



SPOLM 2007

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 08 e 09 novembro de 2007.

## MODELAGEM DEA EM AGRICULTURA: ESTADO DA ARTE

**Eliane Gonçalves Gomes**

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)  
Parque Estação Biológica (PqEB), Av. W3 Norte final, 70770-901, Brasília, DF  
eliane.gomes@embrapa.br

### Resumo

A rápida evolução da modelagem DEA, tanto em seus aspectos teóricos quanto em sua aplicação a casos de estudo reais, pode ser comprovada pela grande quantidade de artigos publicados. Uma das aplicações de destaque é na agricultura. Este artigo teve como objetivo fazer uma revisão do estado da arte sobre o uso de DEA em agricultura. Foram encontradas 157 referências em periódicos internacionais e nacionais, listadas ao final do artigo.

**Palavras-Chaves:** DEA; Agricultura; Estado da arte.

### Abstract

DEA's modelling rapid evolution can be noticed by the great number of published papers, either in its theoretical basis or in its application to real case studies,. One of these applications is in the agriculture field. This paper aimed at reviewing the state-of-the-art of DEA modelling in agriculture. We found 157 references in both international and national journals, listed at the end of this paper.

**Keywords:** DEA; Agriculture; State-of-the-art.

## 1. INTRODUÇÃO

A publicação do modelo CCR por Abraham Charnes, William Cooper e Edwardo Rhodes (Charnes et al., 1978) é reconhecida como o nascimento dos modelos de Análise de Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA). Esta classe de modelos permite determinar a eficiência de uma unidade produtiva (*Decision Making Unit* – DMU) comparativamente às demais, considerando-se os múltiplos recursos de que dispõe (*inputs*) e os múltiplos resultados alcançados (*outputs*). Desde então, a modelagem por DEA tornou-se popular na avaliação de eficiência, tanto no desenvolvimento de modelos teóricos quanto nas aplicações a casos reais. Isto é claramente constatado pelas inúmeras publicações científicas sobre DEA, listadas, por exemplo, nos artigos de Seiford (1997), Emrouznejad (2001), Tavares (2002), Phillips (2005). Esse universo é ainda expandido por relatórios técnicos (*working papers*), teses defendidas e artigos publicados em anais de eventos científicos.

Recentemente tiveram destaque números especiais de periódicos sobre o tema, como por exemplo, o número 3 do volume 4 do *International Journal of Information Technology & Decision Making*, de 2005; o número 10 do volume 55 do *Journal of the Operational Research Society*, de 2004; o número 2, do volume 22, ano de 2002, da revista *Pesquisa Operacional*; e, ainda, uma chamada de artigos no final de 2006 para uma edição especial sobre DEA no *Journal of the Operational Research Society*. São igualmente importantes os

simpósios internacionais dedicados somente à modelagem DEA, como o *International DEA Symposium*, evento bianual, cuja 5<sup>a</sup> edição ocorreu em Janeiro de 2007 e que terá sua 6<sup>a</sup> edição, em Janeiro de 2009, sediada no Rio de Janeiro.

Lovell (2001) e Gattoufi et al. (2004a, 2004b) discutem as tendências da pesquisa em DEA, com indicações sobre sua relevância, difusão e aceitação em outras áreas da Pesquisa Operacional. Gattoufi et al. (2004a) destacam também os expressivos números do “universo” DEA: até agosto de 2001, a literatura de DEA contava com mais de 1800 artigos, 1100 deles publicados desde 1995. Os dados coletados por estes autores mostram que entre 1996 e 2001, 21% dos artigos eram teóricos, 52% aplicados e 27% teóricos e aplicados. Isto mostra a grande inserção desta classe de modelos na avaliação de eficiência em estudos de caso reais.

Na literatura foram encontrados alguns estudos sobre o estado da arte do uso de modelos de fronteiras de produção (paramétricas e não paramétricas; determinísticas e estocásticas) e avaliação de eficiência e produtividade em agricultura. Entretanto, não foram encontradas referências sobre revisão da literatura do uso específico de modelos DEA em agricultura. Dessa forma, este artigo tem como objetivo contribuir para esta classe de estudos e fazer uma revisão da literatura, tão extensa quanto possível, no que se refere ao uso de DEA em agricultura. Na maioria dos casos encontrados, a avaliação é de agricultores/fazendas e de regiões geográficas, sendo pontual em pesquisa agropecuária.

Este artigo está organizado como segue. No item 2 é feito um breve resumo dos modelos matemáticos clássicos da classe DEA. No item 3 apresenta-se o estado da arte no tema DEA e agricultura e mostram-se alguns números que refletem a potencialidade desta conjugação. No item 4 são feitas algumas considerações finais. Finalmente, no item 5 listam-se todas as referências bibliográficas pesquisadas.

## 2. MODELAGEM DEA

DEA é tradicionalmente uma metodologia de análise de eficiência que usa Programação Linear para determinar uma fronteira de produção, linear por partes. O objetivo primário de DEA consiste em comparar um certo número de DMUs que realizam tarefas similares e se diferenciam nas quantidades de *inputs* que consomem e de *outputs* que produzem. Em modelagem por DEA são necessárias três etapas para a implementação do problema: definição e seleção de DMUs; seleção das variáveis (*inputs* e *outputs*); escolha e aplicação do modelo (tipo de retornos de escala; orientação; modelos avançados) (Cooper et al., 2000, 2004). A abordagem DEA pode ser dividida em duas etapas: determinação das medidas de eficiência e projeção na fronteira eficiente. A avaliação conjunta dos resultados dessas duas etapas pode ser de extrema utilidade na determinação de ações que melhorem o desempenho na área agrícola.

Há duas formulações (duais) equivalentes para DEA. De forma simplificada, pode-se dizer que uma das formulações (modelo do Envelope) define uma região viável de produção e trabalha com uma projeção de cada DMU na fronteira dessa região. A outra formulação (modelo dos Multiplicadores) trabalha com a razão de somas ponderadas de produtos e recursos, com a ponderação escolhida de forma mais favorável a cada DMU, respeitando-se determinadas condições. Os dois modelos DEA clássicos são o CCR e o BCC.

O modelo CCR (Charnes et al., 1978) supõe retornos constantes de escala, ou seja, acréscimos nos recursos produzirão acréscimos proporcionais nos produtos. O modelo BCC (Banker et al., 1984) considera situações de produção com variação de escala e não assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*. Nesse modelo, o axioma da proporcionalidade é substituído pelo axioma da convexidade. De forma não matemática, no modelo BCC uma DMU é eficiente se, na escala em que opera, é a que melhor aproveita os recursos de que dispõe (relação *outputs/inputs*).

Diversos aperfeiçoamentos e desenvolvimentos teóricos aos modelos DEA clássicos vêm sendo realizados ao longo dos anos. Conforme destacado por Charnes et al. (1994), os

novos desenvolvimentos em DEA surgem para contornar problemas que surgem na aplicação do método. Alguns modelos avançados podem ser vistos em Cooper et al. (2000, 2004).

### 3. ESTADO DA ARTE: DEA E AGRICULTURA

Diversos autores dedicaram-se a rever o uso de modelos de fronteiras de produção na área agrícola. Battese (1992) conduziu um estudo sobre os diversos modelos de fronteiras de produção e explorou o estado da arte do uso de fronteiras de produção paramétricas em agricultura. Aplicações de métodos de fronteiras de produção à agricultura de países em desenvolvimento foram resumidas por Bravo-Ureta e Pinheiro (1993). Neste estudo, dos 37 artigos referenciados, um usava DEA. Coelli (1995), além de fazer uma revisão dos diversos modelos de fronteiras de produção e de medidas de eficiência, completou o estudo de Bravo-Ureta e Pinheiro (1993). Dos 38 artigos encontrados por ele sobre o tema fronteiras de produção e avaliação de eficiência, somente três empregavam DEA.

