

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**SISTEMAS DE SUPORTE À DECISÃO EM ATIVIDADES  
DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA**

NATANAEL TAKEO YAMAMOTO

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL – BRASIL  
2009

# **SISTEMAS DE SUPORTE À DECISÃO EM ATIVIDADES DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA**

NATANAEL TAKEO YAMAMOTO  
*M.Sc. Engenheiro agrícola*

ORIENTADOR: Prof. Dr. TEODORICO ALVES SOBRINHO

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal para obtenção do título de Doutor.

Dourados  
Mato Grosso do Sul – Brasil  
2009

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFGD

630.2011 Y19s	Yamamoto, Natanael Takeo Sistemas de suporte à decisão em atividades de produção agrícola. / Natanael Takeo Yamamoto. – Dourados, MS : UFGD, 2009. 70f.  Orientador: Prof. Dr. Teodorico Alves Sobrinho Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados.  1. Administração agrícola. 2. Decisão administrativa – Informações. 3. Produtividade agrícola. 4. Análise de envoltória de dados. I. Título.
------------------	--


# SISTEMAS DE SUPORTE À DECISÃO EM ATIVIDADES DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Por

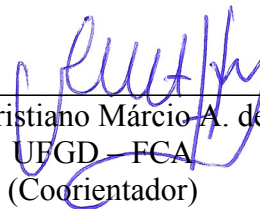
Natanael Takeo Yamamoto

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal para obtenção do título de *Doctor Science*

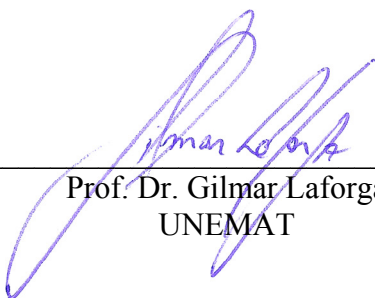
Aprovada em: 13 de fevereiro de 2009.



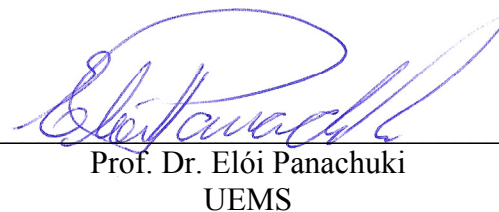
Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza  
UFGD – FCA  
(Coorientador)



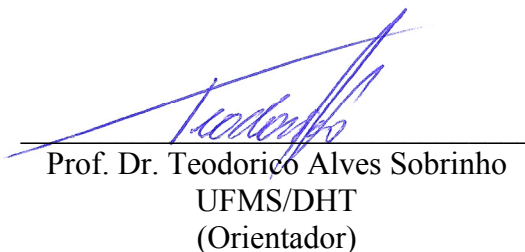
Prof. Dr. Cristiano Márcio A. de Souza  
UFGD – FCA  
(Coorientador)



Prof. Dr. Gilmar Laforga  
UNEMAT



Prof. Dr. Elói Panachuki  
UEMS



Prof. Dr. Teodorico Alves Sobrinho  
UFMS/DHT  
(Orientador)

À minha mãe Mary, pelas horas roubadas de seu convívio.

Ao meu pai Uruo pelo apoio.

Aos meus irmãos Ester, Helena e Daniel, ao meu sobrinho Caleb e meus cunhados Peter e Débora, pelo suporte, incentivo e orações.

## Ofereço

A Deus, digno de toda honra e toda glória, detentor de toda sabedoria.

**Dedico**

“...se clamares por entendimento, e por inteligência alçares a tua voz, se como a prata a buscares e como a tesouros escondidos a procurares, então, entenderás o temor do Senhor e acharás o conhecimento de Deus. Porque o Senhor dá a sabedoria, e da sua boca vem o conhecimento e o entendimento. Ele reserva a verdadeira sabedoria para os retos;”. Provérbios 2:3-7a.

## AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, pois sem Ele coisa alguma seria possível.

Ao professor Dr. Teodorico Alves Sobrinho pela orientação e por ter acreditado neste projeto e principalmente pela amizade.

Aos professores Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza e Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza pelo apoio, co-orientação e incentivo.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul e Universidade Federal da Grande Dourados, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, por acreditarem neste projeto e darem a oportunidade de realizar o curso.

Aos professores Dr. Antonio Carlos Vitorino, Dr. Silvio Bueno, Dra. Leidy Zulys Leyva Rafful pelo companheirismo e apoio.

À pesquisadora Dra. Eliane Gonçalves Gomes, pela sua orientação e colaboração indispensável para conclusão deste trabalho.

Ao amigo Dr. Elói Panachuki, pelo apoio, companheirismo e aconselhamento, sempre ouvindo e falando quando necessário.

Aos amigos Beto e Israel, pela amizade, conselhos, repreensões e todo apoio em vários momentos dessa caminhada.

Aos amigos Diovany, Jackson, Aline, Miriam, Helinho e Eduardo, pela amizade e companheirismo, sempre incentivando e suportando juntos.

Aos irmãos em Cristo da igreja Neo-Testamentária em Villa Kellen e da Igreja Holiness de Tangará da Serra, pelas orações e apoio.

Aos meus primos Marcos e Leiko, André e Gustavo, que deram apoio incondicional e amizade na reta final.

Aos “tios” Sérgio e Neusa, pelo cuidado familiar, amizade e apoio em Tangará da Serra, na reta final.

À amada Euriann, pelo amor, carinho, companheirismo, amizade e compreensão nos últimos meses.

À toda família Rees e Yamamoto que sempre torceram, incentivaram e oraram pelo sucesso.

Aos amigos William, José Antônio e Anderson, que mesmo longe estiveram torcendo e apoiando

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento de Ensino, Ciência e Tecnologia do MS - FUNDECT - MS, pela bolsa concedida e pelos recursos financeiros destinados à execução do projeto de pesquisa.

A todos, muito obrigado!

## BIOGRAFIA

**NATANAEL TAKEO YAMAMOTO**, filho de Mary Helena Rees e Uruo Yamamoto, nasceu em Campo Grande, MS, no dia 2 de abril de 1980.

Em março de 1998 ingressou no o curso de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa.

Em janeiro de 1999 começou a trabalhar no período de férias como operador de GPS, desenhista de mapas topográficos em AutoCAD e Sistemas de Informações Geográficas, na empresa Geosat em Campo Grande, MS, sempre voltando a trabalhar nos períodos de greves e férias da universidade.

Em março de 2003 concluiu o curso de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa.

Em março de 2003 iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Mecanização Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa e submeteu-se à defesa de tese em abril de 2005.

Em agosto de 2005 recebeu o prêmio Gerdau - Melhores da Terra, na categoria Pesquisa e Desenvolvimento, em nível de estudante com o trabalho do mestrado.

Em março de 2005 ingressou no Curso de Doutorado em Produção Vegetal pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia, na Universidade Federal da Grande Dourados.

Em março de 2008 ingressou no corpo docente da Universidade do Estado de Mato Grosso como professor interino do curso superior de Agronomia no *campus* de Tangará da Serra, MT.

Em abril de 2008 ingressou no corpo docente da Faculdade de Ciências Sociais e Aplicadas – UNICEN, como professor do curso superior de Tecnologia em Mecanização Agrícola, no *campus* de Tangará da Serra, MT.

Em fevereiro de 2009 submeteu-se à defesa de tese de doutorado e foi aprovado, recebendo o título de doutor em Agronomia pela Universidade Federal da Grande Dourados.



## SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	x
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	5
ARTIGO 1. MAPEAMENTO DOS ÍNDICES ECONÔMICO E FÍSICO DE TALHÕES DESTINADOS À PRODUÇÃO DE UMA EMPRESA AGROPECUÁRIA .....	7
RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	7
1 INTRODUÇÃO .....	8
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	15
5 CONCLUSÕES .....	18
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	19
ARTIGO 2. APOIO À TOMADA DE DECISÃO USANDO ANÁLISE DE ENVOLTÓRIA DE DADOS PARA COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENTRE ÁREAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA .....	22
RESUMO .....	22
ABSTRACT .....	22
1 INTRODUÇÃO .....	23
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	25
2.1. Análise de Envoltória de Dados .....	25
2.2. Análise da eficiência na atividade agropecuária utilizando DEA .....	28
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	30
3.1. A empresa e os dados .....	30
3.2. Os modelos .....	30

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1. Comportamento das eficiências nas cinco safras avaliadas.....	33
4.1.1. Modelo de produção .....	33
4.1.2. Modelo de lucro .....	35
4.1.3. Modelo global.....	38
5 CONCLUSÕES .....	41
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42
ARTIGO 3. MAPEAMENTO DA EFICIÊNCIA DE TALHÕES DESTINADOS À PRODUÇÃO EM UMA EMPRESA AGRÍCOLA INTEGRANDO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E ANÁLISE DE ENVOLTÓRIA DE DADOS.....	46
RESUMO.....	46
ABSTRACT.....	46
1 INTRODUÇÃO.....	47
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	49
2.1. Sistema de informações geográficas (SIG).....	49
2.2. Análise de Envoltória de Dados.....	50
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	53
3.1. Os dados utilizados na análise .....	54
3.2. DEA e SIG .....	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
5 CONCLUSÕES .....	64
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
CONCLUSÕES GERAIS E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	68
APÊNDICES .....	69

## SISTEMAS DE SUPORTE À DECISÃO EM ATIVIDADES DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA

### RESUMO

YAMAMOTO, Natanael Takeo. D.S. Universidade Federal da Grande Dourados, fevereiro de 2009. **Sistemas de suporte à decisão em atividades de produção agrícola.** Orientador: Teodorico Alves Sobrinho. Co-orientadores: Cristiano Márcio Alves de Souza e Luiz Carlos Ferreira de Souza.

O avanço da humanidade pressiona cada vez mais a produção de matéria-prima para as mais diversas aplicações, principalmente alimentos. A redução das áreas disponíveis conduz à necessidade do aumento da eficiência produtiva, ou seja, maiores produções por unidade de área. Assim, objetivou-se com esse trabalho, desenvolver uma nova abordagem de gerenciamento agrícola, que permita a melhor compreensão das variáveis produtivas buscando soluções para aumentar a eficiência produtiva e econômica. A empresa rural utilizada nesse estudo está localizada no município de Maracaju, estado de Mato Grosso. Cada unidade foi analisada como uma empresa individual, com seus índices produtivos e econômicos. Reunindo os dados históricos de produção e os mapas, foi possível, utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG) na plataforma do programa computacional IDRISI Andes, confeccionar os mapas de produtividade e lucratividade em cada unidade de manejo e em cada safra. Utilizando a Análise de Envoltória de Dados (DEA) para comparação da eficiência dos talhões, observou-se a intensidade de variabilidade da eficiência no campo de produção, e possibilitou apontar os alvos, folgas e comparativos (*benchmarks*) para cada talhão. Este estudo viabilizou a identificação das unidades mais eficientes, fornecendo ao tomador de decisão um poderoso conjunto de ferramentas para melhorar a eficiência da empresa rural.

**Palavras chave:** eficiência, produtividade, apoio à decisão.

## DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR AGRICULTURE PRODUCTION

### ABSTRACT

YAMAMOTO, Natanael Takeo. D.S. Universidade Federal da Grande Dourados, february of 2009. **Decision support systems for agriculture production**. Advisor: Teodorico Alves Sobrinho. Committee members: Cristiano Márcio Alves de Souza, Luiz Carlos Ferreira de Souza and Nalvo Franco de Almeida Jr.

The humanity advances push more and more the production of raw materials for many applications, foods mainly. The reduction of the available areas leads to the necessity of the productive efficiency increase. This paper intends to provide a new approach for agricultural management, which allows a better understanding of the productive variables, by searching solutions to productive and economic efficiency increase. The rural firm used in this case study was localized in Maracaju, Mato Grosso, Brazil. Each unit was analyzed as an individual company, each one with its productive and economic indices. By congregating the historical production data and the farm maps, it was possible using a Geographic Information System (GIS) in the computational program platform IDRISI Andes to obtain the productivity and profitability maps of each management unit and crop. By using the Data Envelopment Analysis (DEA) for efficiency measure contrast of the production areas, the intensity of the efficiency variability in the production field was observed, and made it possible to spot the targets, recesses and benchmarks in each area. This study made possible the identification of the most efficient units, giving the decision maker powerful tools to improve the efficiency in rural company.

**Keywords:** efficiency, productivity, rural management

## INTRODUÇÃO GERAL

Como aumentar a produção agrícola sem a necessidade de abertura de novas áreas de produção? Essa é talvez a grande pergunta que permeia o agronegócio de forma geral. Observa-se que tem-se alcançados altos níveis de produtividade no Brasil e no mundo, entretanto estes níveis parecem ter parado de ascender. Sem aumentar a produtividade e com a necessidade de maior produção, a solução que os produtores encontram é aumentar as áreas de exploração, sendo que algumas destas áreas se estão nas regiões de floresta amazônica, no caso do Brasil. A exploração nessas áreas tem sido combatida fortemente por órgãos ambientais tanto nacionais como internacionais.

A produtividade potencial da maioria das culturas é bem maior do que a alcançada, entretanto esse potencial só poderia ser expresso em condições ideais do ambiente para a planta. Navarro Junior e Costa (2002) observaram que o potencial produtivo da soja pode chegar a 20.000 kg ha<sup>-1</sup>, mas isso é apenas uma estimativa quando a planta está no estágio fenológico de florescimento (R2), sendo que na mesma cultivar, esse potencial diminuiu para 5.293 kg ha<sup>-1</sup> na maturação (R8). Argenta et al. (2003) obtiveram produtividades de milho de até 15.000 kg ha<sup>-1</sup>, em condições experimentais. Pereira (1989) relata que a maior média mundial de produtividade não alcança 50% da produtividade potencial máxima registrada, que é 23.200 kg ha<sup>-1</sup> do milho, 17.800 kg ha<sup>-1</sup> do arroz, 12.000 kg ha<sup>-1</sup> do trigo, 7.400 kg ha<sup>-1</sup> da soja e 5.000 kg ha<sup>-1</sup> do feijão.

Dentre os componentes do agronegócio em destaque no país estão, a soja, a carne bovina, a cana-de-açúcar e o milho, nessa ordem em valores de exportação. Destes, o complexo soja é o item mais importante do agronegócio do país que por sua vez é o maior exportador do produto no mundo, seguido pelo álcool e açúcar, derivados do complexo da cana-de-açúcar. O complexo da soja apresentou o maior valor bruto na exportação dos produtos agropecuários, com R\$ 29.430 milhões de janeiro a setembro de 2008. O valor bruto de produção da soja é o maior entre os produtos agropecuários, com uma projeção de R\$ 53 bilhões para 2008, do total de R\$ 297 bilhões da agropecuária toda. A produção do grão chegou a 60 milhões de toneladas na safra 2008, batendo recorde, produzidos em torno de 21 milhões de hectares, sendo a produtividade

média no país próxima a 2.800 kg ha<sup>-1</sup> (46 sacas ha<sup>-1</sup>) (CNA, 2009; CONAB, 2009). Alguns conceitos já consolidados no meio administrativo e atividades altamente competitivas do mercado econômico são pouco utilizados nas áreas de produção agropecuária, ou seja, “do lado de dentro da porteira”. Essa afirmação parte do conhecimento de áreas com eficiência produtiva muito baixa e que mesmo assim são utilizadas, resultando na maioria das vezes em prejuízo econômico nessas áreas. O resultado médio da produtividade, obtida em toda a área de produção da empresa rural em questão, camufla os maus resultados das sub-áreas, ou ainda inibe unidades de manejo com grande potencial produtivo. Sendo que as áreas inaptas para produção comercial poderiam ser ocupadas com reservas de preservação ambiental.

A noção do comportamento da produtividade nas sub-áreas de produção permite a tomada de decisão de forma planejada e individualizada em cada uma dessas unidades de manejo, aumentando o uso eficiente de todos os recursos como a mecanização, irrigação e outros. Segundo Santos (2000), o planejamento tático ou gerencial preocupa-se em estabelecer a forma mais eficiente de alocar recursos com base nos objetivos a serem alcançados, as alternativas a serem consideradas e o total de recursos à disposição.

