência de escala.

4.2 Alta Ecoineficiência

Nessa categoria, por último, são apresentados os municípios que obtiveram os piores resultados, ou seja, municípios com alta ecoineficiência, com β menores que 0,69100.

Convém destacar que o município de Quirinópolis teve um β de 1,0 (*score* de 0,5), demonstrando assim ser o município mais ecoineficiente. No entanto, estando na lista dos dez municípios com maior PIB agropecuário e ocupando a 17ª posição na classificação dos maiores PIB de Goiás, Quirinópolis, além de indicar um superdimensionamento, tem ineficiência técnica pura. Para tornar-se ecoeficiente, Quirinópolis deve tomar como referência os municípios de Ananguera, São

Patrício, Ouro Verde de Goiás e Água Limpa, ou seja, deve espelhar-se numa unidade virtual formada por uma combinação linear dos pontos que representam estes municípios. Isto indica as metas de melhoria, expostas na Tabela 4.

Conforme Tabela 4, Quirinópolis para se tornar ecoeficiente deve reduzir totalmente os 212 hectares de área degradada ($b1$), além de dobrar as receitas vegetal ($y1$) e animal ($y2$), e a área preservada ($y3$). Já nas variáveis dos *inputs*, o destaque se dá na diminuição em 78,62% dos gastos com capital fixo ($x3$).

Para concluir, estimaram-se as estatísticas descritivas dos índices de ecoeficiência. Conforme se observa na Figura 6, a dispersão dos *scores* mostrou-se muito grande, indicando uma ampla diferença entre o maior (1) e o menor *score* (0,5). Além disso, no extremo inferior (primeiro quartil) foram encontrados municípios de alta e baixa produção agropecuária. Porém, nota-se uma assimetria negativa, advertindo uma maior concentração dos índices no terceiro e quarto quartil, com uma média maior que a mediana. A média estadual de ineficiência ambiental é satisfatória, resultando 0,77. Mesmo assim, isto significa - como evidenciado na Tabela 5 - que a economia de recursos para Goiás pode chegar aos R\$ 1.290.264.669,94 com mão de obra, capital e outros insumos (218.138.863,46 + 913.446.005,95 + 158.679.800,53) e de 194.047 ha de terras. Simultaneamente é possível elevar a receita vegetal e animal em R\$ 2.835.872.090,34 (1.576.027.928,13 + 1.259.844.162,21), aumentar as áreas preservadas em 1.534.833 ha e reduzir as áreas degradadas em 20.470 ha.

TABELA 4 – Quadro de melhorias para o município de Quirinópolis – DMU 245

| DMU 245 | Dados iniciais | Projeção | Metas* | % Diferença |
|------------|----------------|---------------|----------------|-------------|
| $x1$ (R\$) | 7.637.020,00 | 7.637.020,00 | 0 | 0 |
| $x2$ (R\$) | 49.665.412,00 | 46.474.137,58 | - 3.191.274,42 | - 6,43% |
| $x3$ (R\$) | 9.327.018,60 | 1.993.970,08 | -7.333.048,52 | - 78,62% |
| $x4$ (ha) | 235.595 | 201.285 | - 34.310 | - 14,56% |
| $y1$ (R\$) | 22.466.153,00 | 44.932.302,55 | 22.466.149,55 | 100,00% |
| $y2$ (R\$) | 27.366.076,00 | 54.732.147,80 | 27.366.076,00 | 100,00% |
| $y3$ (ha) | 16.022 | 32.044 | 16.022 | 100,00% |
| $b1$ (ha) | 212 | 0 | - 212 | - 100,00% |

