

EFICIÊNCIA TÉCNICA DOS AGRICULTORES DE HOLAMBRA

Eliane Gonçalves Gomes
João Alfredo de Carvalho Mangabeira
João Carlos Correia Baptista Soares de Mello

Resumo

O uso de Análise de Envoltória de Dados (DEA) para medir eficiência relativa de produtores agrícolas pode servir como subsídio às decisões na agricultura, ao indicar as fontes de ineficiência e as unidades que podem servir de referência às práticas adotadas. Este artigo usa DEA para medir a eficiência de 71 agricultores do município de Holambra, estado de São Paulo. Os dados utilizados referem-se ao ano de 2002. Área cultivada, emprego e uso de máquinas são os *inputs* do modelo e a renda líquida é o *output*. É usado o modelo DEA BCC, já que há diferenças de escala entre as unidades avaliadas.

Palavras-chave: Eficiência Técnica; Agricultura; Análise de Envoltória de Dados.

1. INTRODUÇÃO

Avaliar a eficiência com a qual uma unidade produtiva opera tem importância tanto para fins estratégicos (comparação entre unidades produtivas), quanto para o planejamento (avaliação dos resultados do uso de diferentes combinações de fatores) e para a tomada de decisão (como melhorar o desempenho atual, por meio da análise da distância entre a produção atual e potencial).

A eficiência de uma unidade produtiva é medida através da comparação entre os valores observados e os valores ótimos de seus produtos (saídas) e recursos (insumos). Esta comparação pode ser feita, em linhas gerais, pela razão entre a produção observada e a produção potencial máxima alcançável, dados os recursos disponíveis, ou pela razão entre a quantidade mínima necessária de recursos e a quantidade efetivamente empregada, dada a quantidade de produtos gerados. Combinações dessas razões podem igualmente prover informações importantes.

A mensuração dessas medidas de desempenho é feita via envelopamento dos dados, limitados por regiões (fronteiras) de máxima produção ou de mínimo custo. Esta modelagem envolve uma boa variedade de técnicas econométricas e de programação matemática. Neste último caso, os modelos existentes são os que recebem a denominação de modelos de Análise de Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*).

O uso de DEA para medir a eficiência relativa de unidades produtivas tem-se mostrado bastante atrativo em diversos setores de aplicação. O emprego de modelos DEA em agricultura pode apoiar as decisões dos agricultores, ao indicar as fontes de ineficiência e as unidades que podem servir de referência às práticas adotadas (*benchmarks*).

Na literatura são encontradas diversas referências ao uso de DEA para a avaliação de eficiência em agricultura, como, por exemplo, Battese (1992), Bravo-Ureta e Pinheiro (1993), Coelli (1995), Färe et al. (1985), Ray (1985), Chavas e Aliber (1993), Sturion (1996), Toresan (1998), Townsend et al. (1998), Yuk-Shing (1998), Gulati e Mishra (1999), Sharma et al. (1999a, 1999b), Zaibet e Dharmapala (1999), Sueyoshi (1999), Fraser e Cordina (1999), Souza et al. (1999), Pereira (1999), Pereira e Silveira (2001), Zofio e Lovell (2001), Souza e Wilhelm (2001), Pereira Filho (2001), Krasachat (2002), De Koeijer et al. (2002), Lansink et al. (2002), Tupy e Yamaguchi (2002), Alves e Gomes (1998), Gomes (1999), Tavares de Souza et al. (2001), Pereira e Silveira (2001), Batista et al. (2003), Pereira (2003) e Tupy et al. (2003).

Gomes et al. (2003) apresentam uma revisão sobre os modelos DEA (CCR, BCC, FDH, restrições aos pesos), aplicações à agricultura e integração com Sistemas de Informação Geográfica.

Este artigo faz uso de DEA para medir a eficiência de uma amostra de 71 agricultores do município de Holambra, estado de São Paulo. Os dados utilizados, originalmente usados para tipificação dos produtores rurais (MANGABEIRA, 2002), referem-se ao ano de 2002 e foram obtidos por levantamento de campo, via questionários socioeconômicos.

2. ANÁLISE DE ENVOLTÓRIA DE DADOS

No estudo dos temas produtividade e eficiência em agricultura pode surgir a seguinte questão: existe erro em usar toneladas de grão por hectare como medida de eficiência de um produtor rural? Medidas desse tipo apresentam a deficiência de não considerarem outros recursos na medida de eficiência, como mão-de-obra, maquinarias, combustível, fertilizantes etc. (GOMES et al., 2003a). Além disso, encerram um erro conceitual ao não diferenciarem produtividade e eficiência.

O uso dessa medida na formulação de políticas pode resultar não só no uso excessivo dos recursos não incluídos na medida de eficiência, mas também na imposição de metas irreais.

A abordagem por Análise de Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA), que utiliza programação linear para estimar a fronteira eficiente (linear por partes), é capaz de incorporar diversos *inputs* (entradas, recursos, insumos ou fatores de produção) e *outputs* (saídas ou produtos) para o cálculo da eficiência de unidades tomadoras de decisão, designadas por DMUs (*Decision Making Units*).