Thiam et al. (2001) atualizaram a revisão da literatura de Bravo-Ureta e Pinheiro (1993) para os países em desenvolvimento, e dos 51 artigos referenciados, somente dois referiam-se ao uso de DEA. Bravo-Ureta et al. (2007) expandiram a revisão de Thiam et al. (2001) e conduziram pesquisa sobre modelos de fronteiras de produção em nível de fazenda. Dos 569 estudos encontrados (muitos usavam mais de uma técnica ou mais de um tipo de análise), 87 usaram modelos não-paramétricos tipo DEA.

Revisões sobre o uso de modelos DEA aplicados à agricultura do Leste Europeu (República Tcheca, Hungria e Alemanha Oriental) podem ser vistos em Sarris et al. (1999). Nesta mesma linha, Gorton e Davidova (2004) fizeram uma revisão de estudos de eficiência sobre o Centro e Leste Europeus e dos 10 artigos encontrados, dois usavam DEA e outros dois combinavam DEA e outras técnicas de avaliação de eficiência.

Outras revisões da literatura também merecem destaque. Na revisão feita por Seiford (1997), de um total de 800 artigos listados entre 1978 e 1996, o autor encontrou dez referências ao uso de DEA na área agrícola. Sowlati (2005) fez uma revisão de estudos de eficiência na área agroflorestal. Picazo-Tadeo e Reig-Martínez (2007) publicaram uma revisão sobre estudos de eficiência que consideram externalidades ambientais da agricultura. Sharma e Leung (2003) conduziram revisão de estudos com DEA e SFA (Fronteiras Estocásticas) especificamente em aquíicultura (produção de camarão, carpa e tilápia). Alene et al. (2006) reviram estudos que comparam DEA e SFA em diversas áreas da agricultura.

A pesquisa resumida neste artigo foi feita entre março e maio de 2007. Foram pesquisadas as bases de dados *Web of Science*, *Scopus*, *ProQuest*, *Compendex*, *WebSpiris*, *EbscoHost*; *WilsonWeb*, *Agricola*, *Agronbase*, *AgEcon Search*, *CIAT* e *SciELO*. Algumas delas permitem acesso aos artigos completos, outras somente ao resumo. Foram encontradas 157 referências ao uso de modelos DEA em agricultura. 101 deles foram acessados como artigos completos e 56 como resumo. Alguns dos artigos tratam somente do uso de DEA, mas a maioria combina diversos modelos de fronteiras de produção e econométricos (por exemplo, comparam os resultados de DEA e de SFA; DEA e fronteiras de produção determinísticas tipo Cobb-Douglas; usam DEA e TFP (*Total Factor Productivity*); usam os resultados de DEA como variável dependente de modelos econométricos etc.). Foi também feita uma pesquisa na base de Currículos Lattes, do CNPq, para identificar publicações de autores nacionais. Estas representam, neste artigo, 11,5% do total encontrado (20 publicações), sendo duas em periódicos internacionais e o restante em periódicos nacionais.

Não foram aqui considerados os artigos publicados em anais de congressos, relatórios técnicos e teses de mestrado e doutorado. Foram somente registrados os artigos publicados em periódicos de circulação nacional e internacional, com júri formalizado, e que constavam das bases acima mencionadas (com exceção de alguns periódicos nacionais).

Os artigos foram descritos segundo: (1) tipo de produto, (2) localização geográfica do estudo de caso, (3) tipo e quantidade de DMUs, (4) ano dos dados, (5) modelo DEA

empregado, (6) variáveis (*inputs* e *outputs*), (7) periódico, (8) ano de publicação. No caso dos resumos, as informações (1), (2), (3), (7) e (8) foram descritas para todos; as demais somente puderam ser preenchidas para alguns. A Tabela 1 resume a classificação proposta e apresenta a frequência relativa encontrada em cada caso.

Pela análise da Tabela 1 verifica-se que o tema mais frequente é a agricultura, seguida da agropecuária e da pecuária de leite. O tema agropecuária está mais ligado aos casos que avaliam eficiência de localizações geográficas; os demais referem-se, em sua maioria, à avaliação de produtores rurais.

Tabela 1: Resumo dos artigos encontrados.

Produto agropecuário		Pesquisa Agropecuária (1,9%); Agroflorestal (2,6%); Horticultura (2,6%); Pecuária de corte (exceto suínos) (3,2%); Suinocultura (4,5%); Aqüicultura (5,1%); Pecuária de leite (17,3%); Agropecuária (produção animal) (19,2%); Agricultura (produção vegetal – grãos, soja, milho, trigo, algodão, arroz, citrus, outros) (43,6%)
Localização geográfica		Costa Rica, Escócia, Filipinas, Indonésia, Mongólia, Nepal, Nova Zelândia, Reino Unido, República Tcheca e Eslováquia, Tailândia, Tanzânia, Ucrânia, Vietnã, Bengali, Zimbábwe (0,6% cada); Canadá, Coreia, Costa do Marfim, Finlândia, Hawaii, Hungria, Noruega, Paquistão, Polônia (1,3% cada); África do Sul, Bangladesh, Dinamarca, Eslovênia, Etiópia, Japão, Oman, Rússia (1,9% cada); Alemanha, Austrália, França, Índia, Taiwan, Diversos países em uma mesma análise (2,6% cada); China, Grécia (3,2% cada); Holanda (3,9%); Turquia (5,2%); Espanha (7,2%); Estados Unidos (12,9%); Brasil (12,9%) *
DMUs	Tipo	Plantas de processamento, Regiões (0,7% cada); Condados, Distritos, Embarcações, Parcelas, Províncias (1,4% cada); Centros de pesquisa (2%); Estados, Municípios, Países (2,7%); Empresas agrícolas (3,4%); Cooperativas (6,8%); Fazendas/produtores rurais (71,3%)
	Quantidade	Média = 180; Mediana = 88; Desvio padrão = 281; Máximo = 1742; Mínimo = 8
Ano dos dados		de 1980 até 2005
Modelo DEA empregado		Aditivo (0,5%); IRS-I (0,9%); Variáveis ambientais (0,9%); FDH (1,4%); Variáveis exógenas (1,4%); NIRS-I (2,8%); <i>Outputs</i> indesejáveis (3,8%); Variáveis não discricionárias (4,3%); DEA Malmquist (8,1%); BCC-O (9,5%); CCR-O (9,5%); Outros (10,4%) **; CCR-I (20,0%); BCC-I (26,5%)
Variáveis	<i>Inputs</i> ***	Herbicidas (0,9%); Juros (0,9%); Irrigação (2,7%); Tamanho do rebanho (2,7%); Ração (3,3%); Pesticidas (3,6%); Máquinas (6,3%); Capital (11,8%); Insumos variáveis (12,1%); Fertilizantes (13,6%); Área agrícola (16,9%); Mão-de-obra (25,1%)
	<i>Outputs</i> ***	Índices sintéticos (preços ou quantidade) (2,9%); Vendas (3,6%); Produtividade (7,3%); Valor da produção (7,3%); Renda/rendimento/retorno financeiro (16,8%); Produção (vegetal e/ou animal) (62,0%)
Periódico		Annals of Operations Research, Journal of Econometrics, Investigação Operacional (0,6% cada); Aquaculture, Canadian Journal of Agricultural Economics, European Journal of Operational Research, Food Economics - Acta Agriculturae Scandinavica, Section C, Forest Policy and Economics, Irrigation and Drainage, Journal of Sustainable Agriculture, Journal of the Agricultural Association of China, Pakistan Journal of Biological Sciences, Pesquisa Operacional, Revista de Economia e Sociologia Rural, Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (1,3% cada); Applied Economics Letters, Journal of Comparative Economics, Journal of Environmental Management, Omega, Quarterly Journal of International Agriculture, Revista de Economia e Agronegócio (1,9% cada); The Australian Journal of Agriculture and Resource Economics (2,6%); European Review of Agricultural Economics, Journal of Agricultural Economics (3,2% cada); Journal of Productivity Analysis (4,5%); Agricultural Systems (5,1%); Applied Economics (5,8%); Agricultural Economics (9,6%); outros (0,6% cada)
Ano de publicação		1985-1990 (2,5%); 1991-1995 (5,7%); 1996-2000 (21,7%); 2001-2005 (45,2%); 2006-2007 (24,8%)