* Para se tornar ecoeficiente

Fonte: Dados de pesquisa

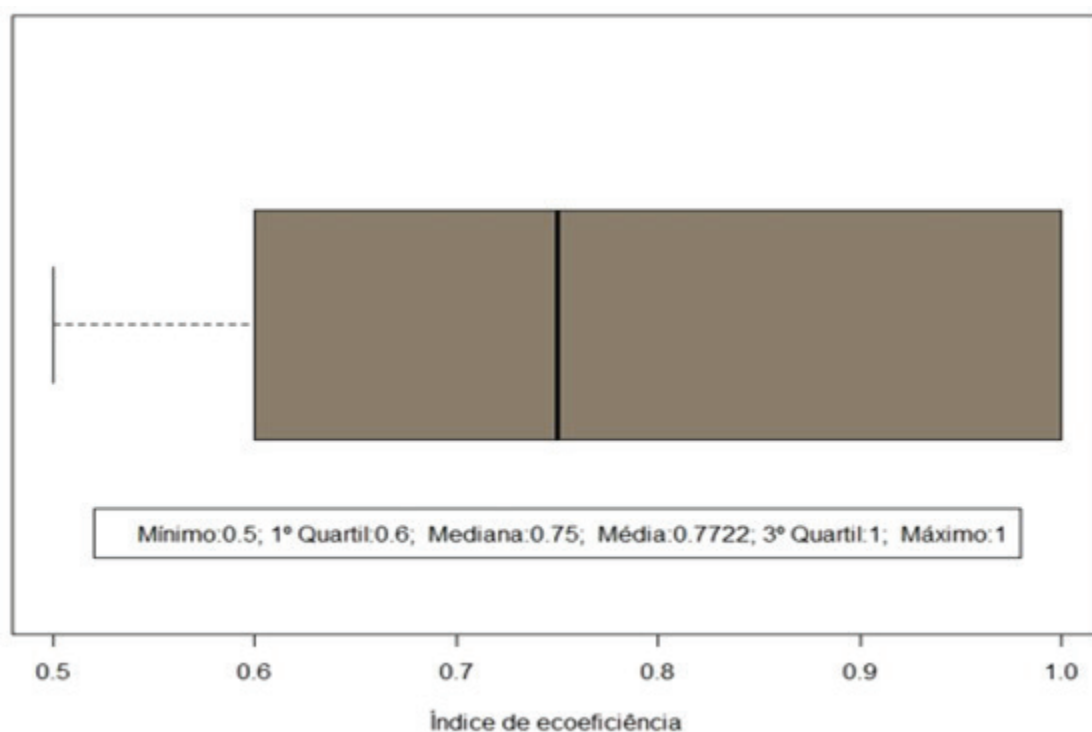


FIGURA 6 – Boxplot dos índices de ecoineficiência dos municípios goianos

Fonte: Dados de Pesquisa

TABELA 5 – Quadro de melhorias para o estado de Goiás

| Goiás | Dados | Projeção | Metas* | % diferença |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|-------------|
| <i>x1</i> (R\$) | 1.007.511.069,00 | 789.372.205,54 | - 218.138.863,46 | - 21,65% |
| <i>x2</i> (R\$) | 4.839.833.276,00 | 3.926.387.270,05 | - 913.446.005,95 | - 18,87% |
| <i>x3</i> (R\$) | 486.028.708,00 | 327.348.907,47 | -158.679.800,53 | - 32,65% |
| <i>x4</i> (ha) | 26.136.081 | 25.942.034 | -194.047 | - 0,74% |
| <i>y1</i> (R\$) | 4.591.793.957,00 | 6.167.821.885,13 | 1.576.027.928,13 | 34,32% |
| <i>y2</i> (R\$) | 3.306.691.776,00 | 4.566.535.938,21 | 1.259.844.162,21 | 38,10% |
| <i>y3</i> (ha) | 4.444.876 | 5.979.709 | 1.534.833 | 34,53% |
| <i>b1</i> (ha) | 44.622 | 24.152 | - 20.470 | - 45,87% |

* Para se tornar ecoeficiente

Fonte: Dados de pesquisa

5 CONCLUSÕES

Este artigo atingiu seu objetivo, estimando e mapeando a ecoeficiência da agropecuária goiana utilizando a DEA, combinado com as DDF e incorporando,

na análise, uma externalidade ambiental positiva e outra negativa. Essa técnica mostrou-se adequada para identificar os municípios ecoeficientes e ecoineficientes, viabilizando a definição de metas de redução de *inputs* e do impacto ambiental, bem como de elevação da produção

para melhorar o desempenho econômico ambiental do estado de Goiás. Além disso, este trabalho preenche uma lacuna importante no que diz respeito à avaliação da ecoeficiência, em especial pelo fato de não ter sido encontrada referência na literatura do uso deste método no caso da agropecuária goiana.