Para avaliar a eficiência produtiva de uma empresa, são utilizados os sistemas de apoio à decisão, que por sua vez são constituídos de procedimentos de análise econômica e produtiva da atividade em análise. As análises econômicas são feitas reunindo um grande número de informações e processamento das mesmas, por isso a evolução computacional possibilitou o avanço de tecnologias dessa natureza. Para Turban e Aronson (1998), sistema de apoio à decisão (SAD) é um agrupamento de ferramentas computacionais que utilizam dados e modelos matemáticos, auxiliando na resolução de problemas administrativos não-estruturados, ou seja, que não seguem uma metodologia pré-definida.

É notório que o agropecuarista observa as variabilidades existentes nas áreas de produção, principalmente quando ela é dividida em talhões, ou seja, em unidades de manejo, entretanto, a tomada de decisão é feita intuitivamente e em geral, desprovida de embasamento teórico. Uma das maneiras pelas quais as decisões podem ser tomadas é basear-se na eficiência, o que normalmente é utilizado para comparação de empresas de um mesmo ramo de atividade. A utilização das técnicas de análise de eficiência pode indicar também o nível de tecnologia a ser empregado em cada unidade de manejo, otimizando assim os resultados obtidos.

A realização de um levantamento de todos os custos envolvidos na produção, além de possibilitar a determinação da real situação econômica da empresa agropecuária, permite a obtenção das medidas de eficiência produtiva da mesma. O nível de eficiência pode ser considerado como um importante indicador no momento em que são estabelecidas avaliações comparativas entre empresas que atuam no mesmo ramo de produção.

Devido à instabilidade da economia no setor agropecuário e à necessidade de criar meios que possibilitem o tomador de decisão das empresas deste setor, principalmente daqueles ligados diretamente à produção, surge demanda por tecnologias que minimizem os riscos e tornem eficientes as unidades de manejo das empresas agropecuárias.

Pensando nisso, no estudo atual, o objetivo foi comparar unidades de produção dentro da empresa agrícola, ou seja, os talhões. Buscando demonstrar que existem talhões que são ineficientes e dar suporte ao tomador de decisão para realizar a correção adequada no sistema produtivo. Sabendo que existem talhões que são eficientes, busca-se indicar os caminhos para reduzir ou anular a ineficiência dos demais talhões, seja pela redução dos insumos investidos ou pelo aumento de produção e do lucro dos mesmos.

Este trabalho partiu da hipótese que existem talhões com diferentes potenciais de produção e que essas áreas poderiam ser identificadas utilizando um SIG para mapear, visualizar e manipular os dados de produção e econômicos referentes a cada uma. Além disso, essas diferenças de potencial resultariam em unidades eficientes e ineficientes no uso dos recursos, sendo que as eficiências poderiam ser quantificadas e comparadas por um processo de análise. Unindo essas duas hipóteses, seria possível confeccionar os mapas das unidades de manejo a partir das suas eficiências, fornecendo uma ferramenta a mais para o tomador de decisão.

Para tanto, o estudo foi organizado em três artigos complementares. No primeiro foi feito um mapeamento usando sistema de informações geográficas de índices que indicam o tamanho econômico e físico das áreas de produção da empresa avaliada. Estes índices são normalmente utilizados para a comparação econômica entre empresas possibilitando o tomador de decisão conhecer como sua empresa está em relação às outras do mesmo setor. Neste trabalho as parcelas para estudo foram áreas de produção da empresa, cada uma com diferente nível de medida física e econômica.

No segundo artigo, as informações de custo e produção das áreas produtoras da empresa foram utilizadas para determinação da eficiência técnica e econômica destas áreas com base na análise de envoltória de dados. Esse tipo de análise normalmente é feita para comparação entre empresas homogêneas de um mesmo setor, e no que consta na literatura, nunca foi utilizado para comparar áreas de produção de uma mesma empresa.

O terceiro artigo reúne as técnicas de mapeamento com sistemas de informações geográficas e informações de eficiência das áreas de produção. O mapeamento das eficiências e apresentação em mapas gráficos possibilita ao tomador de decisão absorver de forma rápida e compreensível as informações que provém de diversas tabelas, tornando mais eficaz a tomada de decisão.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CNA – Confederação Nacional da Agricultura. **Indicadores Rurais: Outubro 2008**. Brasília, DF. Disponível em: <[http://www.cna.org.br/site/down\\_anexo.php?q=E22\\_20364Apresentacao9out08.pdf](http://www.cna.org.br/site/down_anexo.php?q=E22_20364Apresentacao9out08.pdf)>. Acesso em: 2 fev. 2009.
- CNA – Confederação Nacional da Agricultura. **Agropecuária Brasileira Balanço e Perspectivas: 2008 e 2009**. Brasília, DF. Disponível em: <[http://www.cna.org.br/site/down\\_anexo.php?q=E15\\_20695balanco\\_FINAL\\_completo.pdf](http://www.cna.org.br/site/down_anexo.php?q=E15_20695balanco_FINAL_completo.pdf)>. Acesso em: 2 fev. 2009.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Grãos: Safra 2008/2009**. Quarto levantamento sistemático, janeiro, 2009. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/4\\_levantamento\\_jan2009.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/4_levantamento_jan2009.pdf)>. Acesso em: 2 fev 2009.
- NAVARRO JUNIOR, Hugo Motta; COSTA, José Antonio. Expressão do potencial de rendimento de cultivares de soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 275-279, 2002.
- PEREIRA, A. R. Aspectos fisiológicos da produtividade vegetal. **R. Bras. Fisiol. Veg.**, v. 1, n. 2, p. 139-142, 1989.
- SANTOS, S.L.M. **Sistema de apoio á decisão em colheita florestal**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.
- TURBAN, E.; ARONSON, J.E. **Decision support systems and intelligent systems**. 5 ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 890 p., 1998.

## **ARTIGO 1**

**MAPEAMENTO DOS ÍNDICES ECONÔMICO E FÍSICO DE TALHÕES  
DESTINADOS À PRODUÇÃO DE UMA EMPRESA AGROPECUÁRIA**

# MAPEAMENTO DOS ÍNDICES ECONÔMICO E FÍSICO DE TALHÕES DESTINADOS À PRODUÇÃO DE UMA EMPRESA AGROPECUÁRIA

## RESUMO

Neste trabalho foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas para avaliar o comportamento de medidas de tamanho econômicos e físicos que dão suporte ao administrador rural tomar suas decisões levando em consideração a distribuição das variáveis no espaço produtivo. As parcelas foram os talhões selecionados, considerados como empresas individuais, sendo cada um com um diferente nível de medida física e econômica. Observou-se que existe um alto nível de variação das medidas, indicando que há talhões em que podem ser reduzidos os custos de produção e aumentado o lucro, e conseqüentemente a lucratividade.

**Palavras chave:** tomada de decisão, indicador econômico, sistemas de produção.

## ABSTRACT

The Geographic Information System was used in this paper in order to evaluate the economic behavior and physical measures that give support to agricultural administrators when making decisions taking into consideration the distribution of the variables in the productive space. The parcels were the selected fields that were considered as individual companies, each one with a different level of physical and economic measure. It was observed a high variation level in the measures, indicating that there are areas that either improve and increase profits or search ways to reduce the costs.

**Keywords:** decision making, economic index, crop systems, economic measure.

## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio é um dos principais participantes do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, mas para que nos dias atuais ele tenha esse nível de importância, foi necessário que um grande esforço fosse direcionado para o aperfeiçoamento do setor.

Muitos profissionais especializados estão direta ou indiretamente ligados ao agronegócio e um destes é o administrador rural, que está diretamente em contato com a produção agropecuária. Para que esse profissional e os demais que lidam com os fatores econômicos e produtivos da empresa rural possam realizar seu trabalho com a maior certeza de sucesso, é indispensável que tenha em mãos um excelente sistema de informações.

Um bom sistema de informações pode ser considerado como aquele que fornece as informações exatamente necessárias à tomada de decisão. Um sistema de informações deve ser objetivo e fornecer tantas informações quanto necessárias para dar suporte ao tomador de decisão. Esse sistema deve ser simples, dotado de interfaces de fácil interação com o usuário, possibilitando o aproveitamento máximo das informações e com a segurança exigida para um negócio de sucesso. O sistema de informações é importante para permitir a entrada de dados e variáveis que possibilitem um melhor controle dos fatores produtivos fornecendo uma fonte de informações sobre variáveis ambientais e sociais, necessárias para planos estratégicos como de rastreabilidade e exportação.

A agricultura, diferentemente da maioria dos setores de produção, é cercada por uma enorme quantidade de variáveis, que podem ou não ser controladas. Portanto é indispensável que o administrador tenha o maior controle possível sobre essas informações.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) surgem como uma poderosa ferramenta, onde o administrador pode inserir as informações do setor produtivo e localizar essas informações geograficamente. Sendo assim, com o uso do SIG, o tomador de decisão pode acompanhar onde estão ocorrendo os fatos gerenciais e estudar novas maneiras de manejar essas informações levando em consideração a distribuição das mesmas no espaço físico (geográfico).

A noção do comportamento da produtividade nas sub-áreas de produção permite a tomada de decisão de forma planejada e individualizada em cada unidade de manejo. É notório que o agropecuarista observa as variabilidades existentes nas áreas de produção, principalmente quando ela é dividida em talhões, ou seja, em unidades de manejo, entretanto, a tomada de decisão é feita intuitivamente e em geral, desprovida de embasamento teórico.

Assim, neste trabalho foi utilizado o SIG para avaliar o comportamento geoespacial de medidas econômicas e físicas, que darão suporte para o administrador rural tomar suas decisões, levando em consideração a distribuição das variáveis no espaço produtivo. Objetivou-se apresentar uma visão diferente para a manipulação de dados, comumente tomados durante a atividade agrícola, de forma simples e que forneça as informações que o usuário necessita.



A pedido do autor o Capítulo 2 foi retirado do pdf.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo de caso foi realizado na empresa agrícola Fazenda Rio Branco, localizada a aproximadamente 50 km da cidade de Maracaju, MS, nas coordenadas 21°39'22" S e 55°42'00" O, a 526 m acima do nível do mar, com clima Tropical Brasil Central do tipo Cwa pela classificação de Köppen-Geiger (PEEL et al., 2007), com solos classificados como Latossolo Vermelho distroférico (Lv7) (EMBRAPA, 1999) e características visíveis por imagem de satélite, podem ser observadas na Figura 1.



FIGURA 1. Imagem do satélite CBERS 2B com sensor HRC, de 27 de agosto de 2008, apresentando a Fazenda Rio Branco. Fonte: INPE.

Os talhões utilizados no estudo foram selecionados considerando aqueles que não sofreram modificação no seu formato e tamanho, ou seja, a produção ocupa ao longo dos anos de estudo a mesma área na mesma localização.

Considerou-se como parcelas os talhões selecionados, que nesse caso foram compreendidos como empresas individuais onde cada uma tem um diferente nível de medida física e econômica.

Os dados relativos à produção agrícola de soja foram acompanhados e anotados desde a safra 99/00 até 03/04, tendo sido assistidos pela empresa PKS, consultora em agricultura de precisão. Os dados de produtividade das tabelas foram reorganizados em bases compatíveis com o programa computacional IDRISI Andes, utilizado para geração dos mapas geoespacializados.

Os dados seguem então uma série histórica de cinco safras, o que permite fazer uma análise do comportamento dos talhões em função do tempo.

As planilhas de controle da propriedade contemplam o registro de todos os insumos utilizados em cada talhão, os custos fixos, custos variáveis, os resultados de produção e comercialização obtidos em cada safra.

Quando se trata da comparação entre empresas, os dados econômicos e de produção são trabalhados para calcular medidas de tamanho físico e econômico de cada empresa. Como a proposta desse trabalho é comparar talhões, as medidas de tamanho físico (escala) e econômico foram calculadas individualmente por talhão.

Com os dados disponíveis nas planilhas foram determinadas as medidas de tamanho econômicas de uma empresa adaptadas para cada talhão, sendo o valor da produção agrícola e o capital total investido.

Para realizar a comparação de eficiência entre as unidades de manejo foram determinadas as medidas de eficiência física e econômica de cada talhão a partir dos dados de produção e econômicos. A eficiência física foi representada pela produtividade, que é a produção média em sacas de 60 kg (sc), de cada talhão, dividida pela respectiva área em hectares (ha). As medidas de eficiência econômica calculados foram a lucratividade, o valor da produção por área, a margem bruta e a margem bruta por área.

A lucratividade foi calculada pela porcentagem de participação do lucro sobre o valor da produção.

O valor da produção por área foi expresso em US\$ ha<sup>-1</sup>, e foi calculado dividindo-se o valor total da produção do talhão em US\$, pela sua respectiva área em ha.



A margem bruta foi calculada subtraindo os custos variáveis do valor da produção de cada talhão. Posteriormente dividindo esta pela área em ha, calculou-se a margem bruta por área em US\$ ha<sup>-1</sup>.

Todos os dados para confecção dos mapas e comparação foram calculados pela média das cinco safras consideradas, sendo assim, os valores econômicos foram indexados à cotação do dólar no período de cada safra, possibilitando então o cálculo do valor médio.

Tendo as informações de medidas de tamanho econômico de cada talhão, procedeu-se a confecção dos mapas para distribuição espacial dessas informações, respectivamente a cada talhão analisado. Todos os índices e dados representados nos mapas foram reclassificados em quatro classes ou faixas. Para se determinar as classes, foi calculada a amplitude total de cada índice ou variável, e a amplitude total foi dividida pelo número de classes (quatro), resultando na amplitude de cada classe. Foram determinados os valores dos limites inferiores e superiores das classes, sendo que o limite inferior da primeira classe foi o menor valor do índice e o limite superior foi calculado somando o valor da amplitude da faixa ao limite inferior, e assim por diante para cada classe ou faixa. Essa divisão por faixas é feita automaticamente pelo programa computacional de IDRISI, bastando apenas escolher qual o número de classes desejado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da espacialização das áreas de produção juntamente com os dados de produtividade e lucratividade em cada talhão, foi possível determinar o grau de variabilidade espacial destes fatores na área em estudo.

Na Figura 2 são apresentados os mapas de distribuição dos talhões com as respectivas medidas de tamanho econômico. A análise visual facilita ao tomador de decisão observar as informações de forma mais clara, permitindo uma melhor compreensão das características que darão apoio à decisão.