\* a frequência relativa de artigos sobre estudos de caso brasileiros está majorada em relação ao total, pois foram aqui consideradas as publicações em periódicos nacionais; \*\* modelos DEA avançados (ex. IDEA, fronteira difusa, eficiência hiperbólica, restrições aos pesos etc.); \*\*\* foram listados apenas os mais citados; casos pontuais foram aqui desconsiderados.

Quanto à localização geográfica, não há uma tendência nas análises. Entretanto, ressalta-se que a frequência relativa de artigos sobre estudos de caso brasileiros está majorada em relação ao total, pois foram consideradas todas as publicações encontradas, tanto aquelas publicadas em periódicos internacionais quanto nacionais.

Os tipos de unidades de avaliação também variam, mas concentram-se na avaliação de produtores rurais/fazendas. A obtenção de dados nestes casos é geralmente feita via questionários de campo. Grande parte dos autores comenta sobre a dificuldade de obtenção de dados confiáveis neste tipo de pesquisa, o que interfere na qualidade dos mesmos e conduz ao descarte de uma grande quantidade de produtores (DMUs) durante a análise.

As quantidades de DMUs também variam de caso a caso. Para o caso de cooperativas, a média foi de 41 DMUs; mediana = 40; desvio padrão = 28; máximo = 101; mínimo = 10. Para o caso de divisões geográficas: média = 103; mediana = 41; desvio padrão = 175; máximo = 754; mínimo = 8. Para o caso de as DMUs serem fazendas/agricultores: média = 215; mediana = 117; desvio padrão = 305; máximo = 1742; mínimo = 8.

Quanto aos modelos DEA usados, a maioria dos artigos concentrou-se nos modelos DEA clássicos, CCR e BCC, com orientação dependente de cada caso. É interessante notar que cerca de 10% dos artigos trouxeram algum avanço teórico para a modelagem DEA, o que mostra que ainda há potencialidades de novos desenvolvimentos e aplicações nesta área. Destaca-se uma parcela importante de artigos que usaram índices de Malmquist e DEA em suas análises. Estes referem-se sempre a estudos com dados de diversos períodos de tempo, no sentido de acompanhar a evolução do desempenho das unidades de avaliação do caso em questão. Ressalta-se também que cerca de 5% dos artigos tratam de *outputs* indesejáveis e variáveis de caráter ambiental, temas de ponta em modelagem DEA.

As variáveis usadas na maioria dos casos da área agrícola representam as relações clássicas de capital e trabalho. Como *inputs*, os mais referenciados foram mão-de-obra (familiar e/ou contratada), área empregada para atividade agrícola, capital. Também receberam destaque o uso de insumos agrícolas diversos (fertilizantes, pesticidas, sementes, ração etc.) e máquinas e equipamentos. Como produto dos modelos DEA, geralmente foi usada a produção animal e/ou vegetal. Essas variáveis foram expressas em unidades físicas de medida ou em unidades monetárias.

Os artigos que usam DEA em agricultura foram na maioria publicados em periódicos da área agrícola, em especial na área de Economia Agrícola. As publicações em periódicos da área de Pesquisa Operacional representam cerca de 10% do total. Destacam-se nesta categoria o *Journal of Productivity Analysis*, *Omega*, *European Journal of Operational Research*, *Pesquisa Operacional*, *Annals of Operational Research* e *Investigação Operacional*.

Quanto ao período de publicação, verifica-se que os últimos dez anos foram responsáveis por quase 92% das contribuições de DEA em agricultura. Ressalta-se que cerca de 25% das publicações foram entre 2006 e 2007, o que mostra os crescentes uso e interesse por DEA na área agrícola.

### **3.1. USO NO CASO BRASILEIRO**

Conforme mencionado foram encontradas 20 publicações sobre o caso brasileiros. Destes, metade refere-se ao país, com análise da agropecuária dos estados brasileiros (Pereira et al., 2002; Vicente, 2004) ou de algumas localizações do país, com estudos sobre centros de pesquisa agropecuária (Souza et al., 1999, 2007; Souza, 2006), fazendas de pecuária de leite (Homem de Souza e Alves, 2003), municípios (Otsuki et al., 2002; Baptista et al., 2004; Sena e Pereira Filho, 2006) e fazendas típicas (Helfand e Levine, 2004).

Cinco artigos versavam sobre estudos no estado de São Paulo, quatro sobre fazendas, com análise da agropecuária (Gomes e Mangabeira, 2004; Gomes et al., 2005; Gomes et al., 2006) e da pecuária de leite (Tupy et al., 2003b), e um sobre cooperativas de leite (Tupy et al., 2003a). Os demais estudos referiram-se à avaliação de eficiência de agricultores que praticavam pecuária de leite no estado de Minas Gerais (Tupy e Yamaguchi, 2002; Santos et

al., 2004), pecuária de corte no Mato Grosso do Sul (Abreu et al., 2006), cultura do camarão no estado do Ceará (Souza Júnior et al., 2005) e de fazendas irrigadas em Pernambuco (Silva e Sampaio, 2002).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo traz uma primeira tentativa de reunir a literatura que trata sobre o uso de DEA em agricultura. Outros autores já realizaram estudos semelhantes, porém com o enfoque de modelos de fronteiras de produção e eficiência, não sendo específicos para a modelagem DEA. Este artigo é o primeiro que se dedica à revisão do tema “DEA em agricultura”.

Os artigos aqui reunidos mostram a potencialidade de aplicação de DEA na área agrícola, seja na avaliação de desempenho de agricultores, cooperativas, centros de pesquisa agropecuária ou de municípios/estados/países.