Os problemas de programação linear (PPLs) de DEA otimizam cada observação individual com o objetivo de calcular uma fronteira de eficiência, determinada pelas unidades que são Pareto-eficientes. Essas unidades servem como referência ou *benchmark* para as unidades ineficientes.

Há dois modelos DEA clássicos. O modelo CCR (também conhecido por CRS ou *constant returns to scale*), que trabalha com retornos constantes de escala (CHARNES et al., 1978) e assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*. O modelo BCC (ou VRS), devido a Banker et al. (1984), considera retornos variáveis de escala, isto é, substitui o axioma da proporcionalidade pelo axioma da convexidade.

Tradicionalmente são possíveis duas orientações para esses modelos: orientação a *inputs*, quando deseja-se minimizar os recursos disponíveis, sem alteração do nível de produção; orientação a *outputs*, quando o objetivo é aumentar os produtos, sem mexer nos recursos utilizados.

Existem duas formulações 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.

Neste artigo, o modelo DEA a ser usado é o BCC, já que as unidades em avaliação apresentam diferenças de escala significativas. Em (1) e em (2) apresentam-se, respectivamente o modelo DEA BCC dos Multiplicadores e do Envelope, com orientação a *outputs*. Considera-se que cada DMU k , $k = 1 \dots n$, é uma unidade de produção que utiliza m *inputs* x_{ik} , $i = 1 \dots m$, para produzir s *outputs* y_{jk} , $j = 1 \dots s$.

Em ambas as formulações h_o é a eficiência da DMU o em análise; x_{io} e y_{jo} são os *inputs* e *outputs* da DMU o . Em (1), v_i e u_j são os pesos calculados pelo modelo para *inputs* e *outputs*, respectivamente; v_* é a variável dual associada à condição $\sum_k \lambda_k = 1$ da formulação (2) e é interpretado como fator de escala: quando positivo, indica retornos decrescentes de escala; quando negativo, indica retornos crescentes de escala; caso seja nulo, a situação é de retornos constantes de escala. Em (2), λ_k representa a contribuição da DMU k na formação do alvo da DMU o .

$$\begin{aligned}
 \text{Min } h_o &= \sum_{i=1}^m v_i x_{io} - v_* \\
 \text{sujeito a} \\
 \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} &= 1 \\
 - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} + v_* &\leq 0, \forall k \\
 u_j \geq 0, v_i \geq 0, \forall i, j \\
 v_* &\in \Re
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Max } h_o \\
 \text{sujeito a} \\
 x_{io} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k &\geq 0, \forall i \\
 -h_o y_{jo} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k &\geq 0, \forall j \\
 \sum_{k=1}^n \lambda_k &= 1 \\
 \lambda_k &\geq 0, \forall k
 \end{aligned} \tag{2}$$

3. AGRICULTURA EM HOLAMBRA

O município de Holambra situa-se a 145 km da cidade de São Paulo, na região centro leste do Estado, a 22°37'55" de latitude sul e 47°03'36" de longitude oeste (Figura 1).

Tem aproximadamente 65 km², com uma altitude média de 600 m, é banhado pelos rios Jaguari, Camanducaia e Pirapitingui, além de diversos córregos e riachos, que se estendem num relevo relativamente plano, com uma altitude média de 600 m (HOLAMBRA, 1998).

Holambra é limitado pelos municípios de Artur Nogueira, Cosmópolis, Santo Antônio da Posse e Jaguariúna. As duas principais rodovias que passam pelo município são a SP-340 (Adhemar de Barros) e a SP-107. Sua população é de 7.211 habitantes, sendo 3.689 homens e 3.522 mulheres, segundo o Censo Demográfico do IBGE de 2000 (<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>).

O município caracteriza-se pela imigração holandesa ao Brasil (final da década de 40) e tem economia praticamente baseada na atividade agropecuária, com predomínio das

atividades hortícolas, citrícolas, plantas decorativas, flores, suinocultura, avicultura e laticínios. Segundo o Censo Agropecuário do IBGE de 1996 (<http://www.sidra.ibge.gov.br>), naquele ano o município detinha aproximadamente 1.466,3 ha de culturas temporárias, 1.769,5 ha de culturas permanentes, 432,4 ha de pastagens, 89,6 ha de matas e florestas naturais e 13,81 ha de reflorestamentos. Possuía ainda um efetivo de aproximadamente 1.800 bovinos, 28.000 suínos e aproximadamente 792.000 aves.

O município apresenta dimensão territorial relativamente pequena em relação aos demais municípios brasileiros e quase toda sua produção agrícola advém de um grupo aproximado de 287 produtores, com 20 ha em média de área (HOLAMBRA, 1998).