Os resultados desta pesquisa mostram que 68 do total dos 246 municípios goianos avaliados foram considerados ecoeficientes. Os demais municípios puderam ser divididos em outras categorias (baixa, média e alta ecoineficiência), perfazendo assim, um total de 178 considerados ecoineficientes. Entre os ecoeficientes, destacam-se os municípios de Alto Paraíso de Goiás e Aparecida do Rio Doce, que apareceram como referência para outros 123 municípios. O município de pior desempenho foi Quirinópolis, uma comarca que está na lista dos dez municípios com maior PIB agropecuário de Goiás.

A estatística descritiva dos *scores* indicou uma grande dispersão, mostrando que no primeiro quartil (25%) da distribuição encontram-se municípios de alta e baixa produção agropecuária. O *score* de ecoineficiência geral do estado é satisfatório com uma média geral de 0,77, o que indica que a economia de recursos pode chegar ao R\$ 1.290.264.669,94 com mão-de-obra, capital e outros insumos e de 194.047 ha de terras. Simultaneamente é possível elevar a receita em R\$ 2.835.872.090,34, aumentar as áreas preservadas em 1.534.833 ha e reduzir as áreas degradadas em 20.470 ha. Essa informação poderia ser utilizada para definir políticas públicas e privadas condizentes com a otimização da sustentabilidade econômica ambiental, seguindo o princípio de Pareto.

Para reforçar e realizar essas melhorias, recomenda-se um estudo *in loco* dos municípios *benchmarks* que permita entender os fatores determinantes da ecoeficiência e difundir as tecnologias mais “limpas” de produção. Essa estratégia pode gerar maiores resultados na produtividade e na qualidade ambiental que outras ações orientadas simplesmente a fomentar a inovação tecnológica. Enquanto o custo da reprodução das boas práticas existentes for mais baixo que o custo de inovação, os municípios ecoineficientes podem aproximar-se rapidamente das líderes, criando-se as condições para sustentar a convergência do desenvolvimento econômico ambiental.

Cabe destacar também que existe um grande potencial de pesquisa com a extensão do método utilizado. A introdução de uma dimensão temporal pode criar um modelo dinâmico, que estude outros problemas

importantes para a sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: a evolução da ecoeficiência e a natureza de sua trajetória temporal, com ou sem flutuações, com tendência a convergir ou divergir. Além disso, o estudo pode ser replicado em outras regiões, unidades federativas ou biomas do Brasil, incluindo outras variáveis como a emissão de gases de efeito estufa (GEE), utilizada hoje como uma *proxy* sintética para caracterizar o impacto ambiental.

Para concluir, é necessário salientar que algumas prudências devem ser tomadas no emprego dos resultados achados. Segundo Rosano-Peña, Albuquerque e Carvalho (2012), a DEA, como qualquer outro método, possui limitações. Por ser uma técnica determinística, a DEA ignora as perturbações aleatórias do processo produtivo, e por apresentar a eficiência como uma medida relativa às melhores práticas amostradas, é muito susceptível às observações. Seus resultados estão condicionados à amostra das unidades avaliada, aos *inputs* e *outputs* contemplados e ao princípio de que todos os demais fatores envolvidos e não considerados na pesquisa são idênticos. O acréscimo ou exclusão de unidades e/ou variáveis pode gerar resultados diferentes.

6 REFERÊNCIAS

- ACADEMIA PEARSON. **Gestão ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.
- ANJOS, M. C.; BORDIN, B.; MELLO, J. C. S. de. Avaliação de empresas de distribuição de energia elétrica com Análise Envoltória de Dados (DEA). **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**, Niterói, v. 10, n. 8, p. 1-11, 2010.
- AVELLAR, J. V. G. de; MILIONI, A. Z.; RABELLO, T. N. Modelos DEA com variáveis limitadas ou soma constante. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 135-150, 2005.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, New York, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.
- BOZOGLU, M. et al. Evaluation of different trout farming systems and some policy issues in the Black Sea region, Turkey. **Journal of Applied Sciences**, Faisalabad, v. 6, n. 14, p. 2882-2888, 2006.