A relativa pequena quantidade de artigos publicados em revistas da área de Pesquisa Operacional pode ser justificada pela pouca quantidade de artigos que fazem uso de modelos teóricos avançados ou que trazem alguma inovação teórica à modelagem DEA. Isto demonstra a potencialidade de inserção para aqueles que desejam dedicar-se a esta temática.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABAY, C.; MIRAN, B.; GUNDEN, C. An analysis of input use efficiency in tobacco production with respect to sustainability: the case study of Turkey. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 24, n. 3, p. 123-143, 2004.
- [2] ABREU, U.G.P.; SANTOS, H.N.; LOPES, P.S.; TORRES, R.A.; BAPTISTA, A.J.M.S. Avaliação da introdução de tecnologias no sistema de produção de gado de corte no Pantanal: análise de eficiência. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5, p. 1242-1250, 2006.
- [3] ALDAZ, N.; MILLÁN, J.A. Regional productivity of Spanish agriculture in a panel DEA framework. **Applied Economics Letters**, v. 10, n. 2, p. 87-90, 2003.
- [4] ALEMDAR, T.; ÖREN, M.N. Measuring technical efficiency of wheat production in southeastern Anatolia with parametric and nonparametric methods. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 9, n. 6, 1088-1094.
- [5] ALENE, A.D.; MANYONG, V.M.; GOCKOWSK, J. The production efficiency of intercropping annual and perennial crops in southern Ethiopia: a comparison of distance functions and production frontiers. **Agricultural Systems**, v. 91, p. 51-70, 2006.
- [6] ALVAREZ, A.; ARIAS, C. Technical efficiency and farm size: a conditional analysis. **Agricultural Economics**, v. 30, n. 3, p. 241-250, 2004.
- [7] ASMILD, M.; HOUGAARD, J.L. Economic versus environmental improvement potentials of Danish pig farms. **Agricultural Economics**, v. 35, n. 2, p. 171-181, 2006.
- [8] AUDIBERT, M.; MATHONNAT, J.; HENRY, M.C. Social and health determinants of the efficiency of cotton farmers in Northern Côte d'Ivoire. **Social Science & Medicine**, v. 56, p. 1705-1717, 2003.
- [9] BALCOMBE, K.; FRASER, I.; KIM, J.H. Estimating technical efficiency of Australian dairy farms using alternative frontier methodologies. **Applied Economics**, v. 38, n. 19, p. 2221-2236, 2006.
- [10] BALMANN, A.; CZASCH, B. On the efficiency of farms in Brandenburg - a data envelopment analysis. **Agrarwirtschaft**, v. 50, n. 3, p. 198-203, 2001.
- [11] BANKER, R.D.; CHARNES, A.; COOPER, W.W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, v. 30,

- n. 9, p. 1078-1092, 1984.
- [12] BAPTISTA, A.J.M.S.; CASTRO, E.R.; TEIXEIRAS, E.C. Discriminação da função de produção e elasticidades de substituição de fatores na agropecuária do Estado de Minas Gerais. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 2, n. 2, p. 161-182, 2004.
- [13] BARNES, A.P. Does multi-functionality affect technical efficiency? A non-parametric analysis of the Scottish dairy industry. **Journal of Environmental Management**, v. 80, p. 287-294, 2006.
- [14] BATTESE, G.E. Frontier production functions and technical efficiency: a survey of empirical applications in agricultural economics. **Agricultural Economics**, v. 7, n. 1, p. 185-208, 1992.
- [15] BAYARSAIHAN, T.; COELLI, T.J. Productivity growth in pre-1990 Mongolian agriculture: spiralling disaster or emerging success? **Agricultural Economics**, v. 28, p. 121-137, 2003.
- [16] BINAM, J.N.; SYLLA, K.; DIARRA, I.; NYAMBI, G. Factors affecting technical efficiency among coffee farmers in Côte d'Ivoire: evidence from the centre west region. **R&D Management**, v. 15, n. 1, p. 66-76, 2003.
- [17] BINICI, T.; ZULAUF, C.R.; KACIRA, O.O.; KARLI, B. Assessing the efficiency of cotton production on the Harran Plain, Turkey. **Outlook on Agriculture**, v. 35, n. 3, p. 227-232, 2006.
- [18] BOGETOFT, P.; THORSEN, B.J.; STRANGE, N. Efficiency and merger gains in the Danish Forestry Extension Service. **Forest Science**, v. 49, n. 4, p. 585-595, 2003.
- [19] BOZOGLU, M.; CEYHAN, V.; CINEMRE, A.H.; DEMIRYÜREK, K.; KILIC, O. Evaluation of different trout farming systems some policy issues in the Black Sea Region Turkey. **Journal of Applied Sciences**, v. 6, n. 14, p. 2882-2888, 2006.
- [20] BRAVO-URETA, B.E.; PINHEIRO, A.E. Efficiency analysis of developing country agriculture: a review of the frontier function literature. **Agricultural and Resource Economics Review**, v. 22, n. 1, p. 1993.
- [21] BRAVO-URETA, B.E.; SOLÍS, D.; LÓPEZ, V.H.M.; MARIPANI, J.F.; THIAM, A.; RIVAS, T. Technical efficiency in farming: a meta-regression analysis. **Journal of Productivity Analysis**, v. 27, n. 1, p. 57-72, 2007.
- [22] BRÜMMER, B. Estimating confidence intervals for technical efficiency: the case of private farms in Slovenia. **European Review of Agricultural Economics**, v. 28, n. 3, p. 285-306, 2001.
- [23] BYRNES, P.; FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; KRAFT, S., Technical efficiency and size: the case of 1980 Illinois grain farms. **European Review of Agricultural Economics**, v. 14, p. 367-381, 1987.
- [24] CHAABAN, J.; RÉQUILLART, V.; TRÉVISIOL, A. The role of technical efficiency in takeovers: evidence from the French cheese industry, 1985-2000. **Agribusiness**, v. 21, n. 4, p. 545-564, 2005.
- [25] CHAMBERS, R.G.; FÄRE, R.; JAENICKE, E. Using dominance in forming bounds on DEA models: the case of experimental agricultural data. **Journal of Econometrics**, v. 85, n. 1, p. 189-203, 1998.
- [26] CHAN, H.L.; CHAN, K.T. The analysis of rural regional disparity in China. **Asian Economic Journal**, v. 14, n. 1, p. 23-38, 2000.
- [27] CHANG, C.C.; HSIEH, T.C. The economic efficiency of the Credit Department of Farmers' Associations in Taiwan. **Applied Financial Economics**, v. 8, n. 4, p. 409-418, 1998.
- [28] CHARNES, A.; COOPER, W.W.; LEWIN, A.Y.; SEIFORD, L.M. **Data Envelopment Analysis: Theory, methodology and applications**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994. 513 p.



- [29] CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429-444, 1978.
- [30] CHAVAS, J.; ALIBER, M. An analysis of economic efficiency in agriculture: a nonparametric approach. **Journal of Agricultural Economics**, v. 18, p. 1-16, 1993.
- [31] CHAVAS, J.P.; COX, T.L. A primal-dual approach to nonparametric productivity analysis: The case of U.S. agriculture. **Journal of Productivity Analysis**, v. 5, n. 4, p. 359-373, 1994.
- [32] CHEN, P.C.; YU, M.M.; CHANG, C.C.; HSU, S.H. Productivity change in Taiwan's farmers' credit unions: a nonparametric risk-adjusted Malmquist approach. **Agricultural Economics**, v. 36, n. 2, p. 221-231, 2007.
- [33] CHERCHYE, L.; PUYENBROECK, T.V. Profit efficiency analysis under limited information with an application to German farm types. **Omega**, v. 35, n. 3, p. 335-349, 2007.
- [34] CHIREMBA, S.; MASTERS, W. The experience of resettled farmers in Zimbabwe. **African Studies Quarterly**, v. 7, n. 2-3, 2003.
- [35] CINEMRE, H.A.; CEYHAN, V.; BOZOĞLU, M.; DEMIRYÜREK, K.; KILIÇ, O. The cost efficiency of trout farms in the Black Sea Region, Turkey. **Aquaculture**, v. 251, n. 2-4, p. 324-332, 2006.
- [36] CLOUTIER, L.M.; ROWLEY, R. Relative technical efficiency: data envelopment analysis and Quebec's dairy farms. **Canadian Journal of Agricultural Economics**, 41, 169-176, 1993.
- [37] COELLI, T. Recent developments in frontier modelling and efficiency measurement, **Australian Journal of Agricultural Economics**, v. 39, n. 3, p. 219-245, 1995.
- [38] COELLI, T.; RAHMAN, S.; THIRTLE, C. Technical, allocative, cost and scale efficiencies in Bangladesh rice cultivation: a non-parametric approach. **Journal of Agricultural Economics**, v. 53, n. 3, p. 607-626, 2002.
- [39] COELLI, T.J.; RAO, D.S.P. Total factor productivity growth in agriculture: a Malmquist index analysis of 93 countries, 1980-2000. **Agricultural Economics**, v. 32, n. 1, p. 115-134, 2005.
- [40] COOPER, W.W.; SEIFORD, L.M.; TONE, K. **Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software**. New York: Kluwer Academic Publishers, 2000. 318p.
- [41] COOPER, W.W.; SEIFORD, L.M.; ZHU, J. **Handbook on data envelopment analysis**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004. 608p.
- [42] DE KOEIJER, T.J.; WOSSINK, G.A.A.; SMIT, A.B.; JANSSENS, S.R.M.; RENKEMA, J.A.; STRUIK, P.C. Assessment of the quality of farmers' environmental management and its effects on resource use efficiency: a Dutch case study. **Agricultural Systems**, v. 78, p.85-103, 2003.
- [43] DE KOEIJER, T.J.; WOSSINK, G.A.A.; STRUIK, P.C.; RENKEMA, J.A. Measuring agricultural sustainability in terms of efficiency: the case of Dutch sugar beet growers. **Journal of Environmental Management**, v. 66, p. 9-17, 2002.
- [44] DHARMAPALA, P.S.; ZAIBET, L. Analysis of farmers' efficiency and growth factors in oil exporting Arabian gulf countries: the case of Oman. **International Journal of Management and Decision Making**, v. 7, n. 4, p. 377-387, 2006.
- [45] DHUNGANA, B.R.; NUTHALL, P.L.; NARTEA, G.V. Measuring the economic inefficiency of Nepalese rice farms using data envelopment analysis. **The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 48, n. 2, p. 347-369, 2004.
- [46] DIAZ-BALTEIRO, L.; HERRUZO, A.C.; MARTINEZ, M.; GONZÁLEZ-PACHÓN, J. An analysis of productive efficiency and innovation activity using DEA: An application to Spain's wood-based industry. **Forest Policy and Economics**, v. 8, n. 7, p. 762-773, 2006.