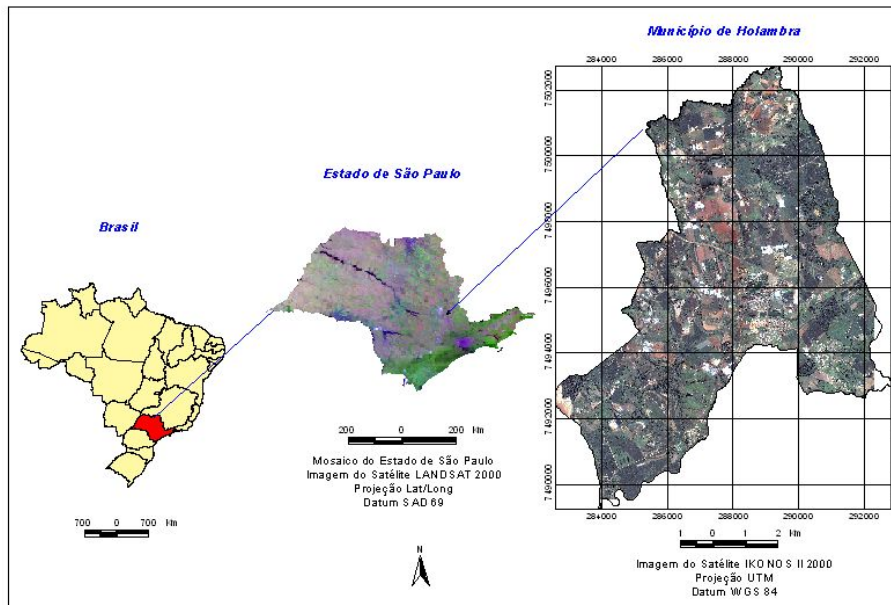


Figura 1. Localização do Município de Holambra.

Mangabeira (2002) mapeou o uso das terras do município de Holambra com base em imagens do satélite IKONOS II (do ano de 2000) e levantamentos de campo (em 2001) (Figura 2). Com o uso de questionários de campo, levantou informações de 266 variáveis socioeconômicas (que geraram 204 indicadores), para uma amostra de 74 produtores rurais (Figura 3).

De posse desses indicadores, o autor tipificou essa amostra de produtores. Para tal foi usada a Análise de Correspondência Múltipla (BISHOP et al., 1975), seguida da análise de *cluster* pelo método de Ward (EVERITT, 1974), para classificar os tipos de produtores agrícolas (MANGABEIRA, 2002; AZEVEDO et al., 2001).

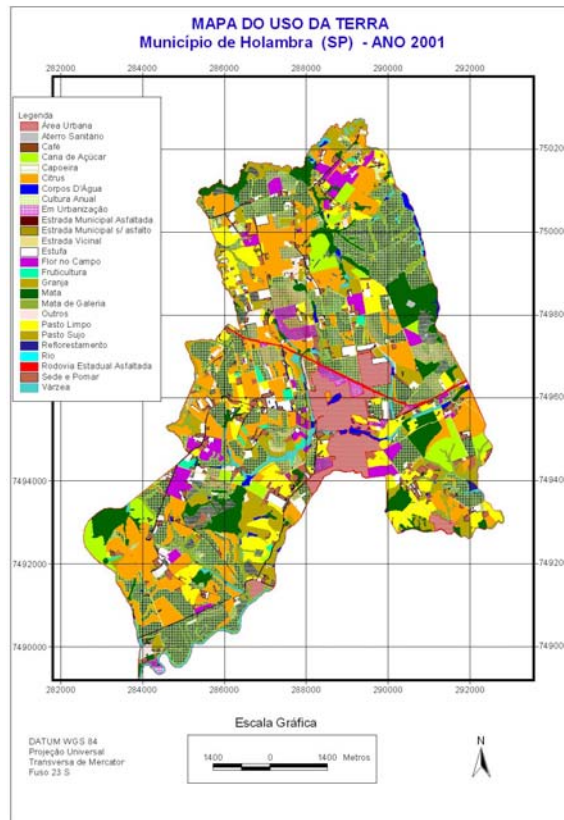


Figura 2. Mapeamento do uso das terras de Holambra.

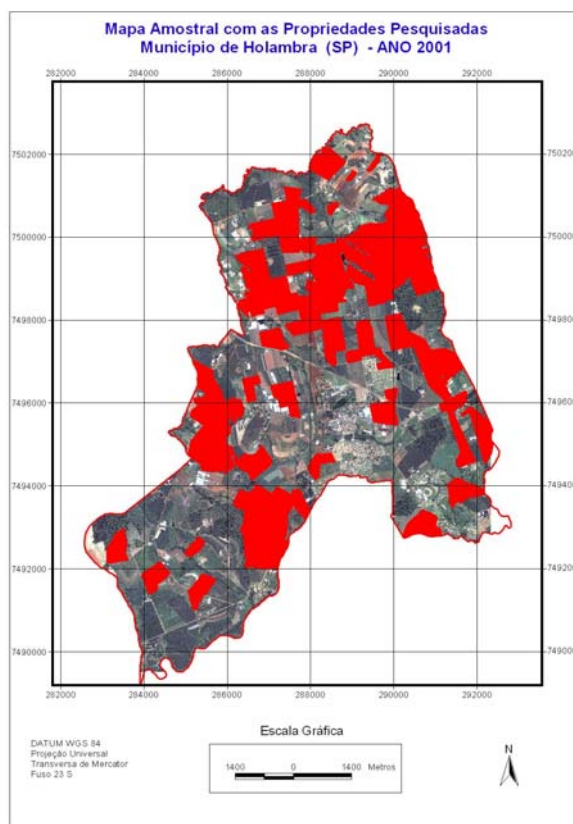


Figura 3. Distribuição espacial das propriedades amostradas para o levantamento com questionários de campo.