- BRASIL. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, 2012. 38 p.
- BRAVO-URETA, B. et al. Technical efficiency in farming: amegaregression analysis. **Journal of Productivity Analysis**, New York, v. 27, p. 57-72, 2007.
- CAMARGO, F. de O.; GUIMARÃES, K. M. S. O princípio da eficiência na gestão pública. **Revista CEPPG**, Catalão, n. 28, p. 133-145, 2013.
- CAMPOS, J. I.; VALENTE, A. L. E. F. A construção do mercado para o café em Alto Paraíso de Goiás. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 48, n. 1, p. 23-40, 2010.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, Poznan, v. 2, p. 429-444, 1978.
- CHUNG, Y.; FÄRE, R.; GROSSKOPF, S. Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach. **Journal of Environmental Management**, New York, n. 51, p. 229-240, 1997.
- COELLI, T. et al. **A primer on efficiency measurement fo utilities and transport regulators**. Washington: The World Bank, 2003. 134 p.
- CUNHA, A. S. et al. **Uma avaliação da sustentabilidade da agricultura nos cerrados**. Brasília: IPEA, 1994. 2 v.
- DARKU, A.; MALLA, S.; TRAN, K. **Historical review of agricultural efficiency studies**. Lethbridge: CAIRN Research Network, 2013.
- DIOS-PALOMARES, R. et al. Análisis de la eficiencia de sistemas agropecuarios en américa latina y el caribe mediante la incorporación de aspectos ambientales. **Revista Científica**, Mérida, v. 25, n. 1, p. 43-50, 2015.
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; LOVELL, C. A. K. **Production frontiers**. New York: Cambridge University Press, 1994. 294 p.
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; PASURKA, C. Effects on relative efficiency in electric power generation due to environmental controls. **Resources and Energy**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 167-184, 1986.
- FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; WEBER, W. L. Shadow prices and pollution costs in US agriculture. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 56, p. 89-103, 2006.
- FARREL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistic Society, Series A (General)**, London, v. 120, p. 253-290, 1957.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION. **FAO statistical databases**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 15 dez. 2013.
- GOLANY, B.; ROLL, Y. An application procedure for DEA. **Omega**, Oxford, v. 17, n. 3, p. 237-250, 1989.
- GOMES, E. G. Uso de modelos DEA em agricultura: revisão da literatura. **Engevista**, Niterói, v. 10, n. 1, 2008.
- GOMES, E. G.; MANGABEIRA, J. A. D. C. Uso de análise de envoltória de dados em agricultura: o caso de Holambra. **Engevista**, Niterói, v. 6, n. 1, p. 19-27, 2004.
- GOMES, E. G.; MANGABEIRA, J. A. D. C.; MELLO, J. C. C. B. S. de. 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**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 607-631, 2005.
- GÓMEZ-LIMÓN, J. A.; PICAZO-TADEO, A. J.; REIG-MARTÍNEZ, E. Eco-efficiency assessment of olive farms in Andalusia. **Land Use Policy**, Amsterdam, n. 29, p. 395-406, 2012.
- HAHN, T. et al. Opportunity cost based analysis of corporate ecoefficiency: a methodology and its application to the CO2- efficiency of German companies. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 91, n. 10, p. 1997-2007, 2010.
- HOUAISS, A. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. São Paulo: Objetiva, 2001.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário de 2006**: Brasil, grandes regiões e unidades da federação:segunda apuração. Rio de Janeiro, 2012. 774 p.
- MÁRQUEZ, T. E. et al. Determinantes de la eficiencia técnica de explotaciones de frijol ubicadas en portuguesa, Venezuela. **Temas Agrarios**, Córdoba, v. 18, n. 2, p. 67-82, 2013.