- [47] DIMARA, E.; PANTZIOS, C.J.; SKURAS, D.; TSEKOURAS, K. The impacts of regulated notions of quality on farm efficiency: A DEA application. **European Journal of Operational Research**, v. 161, p. 416-431, 2005.
- [48] EMROUZNEJAD, A. An extensive bibliography of Data Envelopment Analysis (DEA). **Working Papers**, Business School, University of Warwick, England, v. I-V, 2001.
- [49] FÄRE, R.; GRABOWSKI, R.; GROSSKOPF, S. Technical efficiency of Philippine agriculture. **Applied Economics**, v. 17, n. 2, p. 205-221, 1985.
- [50] FÄRE, R.; GRABOWSKI, R.; GROSSKOPF, S.; KRAFT, S. Efficiency of a fixed but allocatable input: a non-parametric approach. **Economics Letters**, v. 56, n. 2, p. 187-193, 1997.
- [51] FELTHOVEN, R.G. Effects of the american fisheries act on capacity, utilization and technical efficiency. **Marine Resource Economics**, v. 17, p. 181-205, 2002.
- [52] FERNANDEZ-CORNEJO, J. Nonradial technical efficiency and chemical input use in agriculture. **Agricultural and Resource Economics Review**, v. 23, n. 1, p. 12-21, 1994.
- [53] FERRIER, G.D.; PORTER, P.K. The productive efficiency of US milk processing co-operatives. **Journal of Agricultural Economics**, v. 42, p.161-173, 1991.
- [54] FRASER, I.; CORDINA, D. An application of data envelopment analysis to irrigated dairy farms in Northern Victoria, Australia. **Agricultural Systems**, v. 59, p. 267-282, 1999.
- [55] FRASER, I.; GRAHAM, M. Australasian Efficiency measurement of Australian dairy farms: national and regional performance. **Australasian Agribusiness Review**, v. 13, 2005.
- [56] FRASER, I.; HONE, P. Farm-level efficiency and productivity measurement using panel data: wool production in south-west Victoria. **The Australian Journal of Agriculture and Resource Economics**, v. 45, n. 2, p. 215-232, 2001.
- [57] GALANOPOULOSA, K.; AGGELOPOULOS, S.; KAMENIDOU, I.; MATTAS, K. Assessing the effects of managerial and production practices on the efficiency of commercial pig farming. **Agricultural Systems**, v. 88, n. 2-3, p. 125-141, 2006.
- [58] GARCIA, C.R. Efficiency of selected productive strategies with imprecise data. **Acta Horticulturae**, v. 659, n. 1, p. 53-60, 2005.
- [59] GATTOUFI, S.; ORAL, M.; KUMAR, A.; REISMAN, A. Content analysis of data envelopment analysis literature and its comparison with that of other OR/MS fields. **Journal of the Operational Research Society**, v. 55, n. 9, p. 911-935, 2004a.
- [60] GATTOUFI, S.; ORAL, M.; KUMAR, A.; REISMAN, A. Epistemology of data envelopment analysis and comparison with other fields of OR/MS for relevance to applications. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 38, p. 123-140, 2004b.
- [61] GILLESPIE, J.; SCHUPP, A.; TAYLOR, G. Factors affecting production efficiency in a new alternative enterprise: the case of the Ratite industry. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, v. 29, n. 2, p. 409-418, 1997.
- [62] GOCHT, A.; BALCOMBE, K. Ranking efficiency units in DEA using bootstrapping an applied analysis for Slovenian farm data. **Agricultural Economics**, v. 35, n. 2, p. 223-229, 2006.
- [63] GOMES, E.G.; MANGABEIRA, J.A.C. Uso de análise de envoltória de dados em agricultura: o caso de Holambra. **Engevista**, v. 6, n. 1, p. 19-27, 2004.
- [64] GOMES, E.G.; MANGABEIRA, J.A.C.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B. 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.