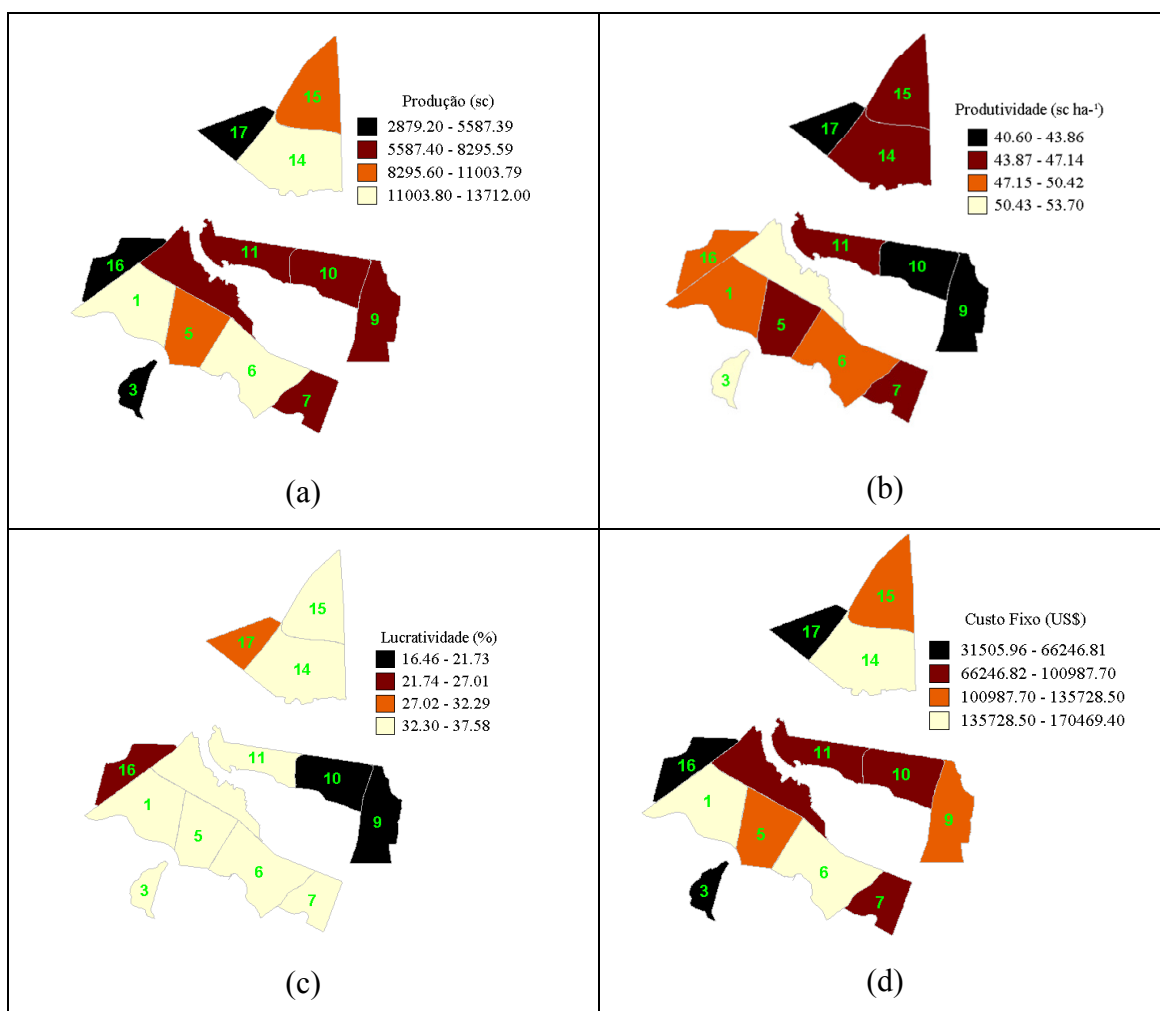
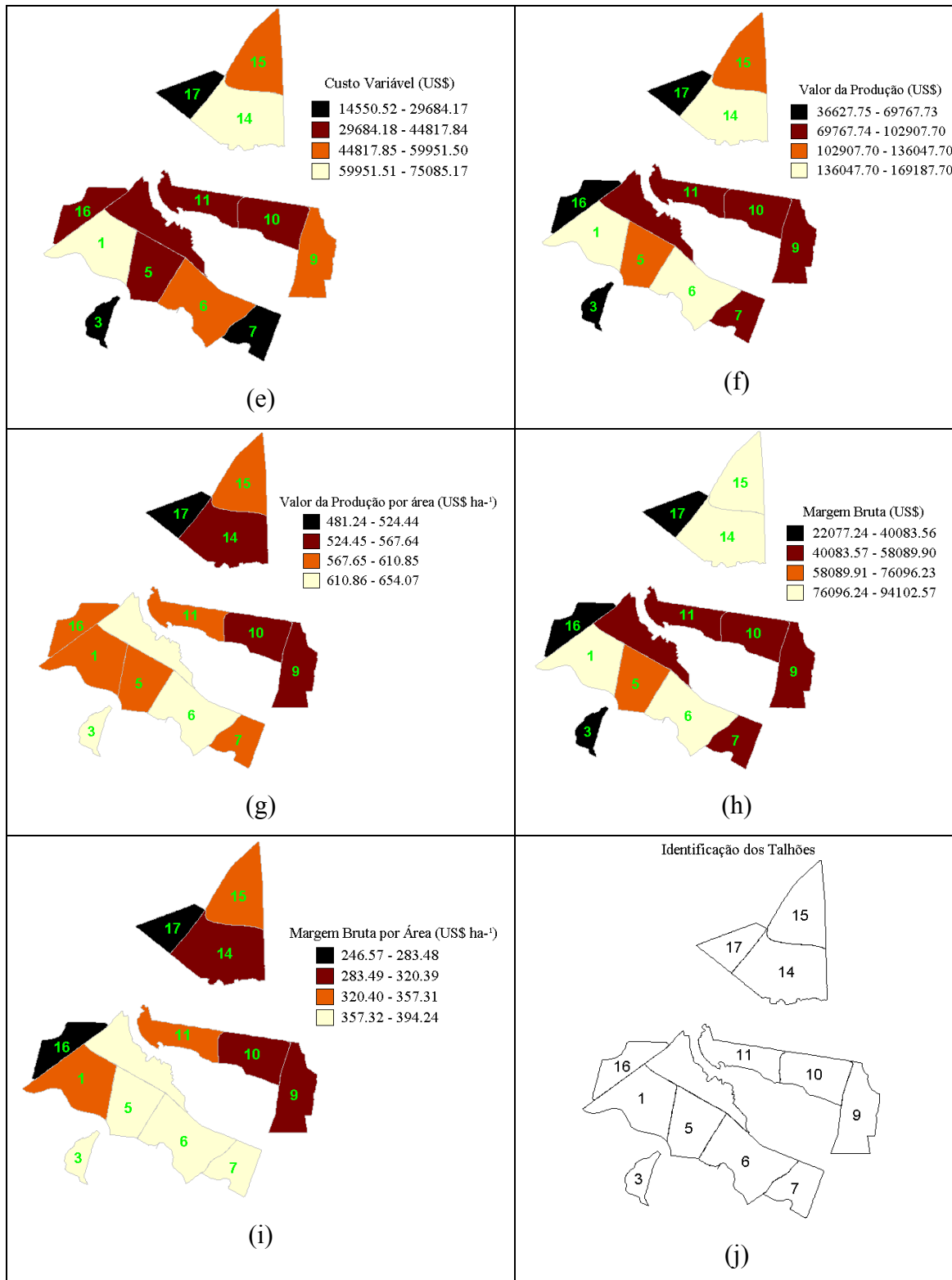


FIGURA 2. Mapas resultantes das medidas dos dados de produção e medidas de eficiência física e econômica das unidades de manejo em estudo.(...continua...)

FIGURA 2, Cont.



Comparando os mapas de medidas de escala produtiva, como produção em sacas, custo fixo e valor da produção, verifica-se que nada se pôde afirmar quanto à eficiência da unidade produtiva. Estas medidas foram resultantes da quantidade total produzida no talhão, por isso não revelam se o uso de recursos foi eficiente.

Nos mapas de lucratividade, produtividade, custo variável, valor da produção por área, margem bruta e margem bruta por área, observa-se que existe uma tendência de proporcionalidade à produtividade na maioria dos talhões. Entretanto há talhões que não seguem essa tendência para todas as variáveis, no caso o talhão 16, onde ocorreu um valor de produção por área na faixa entre 567,65 e 610,85 US\$ ha<sup>-1</sup> (Figura 2g) por outro lado uma baixa margem bruta por área na faixa entre 246,57 e 283,48 US\$ ha<sup>-1</sup> (Figura 2i). Esse fato pode ter sido motivado pelo alto custo variável (Figura 2e), mostrando que a unidade de manejo em questão demandou maiores investimentos em insumos, ou seja, esse talhão apresentou menor índice econômico.

O levantamento e a geoespacialização dos dados mostraram a importância do uso de uma ferramenta computacional na organização e na manipulação de dados de produção para auxílio do tomador de decisão, compondo o sistema de informação. A informação é o princípio básico da economia e deve ser objetiva, ou seja, quanto mais sintetizada for, melhor ela será. Quando há uma sobrecarga de informação, isto é, informações além do que é necessário poderá conduzir ao retrocesso da informação.

Deve-se fazer a escolha correta das informações que serão utilizadas para a análise da eficiência produtiva e econômica da empresa quando se comparam suas unidades de manejo, assim como as medidas econômicas entre elas. As medidas produtivas e econômicas devem envolver em seu cálculo o valor da área para que seu resultado seja distribuído por unidade de área e assim poder ser comparado, ou seja, o tamanho da unidade não influenciará a comparação.

Não foi possível utilizar na análise atual toda a área da propriedade devido à imprecisão de algumas informações relativa a alguns talhões, por terem sido modificados de tamanho ou forma ou simplesmente por possíveis informações lançadas erroneamente nas planilhas. Isso reforça a importância de se fazer um registro adequado das informações, pois estas são a base para todo o planejamento das atividades da empresa rural. Outro objetivo do registro dos dados da empresa é permitir a qualquer momento a utilização desses dados e por qualquer pessoa, sendo assim deve ser feito de forma clara e organizada, ou seja, de forma auto-explicativa.

## 5 CONCLUSÕES

A variação das características físicas e econômicas ocorre com intensidade na área produtiva da empresa, decorrente da existência de talhões com baixa ou alta produtividade.

O uso apenas de medidas de produção e econômicas é insuficiente para analisar o potencial produtivo dos talhões ou mesmo da empresa como um todo.

O uso das medidas econômicas de margem bruta e valor da produção foi adequado para observar que talhões que apresentam resultado positivo para determinada medida não corresponde necessariamente para outra.

Os dados organizados na plataforma de um sistema de informações geográficas foram essenciais para visualização das diferenças das potencialidades dos talhões, que por sua vez foram determinadas pelas medidas econômicas e produtivas.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSELIN, L.; BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J. A Spatial Econometric Approach to the Economics of Site-Specific Nitrogen Management in Corn Production **American Journal of Agricultural Economics**, v. 86, n. 3, p. 675-687, 2004.

BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER J. Economics of Variable Rate Lime in Indiana. **Precision Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 55-70, 2000.

BURROUGH, P.A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resource Assessment**, Oxford University Press, 1986.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na agricultura**. 2 ed. Brasília: Embrapa Agropecuária dos Cerrados, 1998, p. 3-11.

COELLI, T.; RAO, D.S.P.; O'DONNELL, C.J.; BATTESE, G.E. **An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis**. 2.ed. New York: Springer Ebook, 2005. 316 p. Disponível em: <[http://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=NMYB0Mh8ljcC&oi=fnd&pg=PA1&dq=coelli&ots=POBINytnPT&sig=GtjFsPPnZM\\_5vOs-boDRBfB6WCQ#PPA6,M1](http://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=NMYB0Mh8ljcC&oi=fnd&pg=PA1&dq=coelli&ots=POBINytnPT&sig=GtjFsPPnZM_5vOs-boDRBfB6WCQ#PPA6,M1)>. Acesso em: 28 jan. 2009.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.K. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1663-1674, 2006.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004. DOI: 10.1590/S0100-06832004000600010.

COWEN, D. J. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences?. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 11, p. 1551-1554. 1988.

COX, S. Information technology: the global key to precision agriculture and sustainability. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 36, n. 2-3, p. 93-111, 2002. DOI: 10.1016/S0168-1699(02)00095-9.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. 412 p.

FARACO, M.A. et al. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira**

**de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 463-473, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000200001.

MORESI, E.A.D. Delineando o valor do sistema de informação de uma organização. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 14-24, 2000. DOI: 10.1590/S0100-19652000000100002.

PARSONS, D.J.; BEEST, D. T. Optimizing Fungicide Applications on Winter Wheat using Genetic Algorithms. **Biosystems Engineering**, v. 88, n. 4, p. 401-410, 2004. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2004.04.012.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; McMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

RIJGERSBERG, H.; TOP, J.L. Exchanging crop trials information: standardization by means of data model templates. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 25, n. 3, p. 221-231, 2000.

SANTOS, S.L.M. **Sistema de apoio à decisão em colheita florestal**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; DA ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 797-804, 2004. DOI: 10.1590/S0100-06832004000500001.

TANGEN, S. Understanding the Concept of Productivity. In: 7th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, APIEMS, 2002. Taipei, China. **Anais...** Disponível em: <[http://www.woxencentrum.iip.kth.se/documents/publications/papers/pap\\_Tangen2002-UnderstandingTheConceptOfProductivity.pdf](http://www.woxencentrum.iip.kth.se/documents/publications/papers/pap_Tangen2002-UnderstandingTheConceptOfProductivity.pdf)>. Acesso em: 2 fev. 2009.

## **ARTIGO 2**

### **APOIO À TOMADA DE DECISÃO USANDO ANÁLISE DE ENVOLTÓRIA DE DADOS PARA COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENTRE TALHÕES**



# **APOIO À TOMADA DE DECISÃO USANDO ANÁLISE DE ENVOLTÓRIA DE DADOS PARA COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENTRE ÁREAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA**

## **RESUMO**

Para que exista a tomada da decisão é necessário conhecer as variáveis envolvidas no processo e como elas se comportam em conjunto. Uma das fontes de conhecimento é o histórico de eficiência de alocação de recursos, tanto físicos como econômicos da empresa. Neste trabalho foi utilizada a Análise de Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA) para comparação da eficiência de 12 áreas de produção de soja em uma empresa agrícola, considerando cada área como uma empresa individual com dados econômicos e físicos de cinco safras (1999/2000 a 2003/2004). Os resultados mostraram que a DEA é uma excelente ferramenta na determinação e comparação das eficiências das áreas e indicar os alvos para elevar as eficiências que se encontram fora da curva de eficiência.

**Palavras-chave:** DEA, produtividade, agricultura, fronteira de eficiência.

## **ABSTRACT**

In order to decision making exist it is necessary to know the involved variables in the process and how they behave when in group. One of the sources of knowledge for this is the description of the physical and economic resources' allocation efficiency of the company. Data Envelopment Analysis was used for efficiency comparison of 12 areas in field destined to soy production in an agricultural company, considering each area as an individual company with economic and physical data of five harvests (1999/2000 to 2003/2004). The results showed that the DEA is an excellent tool in the determination and comparison of the efficiency of the areas, as well as in the indication of targets to increase the efficiency of the inefficient areas.

**Keywords:** DEA, productivity, agriculture, efficiency frontier.

## 1 INTRODUÇÃO

A tomada de decisão é a etapa do processo administrativo mais importante onde todo o planejamento poderá resultar em sucesso ou não. Todo o risco do negócio começa a partir desta etapa, sendo assim, todo cuidado é pouco para que a empresa possa ter sucesso.

Eficiência é uma palavra de origem do latim que significa “virtude ou característica de (uma pessoa, um maquinismo, uma técnica, um empreendimento etc.) conseguir o melhor rendimento com o mínimo de erros e/ou de dispêndio de energia, tempo, dinheiro ou meios” (HOUAISS, 2009).

Para que exista a tomada da decisão é necessário conhecer as variáveis envolvidas no processo e como elas se comportam em conjunto. Uma das fontes de conhecimento é o histórico de alocação de recursos, tanto físicos como econômicos da empresa. A partir dos dados de uso dos recursos e da produção, pode-se determinar qual a eficiência da empresa quanto ao uso dos recursos e da produção resultante. O tomador de decisão de posse destas informações consegue observar qual etapa ou recurso está contribuindo para a eficiência ou ineficiência da sua empresa.

Pode-se ainda comparar as eficiências de empresas de um mesmo setor num grupo ou numa região, por exemplo, das empresas agropecuárias de um estado ou de um município.

Sabendo que empresas homogêneas têm eficiências diferentes, busca-se conhecer quais pontos do processo produtivo estão corroborando para tais diferenças e a partir disso buscar corrigir os erros e possibilitar que empresas ineficientes se tornem eficientes.

Uma das formas de se conhecer a eficiência de uma empresa é através do envelopamento dos dados usando para tal as curvas de eficiência, que por sua vez podem ser resultantes de modelos que demonstrem o máximo de produção ou o mínimo de uso dos recursos.

Problemas de maximização e minimização são resolvidos usando programação linear que, somada a outros modelos matemáticos, pode ser usada para mensurar a eficiência de empresas através de envelopamento de dados, recebendo o nome de Análise de Envoltória de Dados, do inglês, *Data Envelopment Analysis* (DEA).

A DEA tem sido bastante utilizada para medir e comparar eficiência de empresas homogêneas em diversos setores. Segundo Gomes e Mangabeira (2004) a DEA sendo utilizada para comparar a eficiência entre as empresas agrícolas torna-se uma importante ferramenta para apoiar a decisão dos administradores.