4. MODELAGEM E RESULTADOS

4.1 Estruturação do problema

Para estruturar um modelo DEA é necessário definir as unidades a serem avaliadas, as variáveis de avaliação (*inputs* e *outputs*) e o modelo DEA adotado (CCR, BCC, entre outros; orientação a *inputs*, a *outputs*, etc.).

Na construção do modelo DEA deve-se atentar quais variáveis serão consideradas *inputs* e quais serão consideradas *outputs*. Muitas vezes uma variável representa algo que é produzido, mas cuja quantidade deve ser minimizada (ex. acidentes, poluição). Nesses casos, essa variável é um *output* indesejável e uma das formas de trata-lo é considera-lo como um *input*. De forma geral, as variáveis que se desejam minimizar são consideradas *inputs*, e *outputs* caso contrário.

Um modelo com grande número de variáveis pode acarretar outro problema, qual seja, uma avaliação extremamente benevolente, com várias DMUs 100% eficientes. Existe uma recomendação empírica que o número de DMUs seja pelo menos o dobro ou o triplo do número de variáveis. Estudos mais recentes (GONZALEZ-ARAYA, 2003) indicam que essa relação deve ser ainda maior (4 a 5 vezes), em especial quando, além do índice de eficiência, deseja-se analisar os *benchmarks* das unidades em avaliação.

Para a avaliação dos agricultores de Holambra foram selecionados 4 dos 206 indicadores derivados por Mangabeira (2002). Essas variáveis indicam as relações clássicas entre produção, capital e trabalho. Como *inputs* foram selecionados Área Cultivada (representada pela área ocupada com cultivos acrescida da área de pasto), em hectares, Emprego (expresso por homem-hora-ano) e Máquinas (calculado como número total de horas de uso de máquinas no ano); Renda Líquida anual da propriedade, em reais, é o *output*.

As unidades de avaliação (DMUs) são os agricultores amostrados por Mangabeira (2002). Dos 74 produtores, 3 (produtores de leite) apresentaram valor negativo para a variável Renda Líquida e foram descartados desta análise.

O modelo selecionado foi o modelo DEA BCC orientado a *outputs*, já que há diferenças de escala significativas entre as DMUs e o objetivo é maximizar a renda do produtor, ou seja, obter produção máxima dadas as condições de trabalho. Todos os resultados do modelo DEA foram obtidos com o uso do *software* SIAD (ANGULO-MEZA et al., 2003a).

4.2 Resultados

4.2.1 Global

O resultado global é aquele que considera a avaliação conjunta de todas as DMUs. Dos 71 produtores avaliados, 6 foram 100% eficientes, dos quais 4 são produtores de flores. A eficiência média da amostra foi de 23,8%; para os que produzem flores, a eficiência média foi de 24,8% e de 22,4% para o restante.

Analisando-se os resultados do modelo dos multiplicadores (pesos e fatores de escala), verifica-se uma grande quantidade de pesos zero, em especial para a variável Área Cultivada (88,7% das DMUs). Isto significa que no cálculo da eficiência esta variável foi desconsiderada para que a DMU obtivesse a eficiência máxima possível, quando comparada com as demais. Isso mostra que poucos agricultores fazem bom uso da área. O problema dos pesos zero pode ser contornado com o emprego de modelos adicionais, como, por exemplo, avaliação cruzada (SEXTON et al., 1986; DOYLE E GREEN, 1995) e suavização da fronteira DEA (SOARES DE MELLO et al., 2002, 2004; SOARES DE MELLO, 2002). Neste artigo, no entanto, modelos adicionais não foram empregados.

Ainda em relação ao modelo dos multiplicadores, 3 DMUs apresentarem retornos constantes de escala, 10 decrescentes e o restante retornos crescentes de escala. Isto mostra que para a maioria dos produtores avaliados, acréscimos na utilização de *inputs* (área cultivada, emprego e uso de máquina) acarretam aumentos mais que proporcionais na geração de produtos (renda líquida).

Os resultados do modelo do envelope (*benchmarks* e alvos) mostram que o produtor eficiente que aparece o maior número de vezes como referência para as outras unidades é um pequeno produtor de flores, com valores de área cultivada e emprego menores que a média destes produtores (367% e 163%, respectivamente) e valores de uso de máquinas e renda líquida superiores à média (24% e 87%). Essa DMU pode servir como exemplo a ser seguido pelas unidades ineficientes, em especial, no que se refere às práticas de gestão das propriedades.

Verifica-se ainda que diversas DMUs projetam-se em faces constituídas por DMUs eficientes que são floricultores e não floricultores. Isto torna-se importante na promoção da eficiência das DMUs ineficientes, já que estas devem observar não somente as práticas de seus “concorrentes diretos”, mas também aquelas dos demais produtores da região.