- [65] GOMES, E.G.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; MANGABEIRA, J.A.C. Fronteira DEA difusa na avaliação de eficiência em agricultura. **Investigação Operacional**, v. 26, p. 65-88, 2006.
- [66] GORTON, M.; DAVIDOVA, S. Farm productivity and efficiency in the CEE applicant countries: a synthesis of results. **Agricultural Economics**, v. 30, n. 1, p. 1-16, 2004.
- [67] GORTON, M.; KOVÁCS, B.; MIZIK, T.; DAVIDOVA, S.; RATINGER, T.; IRAIZOZ, B. An Analysis of the Performance of Commercially Oriented Farms in Hungary. **Post-Communist Economies**, v. 15, n. 3, p. 401-416, 2003.
- [68] GRAZHDANINOVA, M.; LERMAN, Z. Allocative and technical efficiency of corporate farms in Russia. **Comparative Economic Studies**, v. 47, p. 200-213, 2005.
- [69] HAAG, S.; JASKA, P.V.; SEMPLE, J. Assessing the relative efficiency of agricultural production units in the Blackland Prairie, Texas. **Applied Economics**, v. 24, p. 559-565, 1992.
- [70] HAJI, J. Production efficiency of smallholders' vegetable-dominated mixed farming system in eastern Ethiopia: a non-parametric approach. **Journal of African Economies**, v. 16, n. 1, P. 1-27, 2007.
- [71] HAJI, J.; ANDERSSON, H. Determinants of efficiency of vegetable production in smallholder farms: The case of Ethiopia. **Food Economics - Acta Agriculturae Scandinavica, Section C**, v. 3, n. 3-4, p. 125-13, 2006.
- [72] HANSEN, B.G.; STOKSTAD, G. Measuring financial performance on dairy farms. **Food Economics - Acta Agriculturae Scandinavica, Section C**, v. 2, n. 2, p. 99-109, 2005.
- [73] HELFAND, S.M.; LEVINE, E.S. Farm size and the determinants of productive efficiency in the Brazilian Center-West. **Agricultural Economics**, v. 31, p. 241-249, 2004.
- [74] HOMEM DE SOUZA, D.P.; ALVES, E. Dois critérios para avaliação de eficiência técnica. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 1, n. 3, p. 373-396, 2003.
- [75] HORIE, T.; YAMAGUCHI, M. Productivity growth, efficiency change and technical change in Japanese agriculture: 1965-1995. **Japanese Journal of Rural Economics**, v. 8, p. 64-78, 2006.
- [76] JAENICKE, E.C. Testing for intermediate outputs in Dynamic DEA models: accounting for soil capital in rotational crop production and productivity measures. **Journal of Productivity Analysis**, v. 14, p. 247-266, 2000.
- [77] JAFORULLAH, M.; WHITEMAN, J. Scale efficiency in the New Zealand dairy industry: a nonparametric approach. **The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 43, n. 4, p. 523-541, 1999.
- [78] JHA, R.; CHITKARA, P.; GUPTA, S. Productivity, technical and allocative efficiency and farm size in wheat farming in India: a DEA approach. **Applied Economics Letters**, v. 7, p. 1-5, 2000.
- [79] KALIBA, A.R.; ENGLE, C.R.; DORMAN, L. Efficiency change and technological progress in the U.S. catfish-processing sector, 1986 to 2005. **Aquaculture Economics & Management**, v. 11, n. 1, pages 53-72, 2007.
- [80] KALIBA, A.R.M. Technical efficiency of smallholder dairy farms in central Tanzania. **Quarterly Journal of International Agriculture**, v. 43, n. 1, p. 39-55, 2004.
- [81] KAMRUZZAMAN, M.; MANOS, B.; BEGUM, M.A.A. Evaluation of economic efficiency of wheat farms in a region of Bangladesh under the input orientation model. **Journal of the Asia Pacific Economy**, v. 11, n. 1, p. 123-142, 2006.
- [82] KAO, C.. Data envelopment analysis in measuring the efficiency of forest management. **Journal of Environmental Management**, v. 38, p. 73-83, 1993.

- [83] KIM, J.M. Efficiency analysis of sustainable and conventional farms in the r public of korea with special reference to the Data Envelopment Analysis (DEA). **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 18, n. 4, p. 9-26, 2001.
- [84] KLEINHANß, W.; MURILLO, C.; SAN JUAN, C.; SPERLICH, S. Efficiency, subsidies, and environmental adaptation of animal farming under CAP. **Agricultural Economics**, v. 36, n. 1, p. 49-65, 2007.
- [85] KRASACHAT, W. Technical efficiencies of rice farms in Thailand: a non-parametric approach. **Journal of American Academy of Business**, v. 4, n. 1/2; p. 64-69, 2004.
- [86] KUOSMANEN, T.; POST, T.; SIPILÄINEN, T. Shadow price approach to total factor productivity measurement: with an application to Finnish grass-silage production. **Journal of Productivity Analysis**, v. 22, p. 95-121, 2004.
- [87] KWON, O.S.; LEE, H. Productivity improvement in Korean rice farming: parametric and non-parametric analysis. **The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 48, n. 2, p. 323-346, 2004.
- [88] LANSINK, A.O.; BEZLEPKIN, I. Productivity growth and inter-sector spill-over in Dutch horticulture, 1976-1995 **Agricultural Economics**, v. 34, n. 1, p. 109-116, 2006.
- [89] LANSINK, A.O.; PIETOLA, K.; BÄCKMAN, S. Efficiency and productivity of conventional and organic farms in Finland 1994-1997. **European Review of Agricultural Economics**, v. 29, n. 1, p. 51-65, 2002.
- [90] LANSINK, A.O.; REINHARD, S. Investigating technical efficiency and potential technological change in Dutch pig farming. **Agricultural Systems**, v. 79, p. 353-367, 2004.
- [91] LANSINK, A.O.; SILVA, E. Non-parametric production analysis of pesticides use in the Netherlands. **Journal of Productivity Analysis**, v. 21, p. 49-65, 2004.
- [92] LATRUFFE, L.; BALCOMBE, K.; DAVIDOVA, S.; ZAWALINSKA, K. Determinants of technical efficiency of crop and livestock farms in Poland. **Applied Economics**, v. 36, n. 12, p. 1255-63, 2004.
- [93] LEE, J.Y. Using DEA to measure efficiency in forest and paper companies. **Forest Products Journal**, v. 55, n. 1, p. 58-66, 2005.
- [94] LIN, F.J.; PENG, K.C.; CHENG, M.Y. A study on comparison and improvement of management efficiency in agriculture cooperatives. **Journal of the Agricultural Association of China**, v. 5, n. 2, p. 103-128, 2004.
- [95] LISSITSA, A.; ODENING, M. Efficiency and total factor productivity in Ukrainian agriculture in transition. **Agricultural Economics**, v. 32, n. 3, p. 311-325, 2005.
- [96] LOVELL, C.A.K. Future research opportunities in efficiency and productivity analysis. **Permanent Seminar on Efficiency and Productivity - Efficiency Series Paper 1/2001**, Departamento de Economía, Universidad de Oviedo, 18 p., 2001.
- [97] LUND, M.; JACOBSEN, B.H.; HANSEN, L.C.E. Reducing non-allocative costs on Danish dairy farms: Application of non-parametric methods. **European Review of Agricultural Economics**, v. 20, p. 327-341, 1993.
- [98] LUTFI, M.; OIDA, A.; NAKASHIMA, H.; OHDOI, K. Evaluation of small mechanized farms in east Java by data envelopment analysi. **International Agricultural Engineering Journal**, v. 15, n. 4, p. 189-196, 2006.
- [99] MALANA, N.M.; MALANO, H.M. Benchmarking productive efficiency of selected wheat areas in Pakistan and India using data envelopment analysis. **Irrigation and Drainage**, v. 55, n. 4, p. 383-394, 2006.
- [100] MANAGI, S.; KAREMERA, D. Input and output biased technological change in US agriculture. **Applied Economics Letters**, v. 11, p. 283-286, 2004.
- [101] MANOS, B., PSYCHOUDAKIS, A. Investigation of the relative efficiency of dairy farms using data envelopment analysis. *Quarterly Journal of International Agriculture*, v. 36, n. 2, p. 188-197, 1997.