Neste artigo foi utilizada a DEA para comparação da eficiência de 12 talhões de uma área destinada à produção de soja em uma empresa agrícola a partir de dados econômicos e físicos de cinco safras (1999/2000 a 2003/2004), considerando cada talhão como uma empresa individual. O objetivo desse estudo foi criar uma nova abordagem para o uso de DEA com a finalidade de se comparar talhões de uma empresa rural do ponto de vista da eficiência e indicar quais talhões são padrões de eficiência.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Análise de Envoltória de Dados

As avaliações de produtividade e lucratividade são muito utilizadas como indicadores de eficiência no setor agropecuário, entretanto elas são obtidas apenas pela razão entre a produção e área utilizada, e entre o lucro e o total do valor de produção. Outras medidas podem ser utilizadas para indicar a eficiência tanto física quanto econômica na administração rural.

Entretanto, as medidas de eficiência física e econômicas, como são calculadas por razões entre produto e consumo, não levam em consideração quais recursos estão resultando em tal eficiência, podendo induzir ao uso excessivo dos recursos não incluídos no modelo (GOMES et al., 2003).

A produtividade e a lucratividade são medidas que traduzem a capacidade de um determinado recurso gerar uma quantidade de produto. Por serem calculadas pela razão entre saída e entrada de produto e insumos, essas medidas não podem ser chamadas de medidas de eficiência, sendo apenas medidas de produtividade, onde a eficiência é adimensional (COELLI et al., 2005).

A DEA é um método não-paramétrico baseado na programação linear para determinação da curva de fronteira eficiente e que considera múltiplos fatores e produtos para isso. Por esse motivo tem sido muito utilizada na determinação e comparação entre as eficiências de empresas de um mesmo setor com a grande vantagem de permitir a comparação entre empresas de diferentes escalas de produção.

A abordagem de DEA tem sido utilizada em diversos setores empresariais, educacionais e institucionais, como na aviação (SOARES DE MELLO et al., 2003; ADLER e GOLANY, 2001), na avaliação de fundos de investimento (CERETA e COSTA JUNIOR, 2001) e de vários setores com diferentes enfoques da agropecuária (GOMES, 2008).

Segundo Gomes et al. (2003) a DEA por usar a programação linear, não exige que sejam inseridos dados financeiros, portanto não necessita que os dados físicos

sejam convertidos para unidades monetárias como é o caso de outros modelos de eficiência produtiva.

A DEA foi desenvolvida por Charnes (1978) com o modelo chamado CCR das iniciais dos autores, mais tarde criado o modelo BCC das iniciais de Banker, Charnes e Cooper (1984), ambos criados para mensurar a eficiência de unidades produtivas, chamadas na DEA por Unidades de Decisão (*Decision Making Units – DMU*), estes modelos são os clássicos em DEA.

O modelo CCR é também conhecido como CRS (Constant Returns to Scale) que trabalha com retornos constantes à escala, ou seja, assume proporcionalidade entre produtos e recursos (*inputs e outputs*). Já o modelo BCC ou VRS (Variable Returns to Scale) leva em consideração a escala e assim ao invés de usar uma constante de proporcionalidade entre *inputs e outputs*, ele utiliza um axioma de convexidade. No modelo BCC, uma DMU eficiente não é aquela que tem a maior relação *input/output*, pois leva em consideração a escala de produção (SOARES DE MELLO et al., 2003; GOMES et al., 2003; GOMES, 2008; CERETTA e COSTA Jr., 2001).

No presente estudo o modelo utilizado é o BCC ou VRS, pois deseja-se comparar unidades produtivas de diferentes escalas, no caso, os talhões da empresa agrícola em estudo.

No modelo BCC a fronteira de eficiência é forçada à convexidade, possibilitando que as DMU's com baixos valores de entrada (*inputs*) tenham retornos crescentes de escala, por outro lado, as DMU's com altos valores, podem ter retornos decrescentes de escala, o que o diferencia do modelo CCR. A diferença matemática está na adição de uma restrição ao Modelo de Envelopamento, onde os duais das equações de Programação Linear (PL) originam os modelos BCC dos Multiplicadores (BANKER et al., 1984), previamente linearizados, apresentados em (1), para orientação a *inputs* e (2) para *outputs*.

Nas formulações (1) e (2),  $Eff_o$  é a eficiência da DMU<sub>o</sub> em análise;  $x_{ik}$  representa o *input i* da DMU<sub>k</sub>,  $y_{jk}$  representa o *output j* da DMU<sub>k</sub>;  $v_i$  é o peso atribuído ao *input i*,  $u_j$  é o peso atribuído ao *output j*;  $x_{io}$  e  $y_{jo}$  são os *input i* e *output j* da DMU<sub>o</sub>, respectivamente. Nestes modelos  $u^*$  e  $v^*$  são os fatores de escala: quando positivos, indicam retornos decrescentes de escala; quando negativos, indicam retornos crescentes de escala; quando nulos, indicam retornos constantes de escala.

$$\begin{aligned}
\text{Max } Eff_o &= \sum_{j=1}^m u_j y_{jo} - u_* \\
\text{sujeito a} \\
\sum_{i=1}^n v_i x_{io} &= 1 \\
-\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - u_* &\leq 0, \quad \forall k \\
u \geq 0, v \geq 0, u_* \in \mathfrak{R} &
\end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
\text{Min } Eff_o &= \sum_{i=1}^n v_i x_{io} - v_* \\
\text{sujeito a} \\
\sum_{j=1}^m u_j y_{jo} &= 1 \\
-\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} + \sum_{j=1}^m u_j y_{jk} + v_* &\leq 0, \quad \forall k \\
u \geq 0, v \geq 0, v_* \in \mathfrak{R} &
\end{aligned} \tag{2}$$

As variáveis de fator de escala fazem com que um aumento nos *inputs* possa retornar um aumento proporcionalmente menor nos *output*. Quando isso ocorre, diz-se que a DMU em análise está na região de retornos decrescentes de escala. Caso contrário, ou seja, quando ocorre aumento proporcionalmente maior dos *outputs*, pode-se concluir que a DMU está retornando à escala de forma crescente (GOMES et al., 2003).

Baseados nos modelos clássicos de DEA, existem modelos que auxiliam a discriminação de variáveis e DMU's. Entani et al. (2002) introduziram o conceito da Fronteira Invertida, que de forma simples, é a inversão das variáveis *input* para *output* e vice-versa. Essa inversão cria uma fronteira das DMU's ineficientes, ou seja, uma visão pessimista das unidades analisadas.

Angulo-Meza et al. (2005) apresentaram a implementação de uma ferramenta computacional para utilização dos modelos de DEA baseados em PPLs resolvidos pelo método Simplex, a qual chamaram de SIAD (Sistema Integrado de Apoio à Decisão). Este programa permite utilizar os modelos clássicos de DEA com modelos adicionais implementados, como o modelo de fronteira invertida. Os resultados incluem além das eficiências das DMU's, os pesos, folgas, alvos, e *benchmarks*. Daí a

denominação de apoio à decisão, pois, com essas informações, o administrador além de saber as eficiências das DMUs, pode identificar quais os *inputs* e *outputs* passíveis de otimização comparando com as DMUs eficientes (*benchmarks*).

## 2.2. Análise da eficiência na atividade agropecuária utilizando DEA

Gomes (2008) realizou uma exaustiva revisão sobre o uso de DEA na agricultura, e localizou 158 referências bibliográficas relativas ao uso dessa técnica na agropecuária, onde 43% são estudos destinados à agricultura. Destes, apenas 3 utilizaram para análise de empresas produtoras de grãos (BYRNES et al., 1987; FÄRE et al., 1997; PIESSE et al., 2005). A autora encontrou nesse acervo, 20 artigos brasileiros publicados sobre o assunto, dos quais, apenas um fez uso para comparação de fazendas típicas (HELFAND e LEVINE, 2004), os demais comparam regiões, estados e municípios. Foram encontradas 25 teses e dissertações nacionais utilizando os modelos DEA na agropecuária, sendo 6 especificamente sobre agricultura (BARROS, 2002; CHINELATTO NETO, 2003; COSTA SOBRINHO, 2006; COURA, 2004; SILVA e SAMPAIO, 2002; TORESAN, 1988).

Färe et al. (1997) utilizaram DEA para avaliação da eficiência de uma amostra de 57 fazendas produtoras de grãos do sul do estado de Illinois. Eles utilizaram a produção como *output*, a área de produção, custos com agroquímicos, capital e mão-de-obra como *inputs*. Os autores concluíram que a ineficiência encontrada representa 8% de perda na alocação do recurso terra destinado à produção de grãos.

Para avaliar a eficiência de produtores agrícolas em cooperativas na África do Sul, Piesse et al. (2004) utilizaram a DEA e mostraram que a criação de cooperativas e a retirada de subsídios impostos por políticas discriminatórias, favoreceram um maior desenvolvimento no mercado e na eficiência.

Toresan (1999) usou a DEA para mensurar a eficiência de 167 empresas agrícolas em Santa Catarina, sendo que apenas três apresentaram eficiência máxima e dois terços apresentaram eficiência abaixo de 60%.

Fazendas de diferentes tamanhos, produtoras de grãos da região Centro-Oeste do Brasil foram comparadas por Helfand (2003). Ele observou que a ineficiência aumentava em função do tamanho das empresas com até 200 ha, mas depois a ineficiência voltava a cair, formando uma curva parabólica convexa. O autor concluiu

que as empresas grandes e que tem melhor acesso a políticas de crédito e tecnologia, tem melhores eficiências.

Muitos outros trabalhos apresentam o uso de DEA para diferentes setores do agronegócio, comparando municípios, regiões, estados e grupos de empresas (GOMES, 2008). Entretanto, nenhum registro foi encontrado para utilização de análise de fronteira eficiente usando DEA para estudo de subáreas ou talhões de uma única empresa rural.



## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1. A empresa e os dados

Para análise da eficiência técnica e econômica foram selecionadas 12 áreas da Fazenda Rio Branco, localizada a aproximadamente 50 km da cidade de Maracaju/MS. A empresa detém uma área própria de aproximadamente 2500 ha, mas também arrenda mais algumas áreas circunvizinhas para produção principal de soja na safra de verão. Foi selecionada por indicação da empresa PKS - Consultoria e Agricultura de Precisão, que até então prestava assessoria administrativa. A indicação foi feita baseada no fato de a Fazenda Rio Branco ter uma estrutura física, administrativa e econômica bem organizada, possibilitando o uso dos dados com bastante consistência.

Os talhões são as DMU utilizadas na análise e foram escolhidos entre os demais por não terem sofrido alteração de seu tamanho ao longo das cinco safras analisadas (1999/2000 a 2003/2004).

Os dados de custos e tamanho dos talhões utilizados nos modelos foram extraídos do sistema de demonstrativo resultado do exercício (DRE), estruturado pela empresa PKS.

### 3.2. Os modelos

O alto padrão de qualidade do sistema de informações gerenciais da empresa não demonstra a eficiência das suas unidades de produção. Portanto, com os dados do DRE, foram extraídas as variáveis para estruturação de três modelos para análise de eficiência, o modelo de produção física (eficiência produtiva), o modelo de lucro (eficiência econômica) e o modelo global.

Ambos os modelos utilizaram os mesmos *inputs* que foram: Área (ha), custo com insumos (R\$) e outros custos (R\$).

A variável área (AREA) foi extraída do levantamento topográfico da empresa com uso de GPS.

No item custos com insumos (CInsumos) foram contabilizados os custos cujos registros apresentaram a quantidade realmente utilizada em cada talhão. Foram retirados os custos alguns insumos que são adquiridos e distribuídos em grandes quantidades, pois não foi registrada a quantidade realmente utilizada em cada talhão, foi registrado apenas o rateio de acordo com o tamanho do talhão. Estes foram incluídos na variável Outros Custos (OC). Na variável OC, estão somados os custos fixos, administrativos e os custos com insumos.

A utilização de variáveis financeiras se dá pelo fato de que se fossem usados as quantidades físicas de insumos, seria um grande número de variáveis em relação ao de DMU's, o que é indesejado na DEA. Quando o número de variáveis é muito grande em relação às DMU's, abaixo de 3:1, há uma grande probabilidade de todas as DMU's ficarem na fronteira, resultando em empate das eficiências e conseqüente não discriminação das DMU's (SENRA et al., 2007). Gonzalez-Araya (2003) citado por Gomes et al. (2005), recomendam que a relação DMU's:*Input* deve ser de 4 a 5 por 1.

As variáveis *outputs* foram de acordo com os modelos, ou seja, a variável lucro (LUCRO) e a variável produção (PROD), ou seja, o modelo de LUCRO e o modelo de PRODUÇÃO. Utilizando estas duas variáveis *outputs* em um único modelo, estruturou-se o modelo GLOBAL, o que resulta na análise de eficiência cujo o produto é o lucro e a produção física de grãos.

Para o modelo de produção, foi utilizado o modelo DEA BCC orientado a *inputs* com o modelo adicional da fronteira invertida, devido às diferenças entre os tamanhos das áreas das DMU's e o objetivo que era analisar a eficiência da alocação dos recursos (*inputs*).

Para o modelo de lucro, foi utilizado o modelo DEA BCC orientado a *outputs* com fronteira invertida, pois o objetivo era analisar a eficiência de geração de lucro (*output*). Como não é possível utilizar valores negativos em DEA, foi feita uma translação de eixos quando necessário, essa etapa consiste apenas de somar um valor escalar aos valores de *output*. Foi utilizado o maior valor negativo em módulo como escalar para translacionar o eixo das abscissas, fazendo com que todos os valores de produto se tornassem positivos. Como todos os valores foram adicionados com um mesmo escalar, e sendo o modelo BCC variável à escala, o mesmo se torna invariante à

translação de eixos (SIMAK, 1997), ou seja, a translação não afeta os valores de eficiência.

Foram aplicados os modelos para cada safra individualmente. Os modelos DEA foram aplicados para análise dos dados com uso da ferramenta computacional SIAD (ANGULO MEZA et al., 2005), que fornece todos os resultados da DEA. Foi utilizado o SIAD, versão 3.0, o nome se deve ao termo “Sistema Integrado de Apoio à Decisão”, desenvolvido especificamente para análise de envoltória de dados e vem nessa versão programada com os modelos de fronteira invertida, de multicritério e de seleção de variáveis, além de ser distribuído gratuitamente.

Os resultados de cada safra foram organizados em planilhas eletrônicas para possibilitar a análise comparativa das eficiências entre as safras e a obtenção de gráficos para auxiliar a interpretação. Foi feita análise do comportamento das eficiências nas cinco safras para avaliar a estabilidade e a variação da eficiência entre as áreas, usando estatística descritiva.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Comportamento das eficiências nas cinco safras avaliadas

#### 4.1.1. Modelo de produção

Utilizando o modelo BCC orientado a *inputs* para o modelo de produção, com o modelo adicional da fronteira invertida, apenas uma DMU em cada safra resultou em eficiência máxima (100%). Entretanto, essa mesma DMU não voltou a ter esse nível de eficiência em qualquer outra safra da série. Ocorreu também uma grande oscilação da eficiência nos talhões ao longo das safras, alguns chegaram a alternar entre altas (> 70%) e baixas eficiências (< 70%), fato que pode ser mais facilmente visualizado na Figura 1.