Em relação aos alvos, destaca-se a contribuição principal dos modelos DEA para a agricultura, qual seja, informar ao agricultor quais são as fontes de ineficiência e o que deve ser feito para a busca da eficiência. Por exemplo, para uma DMU que obteve 69,6% de eficiência, a recomendação para a busca da eficiência é o aumento em 43,7% da renda líquida, dados os *inputs* de que dispõe. Desta forma, esse agricultor deve verificar em etapa de seu processo produtivo (outras variáveis não consideradas) ocorrem os gargalos que prejudicam seus resultados.

Para uma segunda DMU, com eficiência de 74,2%, as diretrizes são diferentes. Para alcançar a eficiência, esta deve reduzir a área cultivada, o nível de emprego e o uso de máquinas em, respectivamente, 99,5%, 85,0% e 83,0%, e aumentar a renda líquida em 34,8%. Neste ponto, cabe destacar que o modelo DEA utilizado permite que haja redução em *inputs* que podem estar fora do controle do agricultor, como por exemplo, área. Neste caso, o uso de modelos não radiais, que não permitissem alteração nesta variável, seriam mais indicados. Entretanto, neste artigo, este caminho não foi o adotado.

Um outro ponto a ressaltar é a possibilidade de o agricultor não ser capaz de alcançar de forma imediata o alvo que lhe é atribuído. Neste caso, uma busca seqüencial por alvos intermediários, conforme apresentado por Gomes et al. (2003b) e Gomes (2003), pode ser uma solução atrativa ao produtor rural para a busca de alvos realizáveis, ou seja, mais próximos à sua realidade.

Outro destaque deve ser dado à projeção de DMUs ineficientes em regiões não Pareto-eficientes, o que é verificado pela presença de folgas diferentes de zero. Para a projeção em somente faces Pareto-eficientes, modelos DEA avançados devem ser empregados como aqueles usam programação multiobjetivo para seleção de alvos (ANGULO-MEZA, 2002), que projetam as unidades ineficientes em faces de maior dimensão (GONZALEZ-ARAYA, 2003) e que eliminam as regiões não Pareto-eficientes por meio de suavização da fronteira DEA (SOARES DE MELLO, 2002).

4.2.2 Por Grupo

Mangabeira (2002) identificou a existência de 6 tipos de produtores em Holambra: produtores agrícolos, floricultores, agrofiticultores, floresticultores, agropecuaristas e agrofloricultores.

Uma segunda avaliação de eficiência foi realizada, segundo essas tipologias de agricultores. Assim, foram rodados 6 modelos DEA BCC, orientados a *outputs*, com número de DMUs igual ao número de agricultores em cada grupo. As variáveis do modelo são as

mesmas utilizadas no modelo de avaliação global (*inputs*: área cultivada, emprego e uso de máquinas; *output*: renda líquida).

Esta análise permitiu verificar como os produtores comportam-se, em termos de eficiência técnica, dentro de seus grupos. A Tabela 1 resume os resultados obtidos, que mostram que dentre os agricultores que produzem flores, os mais eficientes são os do tipo Agrofloricultores; dentre os que não produzem flores, os Agrocitricultores são os de maior eficiência técnica. Isto justifica-se pelo fato de estes dois tipos de produtores diversificarem suas produções e utilizarem mais racionalmente suas áreas cultivadas.

Tabela 1. Resultado do modelo DEA BCC, segundo a avaliação por grupos.

Grupos	N.º total de DMUs	N.º de DMUs eficientes	Eficiência média (%)
Agrocitricultores	14	3	67,5
Agrofloricultores	7	4	66,0
Agropecuáristas	4	1	30,0
Florescitricultores	24	5	39,9
Floricultores	13	4	41,3
Produtores agrícolos	9	3	61,8

De uma maneira geral, os produtores classificados como Agrofloricultores e Agrocitricultores podem ser considerados como pequenos produtores rurais empresariais e que apresentam, adicionalmente, as seguintes características socioeconômicas:

- Todos possuem telefones em suas propriedades e 85% possuem computadores. Isto permite a estes agricultores melhor acesso à informação, quando comparados aos demais produtores e, desta forma, podem adotar um referencial moderno e globalizado para eventuais decisões gerenciais da produção e mesmo para melhoria da qualidade de vida no campo;
- A área média total das propriedades é de aproximadamente 7,5 ha, com área média de 5,5 ha de citros e 0,8 ha em média de floricultura em estufas;
- Utilizam 63 kg/ha/ano, em média, de defensivos agrícolas (entre inseticidas e fungicidas), sendo este considerado um índice elevado de uso de defensivos, principalmente em estufas com floricultura;
- Usam aproximadamente 5 toneladas de adubos/ha/ano;
- Quanto à condição social destes produtores, observa-se que todos são proprietários, têm energia elétrica e água encanada nas propriedades; 85% tem conta em banco; 72% têm crédito bancário, assistência técnica privada e usam mecanização agrícola; a totalidade dos produtores tem renda somente na atividade agrícola;
- Empregam em média de 7 pessoas por propriedade;
- Quanto ao uso de tecnologias, todos fazem análises de solos e 72% utilizam o manejo integrado de pragas e adubos orgânicos e verdes;
- Em relação ao meio ambiente, somente 43% têm área com mata nas propriedades; 100% não fazem rotação de culturas; somente 43% pensam em fazer reflorestamentos com espécies nativas; em nenhuma das propriedades há estação de tratamento de resíduos.