- [102] MANOS, B.; PSYCHOUDAKIS, A. Investigation of the relative efficiency of dairy farms using data envelopment analysis. **Quarterly Journal of International Agriculture**, v. 36, n. 2, p. 188-197, 1997.
- [103] MAO, W.; KOO, W.W. Productivity growth, technological progress, and efficiency change in Chinese agriculture after rural economic reforms: a DEA approach. **China Economic Review**, v. 8, n. 2, p. 157-174, 1997.
- [104] MATHIJS, E.; BLAAS, G.; DOUCHA, T. Organisational form and technical efficiency of Czech and Slovak farms. **MOCT-MOST**, v. 9, p. 331-344, 1999.
- [105] MBAGA, M.D.; ROMAIN, R.; LARUE, B. LEBEL, L. Assessing technical efficiency of Québec dairy farms. **Canadian Journal of Agricultural Economics**, v. 51, n. 1, p. 121-137, 2003.
- [106] MOSHEIM, R. Organizational type and efficiency in the Costa Rica coffee processing sector. **Journal of Comparative Economics**, v. 30, p. 296-316, 2002.
- [107] NGHIEM, H.S.; COELLI, T. The effect of incentive reforms upon productivity: evidence from the Vietnamese rice industry. **The Journal of Development Studies**, v. 39, n. 1, p.74-93, 2002.
- [108] NKAMLEU, G.B. Productivity growth, technical progress and efficiency change in African agriculture. **African Development Bank 2004**, p. 203-222, 2004,
- [109] ÖREN, M.N.; ALEMDAR, T. Technical efficiency analysis of tobacco farming in southeastern Anatolia. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 30, p. 165-172, 2006.
- [110] OSBORNE, S.; TRUEBLOOD, M.A. An examination of economic efficiency of Russian crop production in the reform period. **Agricultural Economics**, v. 34, n. 1, p. 25-38, 2006.
- [111] OTSUKI, T.; HARDIE, I.W.; REIS, E.J. The implication of property rights for joint agriculture–timber productivity in the Brazilian Amazon. **Environment and Development Economics**, v. 7, p. 299-323, 2002.
- [112] PASCOE, S.; HERRERO, I. Estimation of a composite fish stock index using data envelopment analysis. **Fisheries Research**, v. 69, p. 91-105, 2004.
- [113] PAUL, C.M; NEHRING, R.; BANKER, D. Scale economies and efficiency in U.S. agriculture: are traditional farms history? **Journal of Productivity Analysis**, v. 22, p. 185-205, 2004.
- [114] PENG, K.C. An evaluating on the relative management efficiency of agricultural cooperatives in Taiwan. **Journal of the Agricultural Association of China**, v. 4, n. 2, p. 156-175, 2003.
- [115] PEREIRA, M.F.; SILVEIRA, J.S.T.; LANZER, E.A.; SAMOHYL, R.W. Productivity growth and technological progress in the Brazilian agricultural sector. **Pesquisa Operacional**, v. 22, n. 2, p.133-146, 2002.
- [116] PHILLIPS, F. 25 years of data envelopment analysis. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 4, n. 3, p. 317-323, 2005.
- [117] PICAZO-TADEO, A.J.; REIG-MARTÍNEZ, E. Agricultural externalities and environmental regulation: evaluating good practice in citrus production. **Applied Economics**, v. 38, n. 11, p. 1327-1334, 2006.
- [118] PICAZO-TADEO, A.J.; REIG-MARTÍNEZ, E. Farmers' costs of environmental regulation: reducing the consumption of nitrogen in citrus farming. **Economic Modelling**, v. 24, p. 312-328, 2007.
- [119] PICAZO-TADEO, A.J.; REIG-MARTINEZ, E. Outsourcing and efficiency: the case of Spanish citrus farming. **Agricultural Economics**, v. 35, n. 2, p. 213-222, 2006.
- [120] PIESSE, J.; DOYER, T.; THIRTLE, C.; VINK, N. The changing role of grain cooperatives in the transition to competitive markets in South Africa. **Journal of Comparative Economics**, v. 33, p. 197-218, 2005.

- [121] PIESSE, J.; VON BACH, H.S.; THIRTLE, C.; VAN ZYL, J. The efficiency of smallholder agriculture in South Africa. **Journal of International Development**, v. 8, n. 1, p. 125-144, 1996.
- [122] PIOT-LEPETIT, I. AND VERMERSCH, D. Pricing organic nitrogen under the weak disposability assumption: an application to the French pig sector. **Journal of Agricultural Economics**, v. 49, p. 85-99, 1998.
- [123] PIOT-LEPETIT, I.; RAINELLI, P. Breathing room in farm management as determined by inefficiency measurements. **INRA Productions Animales**, v. 9, n. 5, p. 367-377, 1996.
- [124] PIOT-LEPETIT, I.; VERMERSCH, D.; WEAVER, R.D. Agriculture's environmental externalities: DEA evidence for French agriculture. **Applied Economics**, v. 29, p. 331-338, 1997.
- [125] PSYCHOUDAKIS, A.; DIMITRIADOU, E. An application of data envelopment analysis in a sample of dairy farms. **Medit**, v. 10, n. 3, p. 46-50, 1999.
- [126] RAO, D.S.P.; COELLI, T.J. Catch-up and convergence in global agricultural productivity. **Indian Economic Review**, v. 39, n. 1, p. 123-148, 2004.
- [127] RAY, S. Measurement and test of efficiency of farms in linear programming models: a study of West Bengal farms. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, v. 47, n. 4, p. 371-386, 1985.
- [128] REIG-MARTÍNEZ, E.; PICAZO-TADEO, A.J. Analysing farming systems with Data Envelopment Analysis: citrus farming in Spain. **Agricultural Systems**, v. 82, p. 17-30, 2004.
- [129] REINHARD, S.; KNOX LOVELL, C.A.; THIJSSSEN, G.J. Environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables; estimated with SFA and DEA. **European Journal of Operational Research**, v. 121, p. 287-303, 2000.
- [130] RODRIGUEZ-DIAZ, J.A.; CAMACHO-POYATO, E.; LOPEZ-LUQUE, R. Application of data envelopment analysis to studies of irrigation efficiency in andalusia. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 130, n. 3; p. 175-183, 2004.
- [131] RODRÍGUEZ-DÍAZ, J.A.; POYATO, E.C.; LUQUE, R.L. Applying benchmarking and data envelopment analysis (DEA) techniques to irrigation districts in Spain. **Irrigation and Drainage**, v. 53, p. 135-143, 2004.
- [132] RUSIELIK, R.; SWITYK, M. The DEA method application in efficiency measurement of agriculture in Poland in 1990 and 1995. **Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Oeconomica**, v. 36, p. 179-190, 1999.
- [133] SANTOS, J.A.; VIEIRA, W.C.; BAPTISTA, A.J.M.S. Eficiência técnica na produção de leite em pequenas propriedades da microrregião de Viçosa-MG. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 2, n. 2, p. 261-290, 2004.
- [134] SARKER, D.; DE, S. Non-parametric approach to the study of farm efficiency in agriculture. **Journal of Contemporary Asia**, v. 34 n. 2, p. 207-220, 2004.
- [135] SARRIS, A.H.; DUCHA, T.; MATHIJS, E. Agricultural restructuring and in central and eastern Europe: implications for competitiveness and rural development. **European Journal of Agricultural Economics**, v. 26, n. 3, p. 305-329, 1999.
- [136] SEDIK, D.; TRUEBLOOD, M.; ARNADE, C. Corporate farm performance in Russia, 1991-1995: an efficiency analysis. **Journal of Comparative Economics**, v. 27, n. 3, p. 514-533, 1999.
- [137] SEIFORD, L.M. A bibliography for Data Envelopment Analysis (1978-1996). **Annals of Operations Research**, v. 73, p. 393-438, 1997.
- [138] SENA, N.A.M.O.; PEREIRA FILHO, C.A. Medidas de eficiência técnica e de escala na agropecuária da microrregião Itabuna-Ilhéus, estado da bahia, aplicando a análise envoltória de dados. **Artigocientífico**, v. 5, p. 1292-1318, 2006.