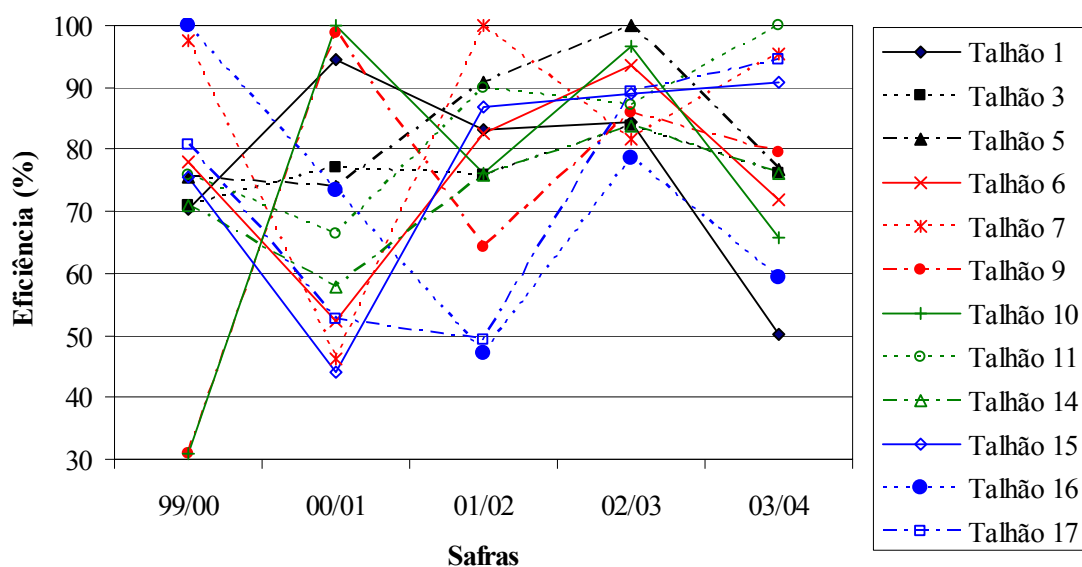


FIGURA 1. Eficiência física obtida do modelo de produção, nas cinco safras, para os respectivos talhões.

Observou-se que exceto para a safra 02/03, o desvio padrão ficou entre 15 e 21%, o que mostra que houve uma grande variabilidade entre os talhões nas safras (Quadro 1).

QUADRO 1. Resumo das eficiências obtidas pelo modelo de produção para as cinco safras e indicadores estatísticos para cada safra e para cada talhão nas safras.

Safras	Eficiência (%)					Estatística				
	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	Média	Desvio	Max	Min	CV (%)
Talhão 1	70	94	83	84	50	77	15	94	50	20
Talhão 3	71	77	76	84	76	77	4	84	71	5
Talhão 5	76	74	91	100	77	83	10	100	74	12
Talhão 6	78	52	83	94	72	76	14	94	52	18
Talhão 7	97	46	100	82	95	84	20	100	46	24
Talhão 9	31	99	64	86	80	72	23	99	31	32
Talhão 10	31	100	76	97	66	74	25	100	31	34
Talhão 11	76	66	90	87	100	84	12	100	66	14
Talhão 14	71	58	76	84	76	73	9	84	58	12
Talhão 15	76	44	87	89	91	77	17	91	44	23
Talhão 16	100	73	47	79	59	72	18	100	47	25
Talhão 17	81	52	49	89	95	73	19	95	49	26
Média	71	70	77	88	78					
Desvio	20	19	16	6	15					
Max	100	100	100	100	100					
Min	31	44	47	79	50					
CV (%)	28	28	20	7	19					

As informações da safra 02/03 mostraram altos rendimentos da cultura, onde os níveis de produtividade foram altos em todas as áreas. Houve também melhores resultados para a eficiência, o que foi revelado pela menor variação de eficiência entre os talhões, sendo a eficiência mínima de 79%, enquanto nas outras safras a mínima ficou entre 31 e 50% (Quadro 1). Ainda para essa safra, os resultados para o modelo de produção apresentaram, exceto para o talhão 16, eficiências acima de 81%. A explicação para a baixa eficiência do talhão 16 foi o alto custo com insumos, especificamente com adubação de base, segundo os dados detalhados de custo, sendo o que teve maior gasto com adubação entre os demais.

Observando os dados do Quadro 1, verifica-se que ocorreram talhões que tiveram menor desvio padrão (Desvio) e menor coeficiente de variação (CV%), foi o caso do talhão 3 (CV = 5%). Essa característica mostra que o talhão apresenta estabilidade ao longo das safras quanto à eficiência que ficou na média de 77%, apesar de não ter chegado a 100% nas safras avaliadas.

No grupo dos talhões com boas características, ocorreram os talhões 5, 7 e 11 com eficiência média de 84% com CV% de 12, 24 e 14%, respectivamente. Apesar do CV% maior, estes talhões tiveram média de eficiência alta e de 100% em pelo menos uma safra (Quadro 1), mostrando uma tendência a serem potenciais em eficiência máxima.

Os demais talhões apresentaram médias menores e alto CV%, revelando instabilidade de eficiência. Essa instabilidade apresentada pelos talhões mostra ao tomador de decisão que estes não são confiáveis para se fazer grandes investimentos.

Os piores resultados foram para os talhões 9 e 10 na safra 99/00. A análise de folga e alvos mostrou que para ambos os talhões houve folga (sobra) na utilização de área e nos insumos. Para o talhão 9, o alvo seria produzir usando 72,2 ha e não 189,54 ha que foram usados, com R\$ 25.285,00 de custos com insumos e não R\$ 64.494,54, e R\$ 20.478,00 de outros custos contra R\$ 47.006,04 que foram consumidos. O talhão 10 seguiu as mesmas proporções. Os resultados para as demais safras estão no Apêndice A.

O modelo de fronteira invertida foi importante para identificar as áreas falsamente eficientes, por terem menor *input* e, ou maior *output*.

#### **4.1.2. Modelo de lucro**

Para o modelo de lucro, a oscilação da eficiência nos talhões ao longo das safras foi superior ao modelo de produção, sendo que todos os talhões apresentaram CV acima de 15%, fato que pode ser mais facilmente visualizado pela Figura 2.

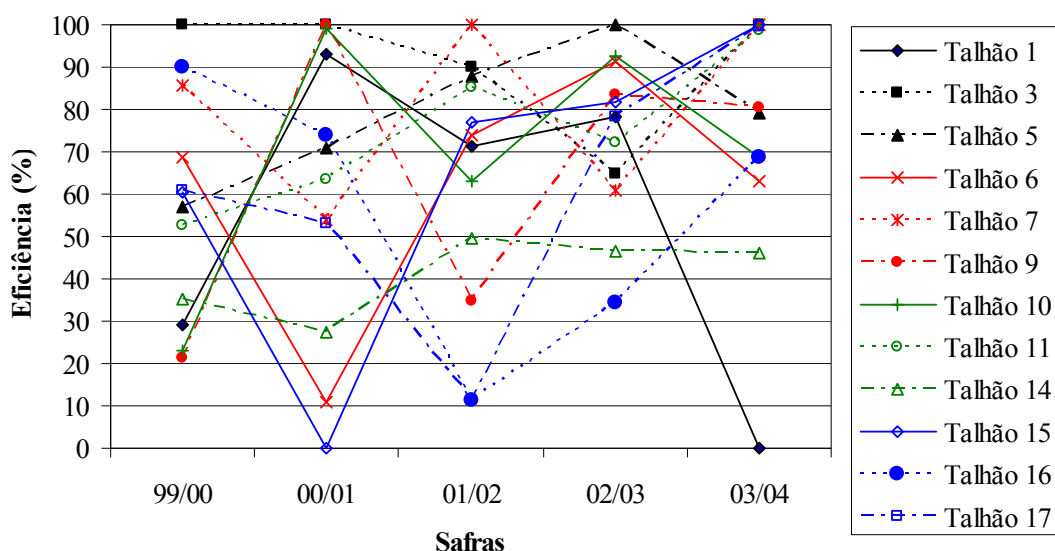


FIGURA 2. Eficiência econômica obtida do modelo de lucro, nas cinco safras, para os respectivos talhões.

Utilizando o modelo BCC orientado a *outputs* para o modelo de lucro, com o modelo adicional da fronteira invertida e translação de eixos, o talhão 3 se destacou por ter obtido a eficiência máxima (100%) em três das cinco safras analisadas (Quadro 2). Além de ter sido eficiente em mais de uma safra, ele ficou com média das eficiências em 91% com um CV de 15%. Entretanto, na safra 02/03 que foi a melhor no modelo de produção, o talhão 3 resultou na sua pior eficiência (65%). Isso mostra o contraste entre eficiência técnica e econômica.

O talhão 3 foi um falso eficiente pelo modelo da fronteira padrão para a safra 02/03 por ser a DMU com menor *input* e por isso não apresentou os resultados de alvos e folgas, que é uma limitação dos modelos convencionais em DEA. Entretanto, pelos dados de custos, pode-se afirmar que os responsáveis por essa queda de eficiência foram os custos com herbicidas dessecantes e a produtividade inferior aos demais.

QUADRO 2. Resumo das eficiências pelo modelo de lucro para as cinco safras e indicadores estatísticos para cada safra e para cada talhão nas safras.

Safras	Eficiência (%)					Estatística				
	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	Media	Desvio	Max	Min	CV(%)
Talhão 1	29	93	71	78	0	54	35	93	0	64
Talhão 3	100	100	90	65	100	91	14	100	65	15
Talhão 5	57	71	88	100	79	79	15	100	57	19
Talhão 6	69	11	74	91	63	62	27	91	11	44
Talhão 7	86	54	100	61	100	80	19	100	54	24
Talhão 9	21	100	35	83	80	64	30	100	21	48
Talhão 10	23	99	63	92	69	69	27	99	23	39
Talhão 11	53	63	85	72	99	74	16	99	53	22
Talhão 14	35	27	50	47	46	41	8	50	27	20
Talhão 15	60	0	77	82	100	64	34	100	0	54
Talhão 16	90	74	11	34	69	56	29	90	11	51
Talhão 17	61	53	11	78	100	61	29	100	11	48
Media	57	62	63	74	75					
Desvio	25	33	29	18	29					
Max	100	100	100	100	100					
Min	21	0	11	34	0					
CV(%)	44	54	46	25	38					

Observou-se que para todas as safras, o desvio padrão das eficiências dos talhões nas safras ficou entre 18 e 33%, evidenciando que houve grande variação entre os talhões nas safras (Quadro 2).

O talhão 5 teve o segundo menor CV (19%), marcado por uma evolução na eficiência até a safra 02/03 com 100% de eficiência, quando caiu para 79% na safra 03/04, finalizando o período com uma média de 79% e quatro anos consecutivos com eficiência superior a 71%. Sendo para o modelo de lucro, um talhão com boa estabilidade e tendência de boas eficiências, semelhante ao talhão 3. Estes dois talhões tiveram destaque também para o modelo de produção, mostrando que são talhões eficientes tanto tecnicamente quanto economicamente.

Na média das cinco safras, os talhões 3, 5, 7 e 11, obtiveram eficiências acima de 70%. Já os demais, apresentaram eficiências baixas, sendo alguns marcados por eficiências zero (0%) no conjunto analisado e com altos valores de CV%.

O talhão 14 resultou nos piores índices, com 41% de eficiência na média das cinco safras e com CV de 20%, o que indica uma tendência a ter baixa eficiência econômica, ou seja, é um talhão de baixo potencial econômico. Seu pior resultado foi para a safra 00/01, com eficiência de 27% e para se deslocar para a curva de eficiência, o modelo indicou o talhão 1 como *benchmark* (Quadro B.2 do Apêndice B), com área



de 241,98 ha, custo com insumos de R\$ 78.620,00 e outros custos de R\$ 64.598,00, para obter um lucro de R\$ 112.361,00 contra R\$ 61.308,00 de lucro observado.

Contrastando, os talhões 1 e 15 foram destacados por safras de eficiência 0% (zero), além de apresentarem os maiores CV, 64 e 54%, respectivamente, indicando alta instabilidade pelo modelo de lucro. Em ambos os casos, a análise dos alvos e folgas aponta para uma redução nos gastos com insumos para alcançar a fronteira de eficiência e conseqüente aumento do lucro.

#### 4.1.3. Modelo global

O modelo global é a sobreposição dos dois modelos e foi analisado com uso do modelo BCC orientado a *inputs*, com o modelo adicional da fronteira invertida e com translação de eixos para a variável lucro.

A análise pelo modelo global apresentou um resultado semelhante ao modelo de produção nos valores de eficiência (Figura 3), com destaque para os talhões 3, 5 e 11, com eficiência média para as cinco safras de 77, 83 e 85%, e CV de 5, 12 e 14%, respectivamente (Quadro 3). Concordando com os modelos isolados, estes talhões apresentam tendência a altas eficiências e estabilidade. A semelhança com o modelo de produção dá um indicativo que o produto físico tem maior peso na análise de eficiência.

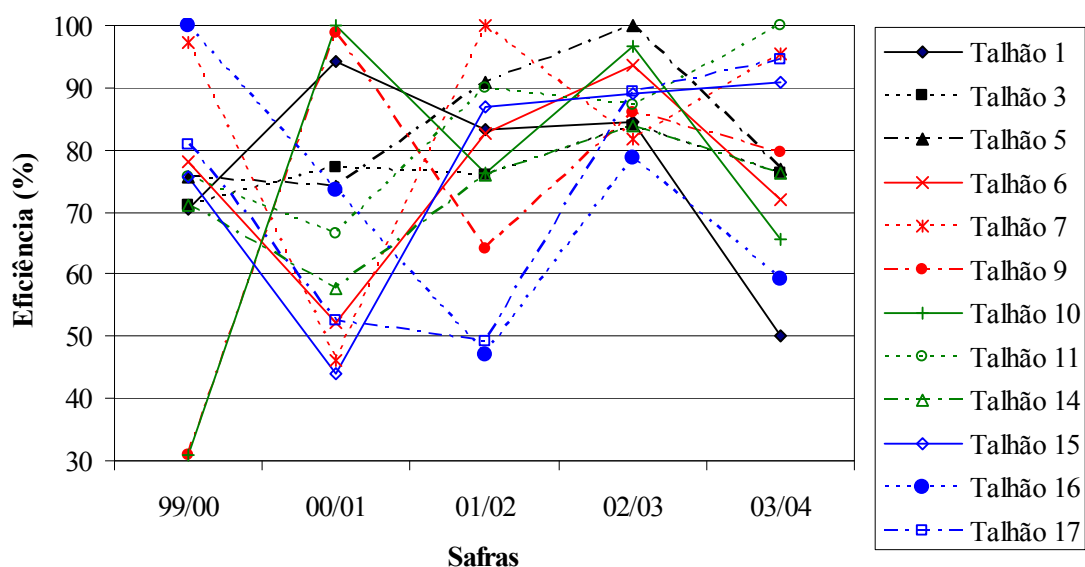


FIGURA 3. Eficiência conjunta obtida do modelo global, nas cinco safras, para os respectivos talhões.

Os talhões 9 e 10 tiveram as eficiências mais baixas entre todo o conjunto, ambos de 31% para a safra 99/00 o que contribui para o alto CV (32%) (Quadro 3), mas logo na safra seguinte obtiveram eficiência máxima e se mantiveram com boas eficiências. Esse resultado ruim pode ter ocorrido por ser o primeiro ano de cultivo nessas áreas, o que normalmente apresenta baixa produção. Isso mostra uma tendência à estabilidade nesses talhões, entretanto as causas da baixa eficiência na primeira safra da série devem ser analisadas para evitar que ocorra novamente. Uma análise nos dados que compõe os custos com insumos mostram um gasto muito alto com herbicida dessecante, o que pode ter levado ao lucro negativo e conseqüentemente baixa eficiência.

QUADRO 3. Resumo das eficiências pelo modelo global para as cinco safras e indicadores estatísticos para cada safra e para cada talhão nas safras.

Safras	Eficiência (%)					Estatística				
	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	Media	Desvio	Max	Min	CV%
Talhão 1	70	94	83	84	50	77	15	94	50	20
Talhão 3	71	77	76	84	76	77	4	84	71	5
Talhão 5	76	74	91	100	77	83	10	100	74	12
Talhão 6	78	52	83	94	72	76	14	94	52	18
Talhão 7	97	46	100	82	95	84	20	100	46	24
Talhão 9	31	99	64	86	80	72	23	99	31	32
Talhão 10	31	100	76	97	66	74	25	100	31	34
Talhão 11	76	66	90	87	100	84	12	100	66	14
Talhão 14	71	58	76	84	76	73	9	84	58	12
Talhão 15	76	44	87	89	91	77	17	91	44	23
Talhão 16	100	73	47	79	59	72	18	100	47	25
Talhão 17	81	52	49	89	95	73	19	95	49	26
Media	71	70	77	88	78					
Desvio	20	19	16	6	15					
Max	100	100	100	100	100					
Min	31	44	47	79	50					
CV(%)	28	28	20	7	19					

As eficiências, alvos e folgas resultantes do modelo DEA global estão completos no Apêndice C. As folgas foram para o recurso área e custos com insumos, mostrando que uma determinada quantidade de produto poderia ser produzida com menos área ou menos gasto com insumos.