Os resultados do modelo dos multiplicadores para estes 6 grupos ratificou o resultado anterior de que poucos agricultores fazem bom uso da área, já que esta foi a variável que recebeu maior quantidade de pesos zero nos seis modelos. Cabe ressaltar que nos grupos Floricultores e Florescitricultores houve empate na quantidade de pesos zero para as variáveis Área Cultivada e Emprego.

A Tabela 2 traz os resultados de retornos de escala (quantidade de DMUs em cada faixa) para cada um dos grupos. Verifica-se que, analogamente à análise global, em todos os grupos, a maioria dos agricultores encontra-se em situação de produção em que acréscimos na utilização de recursos acarretam aumentos mais que proporcionais na produção.

Tabela 2. Caracterização das DMUs segundo os retornos de escala e tipos de agricultor.

	Crescentes	Constantes	Decrescentes
Agrocitricultores	8	1	5
Agrofloricultores	6	0	1
Agropecuáristas	1	3	0
Florescitricultores	18	2	4
Floricultores	7	1	5
Produtores agrícolos	6	2	1

A Tabela 3 apresenta as características do *benchmark* mais referenciado em cada grupo. Como já destacado, as DMUs de referência são importantes na análise de eficiência pois servem como exemplo a ser seguido pelas unidades ineficientes que buscam a eficiência.

Tabela 3. Características do *benchmark* mais referenciado em cada grupo.

		Área cultivada (hectares)	Emprego (homem- hora-ano)	Máquinas (hora-ano)	Renda líquida (R\$)
Agrocitricultores	<i>Benchmark</i>	14,0	1.335	100	75.850
	Média	15,8	2.800	127	29.194
Agrofloricultores (*)	<i>Benchmark</i>	0,5	2.400	0	52.000
	<i>Benchmark</i>	0,8	9.000	0	120.000
	Média	3,0	3.420	150	44.857
Agropecuáristas	<i>Benchmark</i>	1,0	300	0	66.000
	Média	9,3	375	0	19.764
Florescitricultores	<i>Benchmark</i>	9,0	2.040	54	319.050
	Média	70,7	27.793	2473	528.390
Floricultores	<i>Benchmark</i>	3,0	3.600	900	1.200.000
	Média	13,3	17.729	1221	250.151
Produtores agrícolos	<i>Benchmark</i>	1,5	918	9	63.875
	Média	13,5	2.082	61	17.676

(*) Duas DMUs tiveram a mesma frequência como referência para as unidades ineficientes.

Finalmente, cabe destacar que alguns dos agricultores foram eficientes por *default*, ou seja, obtiveram índice de eficiência 100% por apresentarem menor valor para um dos *inputs* e/ou o maior valor para o *output*. Essa é uma característica inerente ao modelo DEA BCC (ALI, 1993), que pode ser contornada com o uso de modelos adicionais, como por exemplo, modelos que incorporem restrições aos pesos dos multiplicadores (ALLEN et al., 1997) ou, modelos que não incorporam a subjetividade do decisor, como a fronteira invertida (ENTANI et al., 2002; NOVAES, 2002; ANGULO-MEZA et al., 2003a, 2003b).

5. CONCLUSÕES

O emprego do modelo DEA à avaliação dos agricultores de Holambra mostra-se bastante interessante, em especial no que se refere à determinação de diretrizes aos

agricultores ineficientes para o alcance da eficiência (redução dos recursos e/ou aumento da produção). Além disso, a indicação de unidades referência ou *benchmarks* é importante na mudança das práticas de gestão das propriedades.

O uso da variável “área cultivada” ao invés de “área total” pode causar alguns problemas, já que fornece resultados de eficiência técnica, mas não de uma eficiência global, pois desconsidera a razão entre terra disponível e em uso. O emprego da variável “área cultivada” aumenta a eficiência daqueles produtores que utilizam estufa e mascara o mau aproveitamento da terra. Já a variável “área total” penaliza aqueles agricultores quem têm reservas ambientais, não incluídas como fonte de produção e renda. Resultados de modelagem DEA para Holambra com o uso da variável “área total” podem ser vistos em Gomes et al. (2004).