- [139] SHAFIQ, M.; REHMAN, T. The extent of resource use inefficiencies in cotton production in Pakistan's Punjab: an application of data envelopment analysis. **Agricultural Economics**, v. 22, p. 321-330, 2000.
- [140] SHARMA, K.R.; LEUNG, P.; ZALESKI, H.M. Productive efficiency of the swine industry in Hawaii: stochastic frontier vs. data envelopment analysis. **Journal of Productivity Analysis**, v. 8, p. 447-459, 1997.
- [141] SHARMA, K.R.; LEUNG, P.S. A review of production frontier analysis for aquaculture management. **Aquaculture Economics & Management**, v. 7, n. 1-2, p. 15-34, 2003.
- [142] SHARMA, K.R.; LEUNG, P.S.; CHEN, H.; PETERSON, A. Economic efficiency and optimum stocking densities in fish polyculture: an application of data envelopment analysis to Chinese fish farms. **Aquaculture**, v. 180, p. 207-221, 1999.
- [143] SHARMA, K.R.; LEUNG, P.S.; ZALESKI, H.M. Technical, allocative and economic efficiencies in swine production in Hawaii: a comparison of parametric and nonparametric approaches. **Agricultural Economics**, v. 20, p. 23-35, 1999.
- [144] SILVA, J.L.M.; SAMPAIO, Y.S.B. A eficiência técnica dos colonos nos perímetros irrigados em Petrolina e Juazeiro: uma análise de modelos de fronteiras de produção. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 33, n. 2, p. 159-179, 2002.
- [145] SINGH, S.; COELLI, T.J.; FLEMING, E. Performance of dairy plants in the cooperative and private sectors in India. **Annals of Public and Cooperative Economics**, v. 72, n. 4, p. 453-479, 2001.
- [146] SOMWARU, A.; NEHRING, R. A graph efficiency multiproduct model of corn/livestock farming: accounting for nitrate pollution. **Annals of Operations Research**, v. 68, p. 379-408, 1996.
- [147] SOUSA JÚNIOR, J.P.; KHAN, A.S.; LIMA, P.V.P.S.; MADRID, R.M.M. Produção de camarão marinho em cativeiro: uma análise de eficiência técnica, alocativa e de custos. **Revista de Economia Aplicada**, v. 9, n. 2, p. 205-224, 2005.
- [148] SOUZA, G.S. Significância de efeitos técnicos na eficiência de produção da pesquisa agropecuária. **Revista Brasileira de Economia**, v. 60, n. 1, p. 69-86, 2006.
- [149] SOUZA, G.S.; ÁVILA, A.F.D.; ALVES, E. Technical efficiency of production in agricultural research. **Scientometrics**, v. 46, n. 1, p. 141-160, 1999.
- [150] SOUZA, G.S.; GOMES, E.G.; MAGALHÃES, M.C.; ÁVILA, A.F.D. Economic efficiency of Embrapa's research centers and the influence of contextual variables. **Pesquisa Operacional**, 2007.
- [151] SOWLATI, T. Efficiency studies in forestry using data envelopment analysis. **Forest Products Journal**, v. 55, n. 1, p. 49-57, 2005.
- [152] STOKES, J.R.; TOZER, P.R.; HYDE, J. Identifying efficient dairy producers using data envelopment analysis. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 5, p. 2555-2562, 2007.
- [153] SUEYOSHI, T. DEA non-parametric ranking test and index measurement: slack-adjusted DEA and an application to Japanese agriculture cooperatives. **Omega**, v. 27, p. 315-326, 1999.
- [154] SUEYOSHI, T.; HASEBE, T.; ITO, F.; SAKAY, J.; OSAWA, W. DEA-bilateral performance comparison: an application to Japan agricultural co-operatives (Nokyo). **Omega**, v. 26, n. 2, p. 233-248, 1998.
- [155] TAVARES, G. **A bibliography of Data Envelopment Analysis (1978-2001)**. Rutcor Research Report RRR 01-02, Rutgers Center for Operations Research, USA, 186 p., 2002.
- [156] THIAM, A.; BRAVO-URETA, B.E.; RIVAS, T.E. Technical efficiency in developing country agriculture: a meta-analysis. **Agricultural Economics**, v. 25, p. 235-243, 2001.
- [157] THIELE, H.; BRODERSEN, C.M. Differences in farm efficiency in market and transition economies: empirical evidence from West and East Germany. **European Review of Agricultural Economics**, v. 26, n. 3, p. 331-347, 1999.

- [158] THOMPSON, R.G.; LANGEMEIER, L.N.; LEE, C.T.; LEE, E.; THRALL, R.M. The role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to Kansas farming. **Journal of Econometrics**, v. 46, n. 1-2, p. 93-108, 1990.
- [159] TIMMER, M.P.; LOS, B. Localized innovation and productivity growth in Asia: an intertemporal DEA approach. **Journal of Productivity Analysis**, v. 23, 47-64, 2005.
- [160] TINGLEY, D.; PASCOE, S. Factors affecting capacity utilisation in English Channel fisheries. **Journal of Agricultural Economics**, v. 56, n. 2, p. 287-305, 2005.
- [161] TIPI, T.; REHBER, E. Measuring technical efficiency and total factor productivity in agriculture: the case of the South Marmara region of Turkey. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 49, n. 2, p. 137-145, 2006.
- [162] TOWNSEND, R.F.; KIRSTEN, J.; VINK, N. Farm size, productivity and returns to scale in agriculture revisited: a case study of wine producers in South Africa. **Agricultural Economics**, v. 19, n. 1, p. 175-180, 1998.
- [163] TUPY, O. ; YAMAGUCHI, L.C.T. Identificando benchmarks na produção de leite. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 40, n. 1, p. 81-96, 2002.
- [164] TUPY, O.; ESTEVES, S.N.; VIEIRA, M.C. Eficiência produtiva de cooperativas de laticínios do estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, v. 33, n. 7, p. 38-46, 2003a.
- [165] TUPY, O.; FREITAS, A.R.; ESTEVES, S.N.; SCHIFFLER, E.A.; VIEIRA, M.C. Eficiência econômica na produção de leite tipo B no estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, v. 33, n. 2, p. 14-20, 2003b.
- [166] TURK, J. Productive performance of Slovenian milk farms under the former regime and during the first stages of economic system transformation. **Eastern European Economics**, v. 36, n. 2, p. 7-31, 1998.
- [167] VARGA, T. Potential for efficiency improvement of Hungarian agriculture. **Studies in Agricultural Economics Budapest**, v. 104, p. 85-107, 2006.
- [168] VENNESLAND, B. Measuring rural economic development in Norway using data envelopment analysis. **Forest Policy and Economics**, v. 7, p. 109-119, 2005.
- [169] VICENTE, J.R. Mudança tecnológica, eficiência e produtividade total de fatores na agricultura brasileira, 1970-95. **Economia Aplicada**, v. 8, n. 4, p. 729-760, 2004.
- [170] WADUD, A.; WHITE, B. Farm household efficiency in Bangladesh: a comparison of stochastic frontier and DEA methods. **Applied Economics**, v. 32, p. 1665-1673, 2000.
- [171] WHITTAKER, G. The relation of farm size and government programme benefits: na application of data envelopment analysis to policy evaluation. **Applied Economics**, v. 26, p. 469-478, 1994.
- [172] WOSSINK, A.; DENAUX, Z.S. Environmental and cost efficiency of pesticide use in transgenic and conventional cotton production. **Agricultural Systems**, v. 90, p. 312-328, 2006.
- [173] YANG, Y.; MA, C.; ZHANG, D. Data envelopment. Analysis and its application in the benefit analysis of milk cow production. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 10, n. 1, p. 16, 1994.
- [174] ZAIBET, L.; DHARMAPALA, P.S. Efficiency of government-supported horticulture: the case of Oman. **Agricultural Systems**, v. 62, p. 159-168, 1999.
- [175] ZAIBET, L.; DHARMAPALA, P.S.; BOUGHANMI, H.; MAHGOUB, O.; AL-MARSHUDI, A. Social changes, economic performance and development: the case of goat production in Oman. **Small Ruminant Research**, v. 54, p. 131-140, 2004.
- [176] ZOFIO, J.L.; LOVELL, C.A.K. Graph efficiency and productivity measures: an application to US agriculture. **Applied Economics**, v. 33, p. 1433-1442, 2001.
- [177] ZONG, X. Approach to estimating the agricultural mechanization contribution rate by two models in the DEA method. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 22, n. 5, p. 20-23, 2006.