A utilização da DEA pode ser melhor explorada quando se tem mais variáveis de recursos físicos utilizados na produção. No estudo atual, outras variáveis poderiam ser utilizadas, como hora máquina, mão-de-obra, e outros recursos que variam de unidade para unidade e, não tem relação direta com o tamanho da área, entretanto, essas informações não foram registradas nos apontamentos fornecidos.

## 5 CONCLUSÕES

O uso de DEA mostrou-se uma poderosa ferramenta para auxílio à tomada de decisão, apontando ao administrador as unidades de decisão, no caso os talhões, que têm tendência a serem mais eficientes e estáveis, e aqueles que são instáveis e onde devem se concentrar esforços para torná-los estáveis e eficientes, se possível.

Usar dois modelos diferentes, um para eficiência técnica e outro para econômica é importantíssimo para reconhecer os talhões que tem comportamentos diferentes entre os modelos, revelando as unidades que são eficientes em um, mas não em outro.

Analisar a variação da eficiência no tempo, mesmo que pela simples estatística descritiva, é importante para estudo do comportamento de estabilidade do talhão quanto à eficiência e para identificar quando uma decisão certa ou errada ocorreu.

Os alvos e folgas foram úteis para mostrar que o mesmo volume de produto poderia ser obtido utilizando menos área e, ou menos insumos. Isso mostrou que a análise DEA pode auxiliar também na decisão de quanto e onde concentrar os recursos.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, N.; GOLANY, B. Evaluation of deregulated airline networks using data envelopment analysis combined with principal component analysis with an application to Western Europe. **European Journal of Operational Research**, v. 132, n. 2, p. 260-273, 2001.

ANGULO MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E.G. ISYDS – Integrated System for Decision Support (SIAD - Sistema Integrado de Apoio a Decisão): a software package for data envelopment analysis model, **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 3, p. 493-503, 2005.

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

BARROS, E.S. **A agricultura Irrigada e a Eficiência Técnica das Empresas Agrícolas no Vale do São Francisco: uma comparação do modelo paramétrico de fronteira estocástica com o modelo não paramétrico DEA-V**. 2002. 86 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE.

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.

CERETTA, P.S.; COSTA Jr, N.C.A. Avaliação e seleção de fundos de investimento: um enfoque sobre múltiplos atributos. **Revista de Administração Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 5, n.1, p. 7-27, 2001.

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

CHINELATTO NETO, A. **Mudança Tecnológica e uso de fatores de produção na agricultura de Minas Gerais, de 1985 a 1995**. 2003. 71 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

COELLI, T.; RAO, D.S.P.; O'DONNELL, C.J.; BATTESE, G.E. 2005. **An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis**. 2.ed. New York: Springer Ebook, 2005. 316 p. Disponível em: <[http://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=NMYB0Mh8ljcC&oi=fnd&pg=PA1&dq=coelli&ots=POBINytnPT&sig=GtjFsPPnZM\\_5vOs-boDRBfB6WCQ#PPA6,M1](http://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=NMYB0Mh8ljcC&oi=fnd&pg=PA1&dq=coelli&ots=POBINytnPT&sig=GtjFsPPnZM_5vOs-boDRBfB6WCQ#PPA6,M1)>. Acesso em: 28 jan. 2009.

COSTA SOBRINHO, G.R.C. **Estudo não-paramétrico da eficiência da agricultura do estado do Paraná**. 2006. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) - Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Cuiabá - MT.

COURA, R.M. **Produtividade total dos fatores na agricultura paulista: 1985-2001**. 2004. 61 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

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.

FÄRE, R.; GRABOWSKI, R.; GROSSKOPF, S.; KRAFT, S. Efficiency of a fixed but allocatable input: a nonparametric approach. **Economics Letters**, v. 56, n. 2, p. 187-193, 1997.

GOMES, E.G. Uso de modelos DEA em agricultura: Revisão da literatura. **Engevista**, v. 10, n. 1, p. 27-51, 2008.

GOMES, E.G.; MANGABEIRA, J.A.C.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B. Análise de envoltória de dados para avaliação de eficiência, caracterização de tipologias em agricultura: um estudo de caso. **Revista de Economia, Sociologia Rural**, v. 43, n. 4, p. 607-631, 2005.

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.

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. Campinas: Embrapa – Monitoramento por Satélite. **Documentos**, 28. 39 p., 2003.

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.

HOUAISS. Dicionário da Língua Portuguesa (Online). 2009. Disponível em: <<http://houaiss.uol.com.br/busca.jhtm?verbete=efici%EAncia&stype=k&x=8&y=10>> Acesso em: 01 de fevereiro de 2009.

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.

SENRA, L.F.A.C.; NANJI, L.C.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; ANGULO MEZA, L. Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 2, p. 191-207, 2007.

SILVA, J.L.M.; SAMPAIO, Y.S.B. A eficiência técnica dos colonos nos perímetros irrigados em Petrolina, Juazeiro: uma análise de modelos de fronteiras de produção. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 33, n. 2, p. 159-179, 2002.

SIMAK, P. C. **DEA based analysis of corporate failure**. 1997. 145 f. Dissertação (Master of Applied Science). Graduate Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto - Canadá.

SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; ANGULO MEZA, L.; GOMES, E.G.; SERAPIÃO, B.P.; LINS, M.P.E. Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 2, p. 325-345, 2003. DOI: 10.1590/S0101-74382003000200005.

TORESAN, L. **Sustentabilidade e desempenho produtivo na agricultura: uma abordagem multidimensional aplicada a empresas agrícolas**. 1998. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC.

### **ARTIGO 3**

**MAPEAMENTO DA EFICIÊNCIA DE TALHÕES DESTINADOS À  
PRODUÇÃO EM UMA EMPRESA AGRÍCOLA INTEGRANDO SISTEMA DE  
INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E ANÁLISE DE ENVOLTÓRIA DE DADOS**



# MAPEAMENTO DA EFICIÊNCIA DE TALHÕES DESTINADOS À PRODUÇÃO EM UMA EMPRESA AGRÍCOLA INTEGRANDO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E ANÁLISE DE ENVOLTÓRIA DE DADOS

## RESUMO

A eficiência é a característica mais almejada por qualquer empresa, não diferente, a empresa agrícola busca com afinco e objetivando respeito ao meio ambiente. Neste trabalho foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas (SIG) para mapear os valores de eficiência obtidos pela análise envoltória de dados (DEA), para os modelos de produção, lucro e global. As parcelas foram os talhões selecionados, considerados como empresas individuais onde cada uma tem um diferente nível de eficiência. Os dados organizados e implantados na plataforma de um SIG foram essenciais para visualização das diferenças das potencialidades dos talhões, determinadas pelas medidas de eficiência.

**Palavras chave:** tomada de decisão, indicador econômico, produtividade, soja.

## ABSTRACT

Efficiency is the most important characteristic for any company. Therefore, the agricultural company looks for this with obstinacy and amiming respect towards the environment. This paper presents the use of Geographic Information System (GIS) to map the efficiency values gotten by the Data Envelopment Analysis (DEA), considering production, profit and global models. The plots were the selected soybean production areas, considered as individual companies since each one has a different efficiency level. The data that was organized and set in the GIS platform was essential for viewing the differences among the potentialities of the areas, determinced by efficiency measures.

**Keywords:** decision making, economic index, productivity, soybean.

## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio é um dos principais componentes do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, mas para que nos dias atuais ele tenha esse nível de importância, foi necessário que um grande esforço fosse direcionado para o aperfeiçoamento do setor.

Muitos profissionais especializados estão direta ou indiretamente ligados ao agronegócio e um dos mais importantes destes é o administrador, que está diretamente em contato com a produção agropecuária. Para que esse profissional e os demais que lidam com os fatores econômicos e produtivos da empresa rural possam realizar seu trabalho com a maior certeza de sucesso, é indispensável que tenha em mãos um excelente sistema de informações.

O bom sistema de informações é aquele que fornece as informações extremamente necessárias à tomada de decisão. Um sistema de informações deve ser objetivo e fornecer tantas informações quanto necessárias para dar suporte ao tomador de decisão. Esse sistema deve ser simples, dotado de interfaces que permitam uma boa interação com o usuário, possibilitando o aproveitamento máximo das informações e com a segurança exigida para um negócio de sucesso.

A agricultura, diferente da maioria dos setores administrativos, é cercada por uma enorme quantidade de variáveis, controláveis e incontroláveis, portanto é indispensável que o administrador tenha o maior controle possível sobre essas informações.

Os sistemas de informações geográficas (SIG) surgem como uma poderosa ferramenta, onde o administrador pode inserir as informações do setor produtivo e localizar essas informações geograficamente. Sendo assim, com o uso do SIG, o tomador de decisão pode acompanhar onde estão ocorrendo os fatos gerenciais e estudar novas maneiras de manejar essas informações levando em consideração a distribuição das mesmas no espaço físico (geográfico).

A informação e a eficiência são características que andam juntas em qualquer setor empresarial. A eficiência é a característica mais almejada por qualquer empresa, não diferente, a empresa agrícola a busca com afincado e objetivando respeito ao meio ambiente, que será consequência de uma administração consciente e eficiente.

Eficiência é uma palavra de origem do latim que significa “virtude ou característica de (uma pessoa, um maquinismo, uma técnica, um empreendimento etc.) conseguir o melhor rendimento com o mínimo de erros e/ou de dispêndio de energia, tempo, dinheiro ou meios” (HOUAISS, 2009).

Para que exista a tomada da decisão é necessário conhecer as variáveis envolvidas no processo e como elas se comportam em conjunto. Uma das fontes de conhecimento é o histórico de alocação de recursos, tanto físicos como econômicos da empresa. A partir dos dados de uso dos recursos e da produção, pode-se determinar qual a eficiência da empresa quanto ao uso dos recursos e da produção resultante. O tomador de decisão de posse destas informações consegue observar qual etapa ou recurso está contribuindo para a eficiência da sua empresa.

Uma das formas de se conhecer a eficiência de uma empresa é através do envelopamento dos dados usando para tal as curvas de eficiência, que por sua vez podem ser resultantes de modelos que demonstrem o máximo de produção ou o mínimo de uso dos recursos.

Os problemas de otimização são resolvidos usando programação linear que, somada a outros modelos matemáticos, pode ser usada para mensurar a eficiência de empresas através de envelopamento de dados, recebendo o nome de Análise de Envoltória de Dados, do inglês, *Data Envelopment Analysis* (DEA).

Este trabalho apresenta o uso do SIG para mapear os valores de eficiência obtidos pela análise envoltória de dados (DEA), para os modelos de produção, lucro e global para cada área de exploração adotada. O objetivo é apresentar uma forma simples para a visualização dos resultados da DEA facilitando as análises administrativas e a tomada de decisão.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

O uso do SIG já é muito difundido na agricultura, sendo uma das principais ferramentas da Agricultura de Precisão. Entretanto, nesse tema, ele é mais utilizado com uma ferramenta de armazenamento de dados do que tomada de decisão. Para que se torne útil como sistema de apoio à decisão é necessário sua integração com modelos matemáticos e gerenciais que manipulem os dados armazenados e retornem novas informações. Soares de Mello et al. (2001) integrando o SIG e a DEA, para estudo da influência da presença de unidades de uma instituição de ensino superior em diferentes municípios, conseguiu, além de determinar a eficiência sobre aspectos de inscritos e aprovados no vestibular, propor novas metas para melhorar essa eficiência.

### **2.1. Sistema de Informações Geográficas (SIG)**

Os SIG's se apresentam como uma poderosa ferramenta para identificação, manipulação e apresentação de características geográficas espaciais e temporais de uma determinada área na superfície terrestre, permitindo assim uma melhor compreensão do espaço geográfico em estudo.

Burrough (1986) define o SIG como um poderoso conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados do mundo real. A conclusão que Cowen (1988) chegou sobre o SIG, foi que este é um sistema de suporte à decisão que integra as informações georreferenciadas com o objetivo de solucionar os problemas em campo.

Scott e Randy (2000) comentam que os SIG's têm como essência trazer dados de diferentes fontes de um mesmo local. Estes dados integrados, desde que corretos, contribuem para a tomada de decisões.

Sano et al. (1998) afirmam que a maior eficiência da adequação ou transferência das tecnologias geradas nas fazendas experimentais depende do conhecimento correto dos recursos naturais das mesmas. Sendo imprescindíveis a

identificação do tipo de solo, o relevo, a geomorfologia e a vegetação, para assim, possibilitar a transferência de tecnologia para outras áreas.

O SIG é o sistema de informação que une as informações gerenciais às informações geográficas, permitindo ao tomador de decisão visualizar onde ocorrem os fatos e com que intensidade (CÂMARA e MEDEIROS, 1998).

O sistema de informação de uma empresa é a ferramenta mais importante para tomada de decisão e gerenciamento com eficiência. Chaumier (1986) citado por Moresi (2000) descreve que o sistema de informações gerenciais tem a finalidade de fornecer informações do ambiente administrativo, tanto interno como externo à empresa e possibilitar o gerente atuar nesse ambiente. Segundo Moresi (2000), um sistema de informações deve fornecer a informação para a pessoa certa, no lugar e na hora certa, e na forma certa.

## **2.2. Análise de Envoltória de Dados**

As avaliações de produtividade e lucratividade são muito utilizadas como indicadores de eficiência no setor agrícola, entretanto elas são obtidas, respectivamente, apenas pela razão entre a produção e área cultivada, e entre o lucro e a receita resultante da produção. Outras medidas podem ser utilizadas para indicar a eficiência tanto física quanto econômica na administração da empresa rural.

Entretanto, as medidas de eficiência física e econômicas, como são calculadas por razões entre produto e consumo, não levam em consideração quais recursos estão resultando em tal eficiência, podendo induzir ao uso excessivo dos recursos não incluídos no modelo (GOMES et al., 2003).

A produtividade e a lucratividade são medidas que traduzem a capacidade de um determinado recurso gerar uma quantidade de produto. Por serem calculadas pela razão entre saída e entrada produto e insumos, essas medidas não podem ser chamadas de medidas de eficiência, são apenas medidas de produtividade, sendo a eficiência adimensional (COELLI et al., 2005).

A DEA é um método não-paramétrico baseado na programação linear para determinação da curva de fronteira eficiente e que considera múltiplos fatores e produtos para isso. Por esse motivo tem sido muito utilizada na determinação e

comparação entre as eficiências de empresas de um mesmo setor com a grande vantagem de permitir a comparação entre empresas de diferentes escalas.

A abordagem de DEA tem sido utilizada em diversos setores empresariais, educacionais e institucionais, como na aviação (SOARES DE MELLO et al., 2003; ADLER e GOLANY, 2001), na avaliação de fundos de investimento (CERETA e COSTA JUNIOR, 2001), vários setores com diferentes enfoques da agropecuária (GOMES, 2008)

Segundo Gomes et al. (2003) a DEA por usar a programação linear, não exige que sejam usados dados financeiros, portanto não necessita que os dados físicos sejam convertidos para unidades monetárias como é o caso de outros modelos de eficiência produtiva.

A DEA foi desenvolvida por Charnes et al. (1978) com o modelo chamado CCR das iniciais dos autores, mais tarde criado o modelo BCC das iniciais de Banker, Charnes e Cooper (1984), ambos criados para mensurar a eficiência de unidades produtivas, chamadas na DEA por Unidades de Decisão (*Decision Making Units – DMU*), estes modelos são os clássicos em DEA.