Modelos DEA avançados podem melhorar os resultados obtidos, seja na redução dos pesos zero, seja na possibilidade de seleção de alvos a alcançar. Esses desenvolvimentos serão contemplados em estudos futuros.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI, A.I. Streamlined computation for data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 64, n. 1, p. 61-67, 1993.
- ALLEN, R., ATHANASSOPOULOS, A., DYSON, R.G., THANASSOULIS, E. Weights restrictions and value judgements in data envelopment analysis: evolution, development and future directions. **Annals of Operations Research**, n. 73, p. 13-34, 1997.
- ALVES, E.; GOMES, A.P.; Medidas de eficiência na produção de leite. **Revista Brasileira de Economia**, v. 52, n. 1, p. 145-167, 1998.
- ANGULO-MEZA, L. **Um enfoque multiobjetivo para os modelos de determinação de alvos em DEA**. Rio de Janeiro, 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- ANGULO-MEZA, L., BIONDI NETO, L., SOARES DE MELLO, J.C.B., GOMES, E.G., COELHO, P.H.G. SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão: Uma Implementação Computacional de Modelos de Análise Envoltória de Dados. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**, v. 3, n. 20. 2003a. Disponível em: http://www.producao.uff.br/rpep/relpesq303/relpesq_303_20.doc. Acesso em: 5 jan. 2004.
- ANGULO-MEZA, L.; GOMES, E.G.; SOARES De MELLO, J.C.C.B.; BIONDI NETO, L. Fronteira DEA de dupla envoltória no estudo da evolução da ponte aérea Rio-São Paulo. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 17., 2003b, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro, 2003.
- AZEVEDO, E.C. de, MANGABEIRA, J.A. de C., MIRANDA, J.R. Análise da Sustentabilidade das Atividades Agrícolas: Uma Contribuição dos Sistemas de Informações Geográficas na Gestão Ambiental e no Desenvolvimento Sustentado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO RURAL, 4., 2001, Goiânia. **Anais...** Lavras: ABAR, 2001. 8p.
- 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.
- BAPTISTA, A.J.M.S.; CAVALCANTI, J.E.A.; Vieira, W.C. Retornos à escala na pesca artesanal em Cabo Verde. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 41., 2003, Juiz de Fora. **Anais...**, Minas Gerais, 2003.

- BATTESE, G. E. Frontier production functions and technical efficiency: a survey of empirical applications in agricultural economics. **Agricultural Economics**, v. 7, p. 185-208, 1992.
- BISHOP, Y., FIENBERG, S., HOLLAND, P. **Discrete multivariate analysis: theory and practice**. Cambridge, Estados Unidos: MIT, 1975. 575 p.
- 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, p. 88-101, 1993.
- 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.
- CHAVAS, J.; ALIBER, M. An analysis of economic efficiency in agriculture: a nonparametric approach. **Journal of Agriculture and Resource Economics**, v. 18, p. 1-16, 1993.
- COELLI, T.J. Recent developments in frontier modelling and efficiency measurement. **Australian Journal of Agricultural Economics**, v. 39, n. 3, p. 219-245, 1995.
- 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, n. 1, p. 9-17, 2002.
- DOYLE, J.R., GREEN, R.H. Cross-evaluation in DEA: Improving discrimination among DMU's. **INFOR**, v. 33, n. 3, p. 205-222, 1995.
- ENTANI, T.; Maeda, Y.; Tanaka, H. Dual Models of Interval DEA and its extensions to interval data. **European Journal of Operational Research**, v. 136, p. 32-45, 2002.
- EVERITT, B. **Cluster analysis**. London: Heinemann Educational, 1974. 122 p.
- FÄRE, R.; GRABOWSKI, R.; GROSSKOPF, S. Technical efficiency in Philippine agriculture. **Applied Economics**, v. 17, p. 205-214, 1985.
- 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.
- GOMES, A.P. **Impactos das transformações da produção de leite no número de produtores e requerimentos de mão-de-obra e capital**. Viçosa, 1999. Tese (Mestrado em Economia Rural) – Universidade Federal de Viçosa.
- GOMES, E.G. **Modelos de Análise de envoltória de Dados com Ganhos de Soma Zero**. Rio de Janeiro, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- GOMES, E.G., MANGABEIRA, J.A.C., SOARES DE MELLO, J.C.C.B. Uso de Análise de Envoltória de Dados e de Sensoriamento Remoto: emprego do modelo fuzzy-DEA à avaliação de eficiência dos agricultores de Holambra. In: 11º Congresso da APDIO, 2004, Porto. **Anais...**, Portugal, 2004.
- GOMES, E.G., SOARES DE MELLO, J.C.C.B., BIONDI NETO, L. Avaliação de eficiência por Análise de Envoltória de Dados: conceitos, aplicações à agricultura e integração com Sistemas de Informação Geográfica. **Documentos**, n. 28. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2003a.
- GOMES, E.G., SOARES DE MELLO, J.C.C.B., ESTELLITA-LINS, M.P. Busca seqüencial de alvos intermediários em modelos DEA com soma de *outputs* constante. **Investigação Operacional**, v. 23, n. 2, 2003b (no prelo).
- GONZÁLEZ-ARAYA, M.C. **Projeções não radiais em regiões fortemente eficientes da fronteira DEA - Algoritmos e Aplicações**. Rio de Janeiro, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- GULATI, S.; MISHRA, A. A Non-Parametric Analysis of Returns to Scale in US Agriculture. In: AMERICAN AGRICULTURAL ECONOMIC ASSOCIATION (AAEA) ANNUAL MEETING. 1999, Nashville, Tennessee. **Anais...**, 1999.