- MELLO, J. C. C. B. S. de et al. Curso de análise de envoltória de dados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 37, 2005, Gramado. **Anais...** Gramado: SBPO, 2005. 1 CD-ROM.
- MUELLER, C. C. Políticas governamentais e a expansão recente da agropecuária no centro-oeste. **Revista de Planejamento e Políticas Públicas**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 45-74, 1990.
- NERY, C. V. M. et al. Aplicação do Novo Código Florestal na avaliação das áreas de preservação permanente em topo de morro na sub-bacia do rio Canoas no município de Montes Claros/MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, n. 6, p. 1673-1688, 2013.
- OLIVEIRA, L. Revolução verde com práticas ecológicas. **Desafios do Desenvolvimento**, Brasília, v. 10, n. 80, p. 44-46, 2014.
- PAARLBERG, R. L. Lessons of the grain embargo. **Foreign Affairs**, New York, v. 59, n. 1, p. 144-152, 1980.
- PICAZO TADEO, A. J.; PRIOR, D. Environmental externalities and efficiency measurement. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 90, p. 3332-3339, 2009.
- PITTMAN, R. W. Multilateral productivity comparisons with undesirable outputs. **Energy Journal**, Amsterdam, v. 93, p. 883-891, 1983.
- REIFSCHNEIDER, F. J. B. et al. **Novos ângulos da história da agricultura no Brasil**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2010. 112 p.
- ROCHA, M. D.; MACIEL, D. P.; LIMA, D. A. L. L. II PND, o POLOCENTRO e o desenvolvimento do Estado de Goiás. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Belo Horizonte, v. 12, n. 1, p. 682-692, 2014.
- ROSANO-PEÑA, C.; ALBUQUERQUE, P. H. M.; CARVALHO, J. M. A eficiência dos gastos públicos em educação: evidências georreferenciadas nos municípios goianos. **Economia Aplicada**, Ribeirão Preto, v. 16, n. 3, 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 ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO, 37., 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANPAD, 2013. Disponível em: <http://www.anpad.org.br/admin/pdf/2013_EnANPAD_GOL435.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2015.
- SCHALTEGGER, S.; MÜLLER, K.; HINDRICHSEN, H. **Corporate environmental accounting**. Chichester: Wiley, 1996. 306 p.
- SCHMIDHEINY, S. **Changing course**: a global business perspective on development and the environment. Cambridge: MIT, 1992.
- SEN, A. Markets and freedoms: achievements and limitations of the market mechanism in promoting individual freedoms. **Oxford Economic Papers**, Oxford, v. 45, n. 4, p. 519-541, 1993.
- STEFFANELLO, M.; MACEDO, M. A. da S.; ALYRIO, R. D. Eficiência produtiva de unidades agropecuárias: uma aplicação do método não-paramétrico análise envoltória de dados (DEA). **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 40-56, 2009.
- TANNURI-PIANTO, M. E.; SOUSA, M. da C. S. de; ARCOVERDE, F. D. Fronteiras de eficiência estocásticas para as empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil: uma análise de dados de painel. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 221-247, 2009.
- VERDESIO, J. J. As perspectivas ambientais do cerrado brasileiro. In: PINTO, M. N. (Org.). **Cerrado**: caracterização, ocupação e perspectivas. 2. ed. Brasília: UnB, 1993. p. 585-605.
- VILLAVICENCIO, G. J. D.; DIDONET, S. R. Ecoeficiencia en la gestión de residuos municipales en Catalunya. **Revista de Administração da UFSM**, Santa Maria, v. 1, n. 2, p. 193-208, 2008.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Measuring ecoefficiency:** a guide to reporting company performance. Geneva, 2000.

ZHANG, B. et al. Eco-efficiency analysis of industrial system in China: a data envelopment analysis approach.

Ecological Economics, Amsterdam, v. 68, n. 1, p. 306-316, 2008.

ZHOU, P.; ANG, B. W.; POH, K. L. A survey of data envelopment analysis in environmental studies. **European Journal of Operational Research**, Poznan, v. 189, n. 1, p. 1-18, 2008.