O modelo CCR é também conhecido como CRS (Constant Returns to Scale) que trabalha com retornos constantes à escala, ou seja, assume proporcionalidade entre produtos e recursos (*inputs e outputs*). Já o modelo BCC ou VRS (Variable Returns to Scale) leva em consideração a escala e assim ao invés de usar uma constante de proporcionalidade entre *inputs e outputs*, ele utiliza um axioma de convexidade. No modelo BCC, uma DMU eficiente não é aquela que tem a maior relação *input/output*, pois leva em consideração a escala de produção (SOARES de MELLO et al., 2003; GOMES et al., 2003; GOMES, 2008; CERETTA e COSTA Jr., 2001).

No presente estudo o modelo utilizado é o BCC ou VRS, pois deseja-se comparar unidades produtivas de diferentes escalas, no caso, os talhões da empresa agrícola em estudo.

No modelo BCC a fronteira de eficiência é forçada à convexidade, isso possibilita as DMUs com baixos valores de entrada (*inputs*) terem retornos crescentes de escala, já do contrário, as DMUs com altos valores, podem ter retornos decrescentes de escala, o que o diferencia do modelo CCR. A diferença matemática está na adição de uma restrição ao Modelo de Envolvimento, onde os duais das equações de PL originam os modelos BCC dos Multiplicadores (BANKER et al., 1984).

As variáveis de fator de escala fazem com que um aumento nos *inputs* possa retornar um aumento proporcionalmente menor nos *output*. Quando isso ocorre, diz-se que a DMU em análise está na região de retornos decrescentes de escala. Caso contrário, ou seja, quando ocorre aumento proporcionalmente maior dos *outputs*, pode-se concluir que a DMU está retornando à escala de forma crescente (GOMES et al., 2003).

Baseados nos modelos clássicos de DEA, existem modelos que auxiliam a discriminação de variáveis e DMUs. Entani et al. (2002) introduziram o conceito da Fronteira Invertida, que de forma simples, é a inversão das variáveis *input* para *output* e vice versa. Essa inversão cria uma fronteira das DMUs ineficientes, ou seja, uma visão pessimista das unidades analisadas.

Angulo-Meza et al. (2005) apresentaram a implementação de uma ferramenta computacional para utilização dos modelos de DEA baseados em PPLs resolvidos pelo método Simplex, a qual chamaram de SIAD (Sistema Integrado de Apoio à Decisão). Este programa permite utilizar os modelos clássicos de DEA com modelos adicionais implementados, como o modelo de fronteira invertida. Os resultados incluem além das eficiências das DMUs, os pesos, folgas, alvos, e *benchmarks*. Daí a denominação de apoio à decisão, pois, com essas informações, o administrador além de saber as eficiências das DMUs, pode identificar quais os *inputs* e *outputs* passíveis de otimização comparando com as DMUs eficientes (*benchmarks*).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo de caso foi realizado na empresa agrícola Fazenda Rio Branco, localizada a aproximadamente 50 km da cidade de Maracaju, MS, nas coordenadas 21°39'22" S e 55°42'00" O, a 526 m acima do nível do mar, com clima Tropical Brasil Central do tipo Cwa pela classificação de Köppen-Geiger (PEEL et al., 2007), com solos classificados como Latossolo Vermelho distroférico (Lv7) (EMBRAPA, 1999) e características visíveis por imagem de satélite, podem ser observadas na Figura 1..



FIGURA 1. Imagem do satélite CBERS 2B com sensor HRC, de 27 de agosto de 2008, apresentando a Fazenda Rio Branco. Fonte: INPE.



### 3.1. Os dados utilizados na análise

As áreas de produção utilizadas no estudo foram selecionadas considerando aqueles que não sofreram modificação no seu formato e tamanho, ou seja, a produção ocupa ao longo dos anos de estudo a mesma área na mesma localização. Considerou-se como parcelas os talhões selecionados, que nesse caso foram compreendidos como empresas individuais com diferentes níveis de medida física e econômica.

Os dados relativos à produção agrícola de soja foram acompanhados e anotados desde a safra 99/00 até 03/04, tendo sido assistidos pela empresa PKS - Consultoria em Agricultura de Precisão. Os dados seguem então uma série histórica de cinco safras, o que permite fazer uma análise do comportamento dos talhões em função do tempo.

As planilhas de controle da propriedade contemplam o registro de todos os insumos utilizados em cada talhão, os custos fixos, custos variáveis, os resultados de produção e comercialização obtidos em cada safra..

### 3.2. DEA e SIG

O fato de a empresa ser bem organizada não quer dizer que toda sua área física retorne o mesmo nível de eficiência. Portanto, com os dados do DRE, foram extraídas as variáveis para estruturação de três modelos para análise de eficiência, o modelo de produção física (eficiência produtiva), o modelo de lucro (eficiência econômica) e o modelo global.

Ambos os modelos utilizaram os mesmos *inputs* que foram: Área (ha), Custo com insumos (R\$) e Outros Custos (R\$). A variável área (AREA) foi extraída do levantamento topográfico da empresa com uso de um sistema de posicionamento por satélite (GPS).

Nos custos com insumos (CInsumos) foram contabilizados os custos cujos registros apresentaram a quantidade realmente utilizada em cada talhão. Foram retirados os custos dos insumos de larga escala, pois não foi registrada a quantidade utilizada em cada talhão, ou seja, foi apenas calculada dividindo o total utilizado na fazenda toda pelo tamanho de cada talhão. Estes foram incluídos na variável Outros Custos (OC).

Na variável OC, estão somados os custos fixos, administrativos e aqueles citados anteriormente.

A utilização de variáveis financeiras se dá pelo fato de que se fossem usadas as quantidades físicas de insumos, seria um grande número de variáveis em relação ao de DMUs, o que é indesejado na DEA. Quando o número de variáveis é muito grande em relação às DMUs, abaixo de 3:1, há uma grande probabilidade de todas as DMUs ficarem na fronteira, resultando em empate das eficiências e conseqüente não discriminação das DMUs (SENRA et al., 2007). Gonzalez-Araya (2003) citado por Gomes et al. (2005), recomendam que a relação DMUs:*Input* deve ser de 4 a 5 por 1.

As variáveis *outputs* foram de acordo com os modelos, ou seja, a variável lucro (LUCRO) e a variável produção (PROD), sendo o modelo global a sobreposição dos outros dois.

Para o modelo de produção, foi utilizado o modelo DEA BCC orientado a *inputs* com o modelo adicional da fronteira invertida, devido às diferenças entre os tamanhos das áreas das DMUs e o objetivo que era analisar a eficiência da alocação dos recursos (*inputs*).

Para o modelo de lucro, foi utilizado o modelo DEA BCC orientado a *outputs* com fronteira invertida, pois o objetivo era analisar a eficiência de geração de lucro (*output*). Como não é possível utilizar valores negativos em DEA, foi feita uma translação de eixos quando necessário, essa etapa consiste apenas de somar um valor escalar aos valores de *output*. Foi utilizado o maior valor negativo em módulo como escalar para translacionar o eixo das abscissas, fazendo com que todos os valores de produto se tornassem positivos. Como todos os valores foram adicionados com um mesmo escalar, e sendo o modelo BCC variável à escala, o mesmo se torna invariante à translação de eixos (SIMAK, 1997), ou seja, a translação não afeta os valores de eficiência.

Foram aplicados os modelos para cada safra individualmente. Os modelos DEA foram aplicados para análise dos dados com uso da ferramenta computacional SIAD (ANGULO MEZA et al., 2005), que fornece todos os resultados da DEA. Foi utilizado o SIAD, versão 3.0, o nome se deve ao termo “Sistema Integrado de Apoio à Decisão”, desenvolvido especificamente para análise de envoltória de dados e vem nessa versão programada com os modelos de fronteira invertida, de multicritério e de seleção de variáveis, além de ser distribuído gratuitamente.

Os resultados de cada safra foram organizados em planilhas eletrônicas para possibilitar a análise comparativa das eficiências entre as safras. Foram calculados os coeficientes de variação (CV %) das eficiências nas cinco safras para cada talhão.

Os dados de eficiência e análises estatísticas das tabelas foram reorganizados em bases compatíveis com o programa computacional IDRISI Andes, utilizado para geração dos mapas geoespacializados.

Tendo as informações de eficiência e CV% de cada talhão, procedeu-se a confecção dos mapas para distribuição espacial dessas informações, respectivamente a cada talhão analisado. Todas as eficiências e o CV% nos mapas foram reclassificados em cinco classes ou faixas. Para se determinar as classes, foi calculada a amplitude total de cada índice ou variável, e a amplitude total foi dividida pelo número de classes (quatro), resultando na amplitude de cada classe. Foram determinados os valores dos limites inferiores e superiores das classes, sendo que o limite inferior da primeira classe foi o menor valor do índice e o limite superior foi calculado somando o valor da amplitude da faixa ao limite inferior, e assim por diante para cada classe ou faixa. Essa divisão por faixas é feita automaticamente pelo programa computacional de IDRISI, bastando apenas escolher qual o número de classes desejado. Pela característica dos dados, o IDRISI não permite a confecção dos mapas com valores únicos ou médios para cada talhão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as análises de eficiência feitas utilizando o programa computacional SIAD e com os resultados organizados em planilhas, foi possível determinar o grau de variabilidade espacial da eficiência entre os talhões.

A Figura 2 apresenta os mapas dos talhões com as respectivas eficiências. A análise com uso de mapas facilita ao tomador de decisão observar as informações de forma mais clara permitindo assim uma melhor compreensão das características que darão apoio à decisão. Observa-se que a safra 99/00 foi a que resultou nas menores eficiências, entre 31 e 44% e a safra 02/03 foi a melhor, com eficiência mínima de 79% (Figura 2d).

Observando os mapas do modelo DEA de produção, orientado a *inputs*, foi possível identificar o talhão 16, que resultou na menor eficiência para as três últimas safras do período analisado (Figura 2c, 2d e 2e), além de apresentar CV acima de 22%, o que indica que é um talhão com tendências a baixa eficiências e com instabilidade temporal.

Por outro lado, o talhão 5 apresentou eficiências médias (>59%) a altas (>89%) em todas as safras e CV inferior a 16%, indicando um talhão com tendência a altas eficiências e baixa instabilidade temporal.

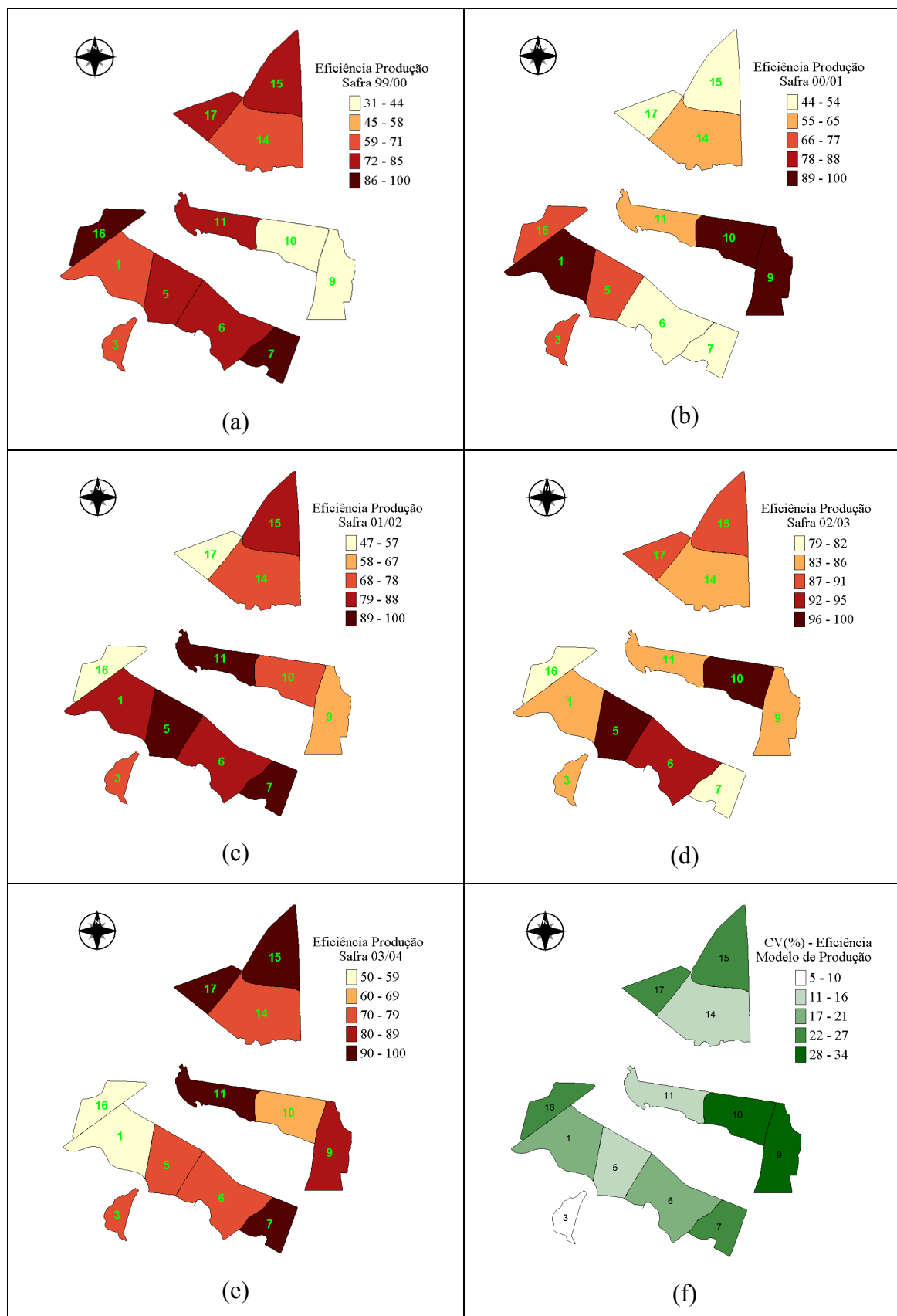


FIGURA 2. (a – e) Mapas das eficiências (%) de cada safra para o modelo de produção das unidades de manejo em estudo; (f) Mapa do CV (%) das eficiências das cinco safras para o modelo de produção.

O modelo DEA de lucro orientado a *outputs* apresentou níveis diferentes de eficiência do que foi observado no modelo de produção. Nesse modelo, os talhões 14 e 16 apresentaram eficiências mínimas ( $< 46\%$ ) nas safras 99/00, 01/02 e 02/03 (Figura 3a, 3c e 3d) e médias ( $< 66\%$ ) nas safras 00/01, 01/02 e 03/04 (Figura 3b, 3c e 3e). O CV do talhão 14 ficou entre 15 e 24% (Figura 3f), indicando que é mais estável no tempo mas com baixas eficiências, indicando um talhão com tendência a esse nível. O talhão 16 apresentou CV entre 44 e 53% (Figura 3f), que em conjunto com os baixos níveis de eficiência, indica tendência a baixas eficiências e instabilidade, o que faz dele um talhão de difícil gerenciamento.

Por outro lado, o talhão 5 apresentou eficiências médias ( $>57\%$ ) a altas ( $>89\%$ ) em todas as safras e CV entre 15 e 24%, indicando um talhão com tendência a altas eficiências e baixa instabilidade temporal, repetindo o resultado do modelo de produção.