- HOLAMBRA em números. **Holambra Hoje**, agosto, 1998. (3^a capa).
- KRASACHAT, W. Deforestation and productivity growth in Thai agriculture. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE FOOD SECURITY AND MANAGING NATURAL RESOURCES IN SOUTHEAST ASIA: Challenges for the 21st Century, 2002, Chiang Mai. **Annals...**, 2002.
- 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.
- MANGABEIRA, J.A. de C. **Tipificação de Produtores Rurais Apoiada em Imagens de Alta Resolução Espacial, Geoprocessamento e Estatística Multivariada: Uma Proposta Metodológica**. Campinas, 2002. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável) - Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP.
- NOVAES, L.F.L. **Envoltória Sob Dupla ótica aplicada na avaliação imobiliária em ambiente do sistema de informação geográfica**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- PEREIRA FILHO, C.A. **Eficiência econômica da pequena produção familiar agrícola no Recôncavo d estado da Bahia: uma análise não-paramétrica de fronteiras de produção multi-produto**. 2001. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- PEREIRA, M.F. Avaliação da eficiência produtiva do setor agropecuário dos municípios da AMUSEP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 35., 2003, Natal. **Anais...**, Rio Grande do Norte, 2003.
- PEREIRA, M.F. **Evolução da fronteira tecnológica múltipla e da produtividade total dos fatores do setor agropecuário brasileiro de 1970 a 1996**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- PEREIRA, M.F.; SILVEIRA, J.S.T. Evolução da eficiência técnica no setor agropecuário brasileiro: 1985-1995. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL – SBPO, 33., 2001, Campos do Jordão. **Anais...**, São Paulo, 2001. p. 12-20.
- RAY, S. Measurement and test of efficiency of farmers in linear programming models: a study of West Bengal farms. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, n. 47, p. 371-386, 1985.
- SEXTON, T.R., SILKMAN, R.H., LOGAN A.J. Data Envelopment Analysis: Critique and extensions. In: H. Silkman (Ed.) **Measuring Efficiency: An Assessment of Data Envelopment Analysis**. Jossey-Bass Editor, San Francisco, 1986.
- 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, n. 3-4, p. 207-221, 1999a.
- 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, 1999b.
- SOARES DE MELLO, J.C.C.B. **Suavização da fronteira DEA com o uso de métodos variacionais**. Rio de Janeiro, 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- SOARES DE MELLO, J.C.C.B., ESTELLITA-LINS, M.P., GOMES, E.G. Construction of a smoothed DEA frontier. **Pesquisa Operacional**, v. 22, n. 2, p. 183-201, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pope/v22n2/a06v22n2.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2004.

- SOARES DE MELLO, J.C.C.B., GOMES, E.G., BIONDI NETO, L., ESTELLITA-LINS, M.P. Suavização da fronteira DEA: o caso BCC tridimensional. **Investigação Operacional**, v. 24, n. 1, 2004 (no prelo).
- SOUZA, G.S.; ALVES, E.; AVILA, A.F.D. Technical efficiency of production in agricultural research. **Scientometrics**, v. 46, n. 1, p. 141-160, 1999.
- SOUZA, P.C.T.; WILHELM, V.E. Avaliação de produtividade da eficiência técnica em unidade de produção de leite do estado do Paraná (programa de leite da região de Guarapuava – PR). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL – SBPO, 33., 2001, Campos do Jordão. **Anais...**, São Paulo, 2001.
- STURION, L. **Uma avaliação do potencial da Análise de Envoltória de Dados (DEA) no diagnóstico da produtividade de unidades de produção agropecuária**. 1996. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- SUEYOSHI, T. DEA non-parametric ranking test and index measurement: slack-adjusted dea and an application to japanese agriculture cooperatives. **Omega**, v. 27, n. 3, p. 315-326, 1999.
- TAVARES DE SOUZA, P.C.; WILHELM, V.E.; QUEIROZ JÚNIOR, A.S.F. Avaliação de produtividade da eficiência técnica em unidades de produção de leite do estado do Paraná (Programa de Leite da Região de Guarapuava – PR). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 33., 2001, Campos do Jordão. **Anais...**, São Paulo, 2001.
- TORESAN, L. **Sustentabilidade e desempenho produtivo na agricultura: Uma Abordagem Multidimensional Aplicada a Empresas Agrícolas**. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- 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, p. 175-180, 1998.
- TUPY, O.; ESTEVES, S.N.; SCHIFFLER, E.; VIEIRA, M.C.; NOVO, A.L.M. Eficiência técnica na produção de leite. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 41., 2003, Juiz de Fora. **Anais...**, Minas Gerais, 2003.
- 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.
- YUK-SHING, C. **Productivity growth, technical progress and efficiency change in Chinese agriculture**. Department of Economics, Hong Kong Baptist University, 1998. Disponível em: <http://www.hkbu.edu.hk/~ycheng/articles.html>. Acesso em: 15 ago. 2002.
- ZAIKET, L.; DHARMAPALA, P.S. Efficiency of government-supported horticulture: the case of Oman. **Agricultural Systems**, v. 62, p. 159-168, 1999.
- ZOFIO, J.L.; LOVELL, C.A.K. Graph efficiency and productivity measures: an application to U.S. agriculture. **Applied Economics**, v. 33, n. 11, p. 1433-1442, 2001.