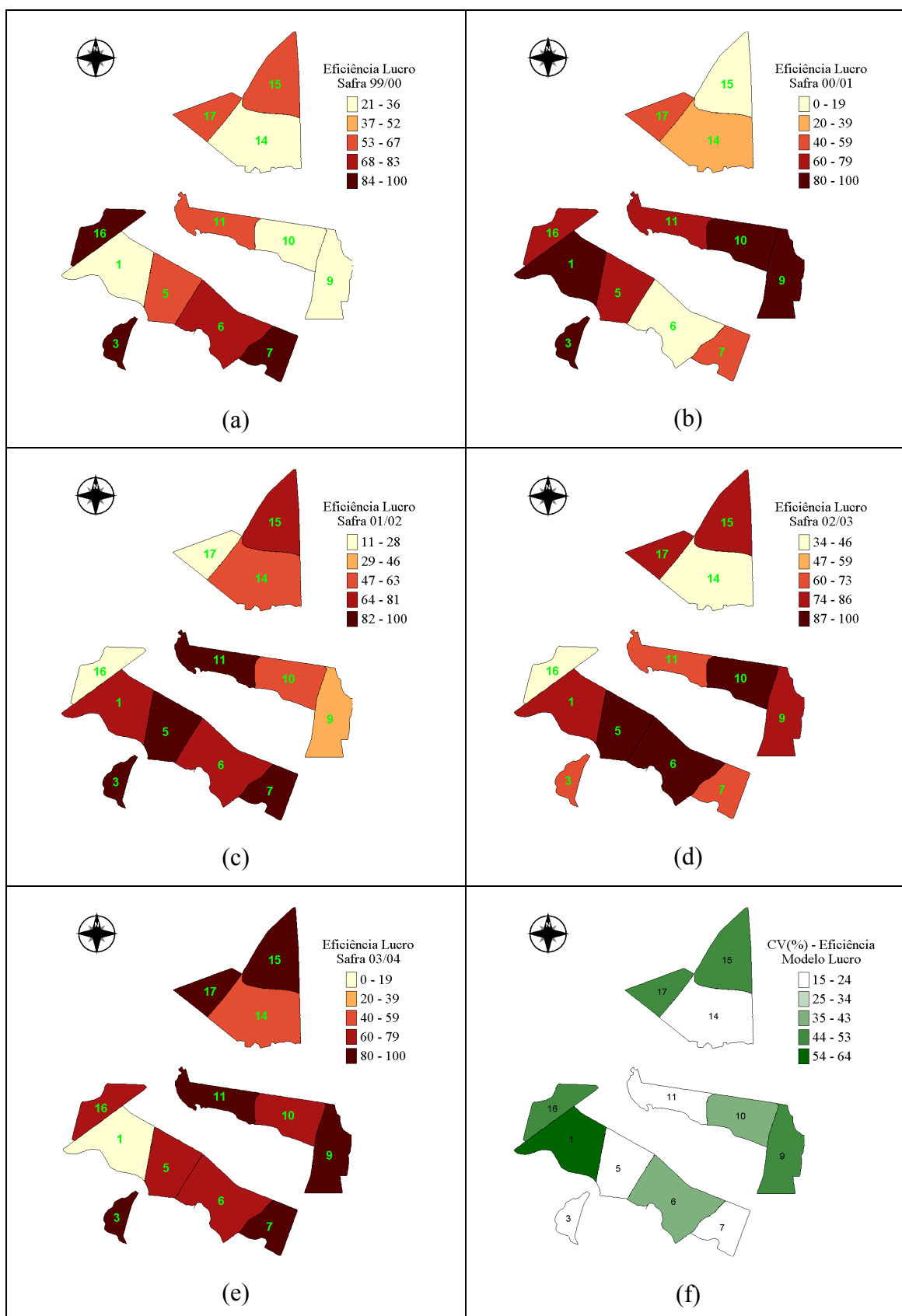


FIGURA 3. (a – e) Mapas das eficiências (%) de cada safra para o modelo de lucro das unidades de manejo em estudo; (f) Mapa do CV (%) das eficiências das cinco safras para o modelo de lucro.

O modelo DEA global, orientado a *inputs*, foi obtido pela utilização dos dois modelos anteriores, entretanto foi mais semelhante ao modelo de produção, por ser orientado a *inputs*. Sendo assim o talhão 16, que resultou na menor eficiência para as três últimas safras do período analisado (Figura 4c, 4d e 4e), além de apresentar CV acima de 22%, o que indica que é um talhão com tendências a baixa eficiências e com instabilidade temporal, repetindo os resultados do modelo de produção.

A mesma tendência seguiu o talhão 5 que apresentou eficiências superiores a 76% em todas as safras e CV inferior a 16%, indicando um talhão com tendência a altas eficiências e baixa instabilidade temporal.



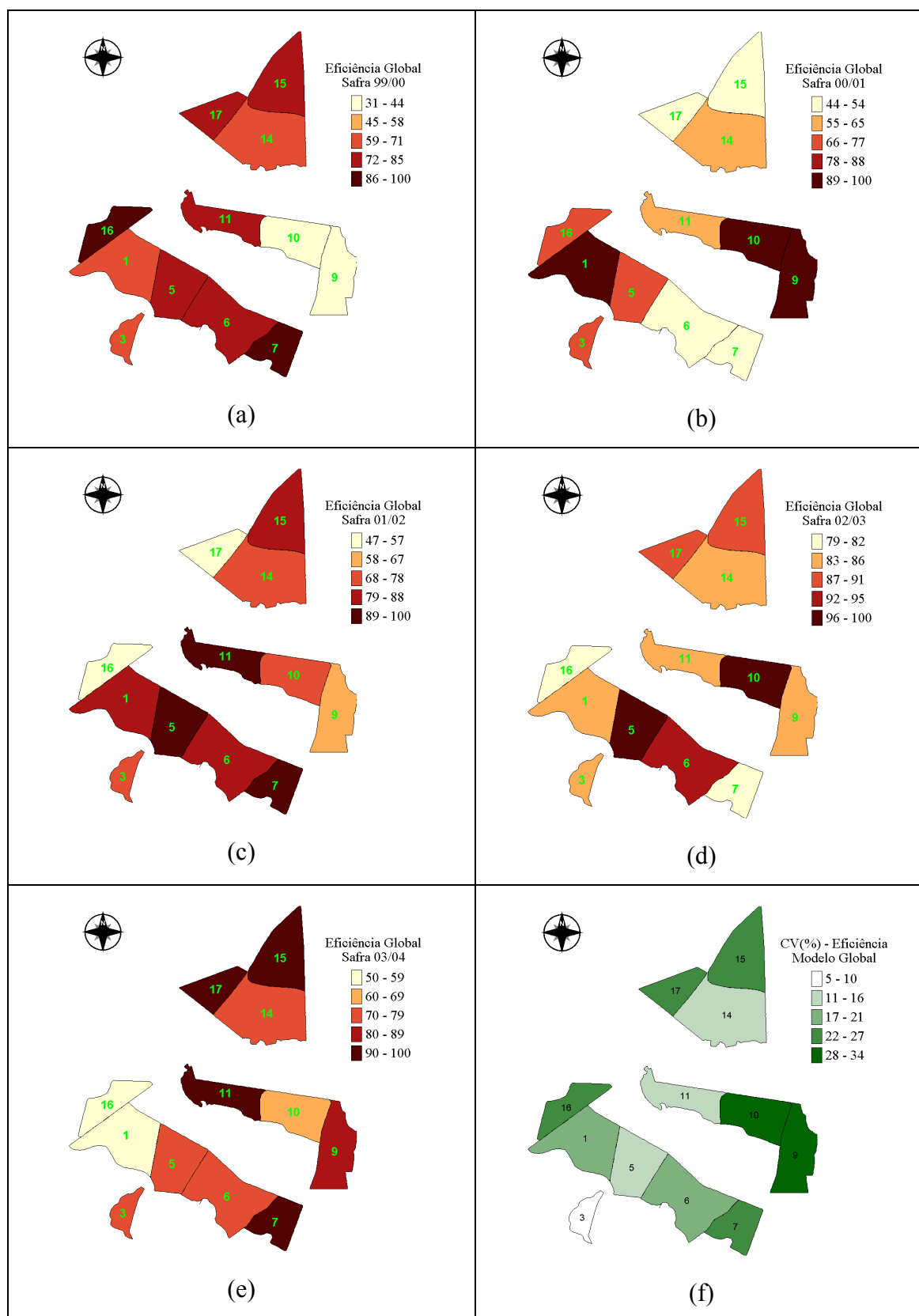


FIGURA 4. (a – e) Mapas das eficiências (%) de cada safra para o modelo global (Produção e Lucro) das unidades de manejo em estudo; (f) Mapa do CV (%) das eficiências das cinco safras para o modelo global

O levantamento e a geoespacialização dos dados mostraram a importância do uso de uma ferramenta computacional na organização e na manipulação de dados de produção para auxiliar o tomador de decisão, compondo o sistema de informação. A informação é o princípio básico da economia e deve ser objetiva, ou seja, quanto mais sintetizada for, melhor ela será. Quando há uma sobrecarga de informação, isto é, informações além do que é necessário poderá conduzir ao retrocesso da informação.

Não foi possível utilizar na análise atual toda a área da propriedade devido à falta de confiabilidade de algumas informações relativas a alguns talhões, por terem sido modificados de tamanho ou forma ou simplesmente por possíveis informações lançadas erroneamente nas planilhas. Isso reforça a importância de se fazer um registro adequado das informações, pois estas são a base para todo o planejamento da atividade agrícola empresarial. Outro objetivo do registro dos dados da empresa é permitir a qualquer momento a utilização desses dados e por qualquer pessoa, sendo assim deve ser feito de forma clara e organizada, ou seja, de forma auto-explicativa.

Deve-se fazer a escolha correta das informações que serão utilizadas para fazer a análise da eficiência da empresa quando se compara suas unidades de manejo.

## 5 CONCLUSÕES

O uso do SIG para visualização das eficiências obtidas na DEA foi simples e forneceu os mapas de eficiências de forma clara e objetiva, facilitando a compreensão do comportamento espacial da eficiência entre os talhões.

O mapeamento mostrou que para uma mesma safra, ocorrem talhões com altas eficiências, mas também outros, muito baixas. Sendo essas diferenças facilmente observadas nos mapas.

Os mapas de CV% foram importantes para mostrar que existem talhões muito instáveis quanto à eficiência, indicando ao tomador de decisão que não é aconselhável fazer grandes investimentos nessas áreas.

O uso de DEA integrado ao SIG mostrou-se uma poderosa ferramenta para auxílio à tomada de decisão, apontando ao administrador as unidades de decisão, no caso os talhões, que têm tendência a serem mais eficientes e estáveis, e aqueles que são instáveis e onde devem se concentrar esforços para torná-los estáveis e eficientes, se possível.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, N.; GOLANY, B. Evaluation of deregulated airline networks using data envelopment analysis combined with principal component analysis with an application to Western Europe. **European Journal of Operational Research**, v. 132, n. 2, p. 260-273, 2001.

ANGULO MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E.G. ISYDS – Integrated System for Decision Support (SIAD - Sistema Integrado de Apoio a Decisão): a software package for data envelopment analysis model, **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 3, p. 493-503, 2005.

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

BURROUGH, P.A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resource Assessment**, Oxford University Press, 1986.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na agricultura**. 2 ed. Brasília: Embrapa – Agropecuária dos cerrados, 1998, p. 3-11.

CERETTA, P.S.; COSTA Jr, N.C.A. Avaliação e seleção de fundos de investimento: um enfoque sobre múltiplos atributos. **Revista de Administração Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 5, n.1, p. 7-27, Janeiro/Abril, 2001.

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

CHAUMIER, J. **Systemes d'information: marché et technologies**. Paris: Enterprise Moderne, 1986.

COELLI, T.; RAO, D.S.P.; O'DONNELL, C.J.; BATTESE, G.E. 2005. **An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis**. 2.ed. New York: Springer Ebook. Disponível em: <[http://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=NMYB0Mh8ljcC&oi=fnd&pg=PA1&dq=coelli&ots=POBINytnPT&sig=GtjFsPPnZM\\_5vOs-boDRBfB6WCQ#PPA6,M1](http://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=NMYB0Mh8ljcC&oi=fnd&pg=PA1&dq=coelli&ots=POBINytnPT&sig=GtjFsPPnZM_5vOs-boDRBfB6WCQ#PPA6,M1)>. Acesso em: 28 jan. 2009.

COWEN, D. J. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences?. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 11, p. 1551–1554. 1988.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.K. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 41, p. 1663-1674, 2006.

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.

FARACO, M.A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, E. A. S.; JOHANN, J. A.; BORSSOI, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 463-476, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000200001.

GOMES, E.G. Uso de modelos DEA em agricultura: Revisão da literatura. **Engevista**, v. 10, n. 1, p. 27-51, 2008.

GOMES, E.G.; MANGABEIRA, J.A.C.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B. Análise de envoltória de dados para avaliação de eficiência, caracterização de tipologias em agricultura: um estudo de caso. **Revista de Economia, Sociologia Rural**, v. 43, n. 4, p. 607-631, 2005.

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.

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. Campinas: Embrapa – Monitoramento por Satélite. **Documentos**, 28. 39 p., 2003.

HOUAISS. Dicionário da Língua Portuguesa (Online). 2009. Disponível em: <<http://houaiss.uol.com.br/busca.jhtm?verbete=efici%EAncia&stype=k&x=8&y=10>> Acesso em: 01 de fevereiro de 2009.

MORESI, E.A.D. Delineando o valor do sistema de informação de uma organização. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 14-24, 2000. DOI: 10.1590/S0100-19652000000100002.

SANO, E.E.; ASSAD, E.D.; MOREIRA, L.; MACEDO, J. Estruturação de dados geoambientais no contexto de fazenda experimental. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na agricultura**. 2.ed.. Brasília: Embrapa, 1998. p. 95.

SANTOS, S.L.M. **Sistema de apoio á decisão em colheita florestal**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

SCOTT, S.; RANDY, T. Predicting grain yield variability using infrared images. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. 6., Minnesota, 2000. **Proceedings**. Minnesota: ASA,CSSA,SSSA Press, 2000. p.208-215.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; DA ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 797-804, 2004. DOI: 10.1590/S0100-06832004000500001.

SENRA, L.F.A.C.; NANJI, L.C.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; ANGULO-MEZA, L. Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 2, p. 191-207, 2007

SIMAK, P.C. **DEA based analysis of corporate failure**. 1997. 145 f. Tese (Master of Applied Science). Graduate Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto - Canadá.

SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; ANGULO MEZA, L.; GOMES, E.G.; SERAPIÃO, B.P.; LINS, M.P.E. Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 2, p. 325-345, 2003. DOI: 10.1590/S0101-74382003000200005.

SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E.G.; LINS, M.P.E.; VIEIRA, L.A.M. Um caso de estudo de integração SIG-DEA-MCDA: a influência de uma instituição de ensino superior em vários municípios do Estado do Rio de Janeiro. **Investigação Operacional**. v. 21, n. 2, p. 171-190, 2001.

TANGEN, S. Understanding the Concept of Productivity. In: 7th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, APIEMS, 2002. Taipei, China. **Anais...** Disponível em: <[http://www.woxencentrum.iip.kth.se/documents/publications/papers/pap\\_Tangen2002-UnderstandingTheConceptOfProductivity.pdf](http://www.woxencentrum.iip.kth.se/documents/publications/papers/pap_Tangen2002-UnderstandingTheConceptOfProductivity.pdf)>. Acesso em: 2 fev. 2009.

## CONCLUSÕES GERAIS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da Análise Envoltória de Dados (DEA) integrada a um Sistema de Informações Geográficas (SIG), metodologia desenvolvida para este trabalho, possibilitou não só determinar as diferenças entre as unidades de manejo (talhões) como também, com uso da DEA, determinar quais são mais eficientes no uso de insumos e na geração do lucro. Além disso, a DEA fornece as informações de folgas e alvos a serem alcançados pelas unidades ineficientes, possibilitando assim uma nova forma de utilizar os dados comuns da empresa para gerar novas informações que não são visíveis *a priori*.

Utilizando o SIG para fornecer os dados e apresentar os resultados, espacialmente distribuídos, apresentou-se uma forma simples de analisar e visualizar os resultados das análises, o que é importante no momento de tomar decisões em meio a um ambiente tão competitivo.

O grande volume de informações não é importante caso elas não sejam registradas para um fim mais nobre como a tomada de decisão. Pouca informação também é prejudicial, portanto, reafirma-se o que já foi citado por outros autores: um sistema de informações é bom quando fornece ao tomador de decisão, as informações necessárias corretas no momento correto.

Por fim, esse trabalho se apresentou inovador no sentido de usar como DMUs os talhões dentro de uma única empresa e integrar o SIG facilitando ao administrador visualizar, armazenar e manejar as informações de eficiência buscando a otimização da empresa toda.

O uso dessas ferramentas não se esgota neste trabalho, sendo necessário o estudo de novas formas de obtenção dos dados que devem ser incluídos nos modelos e desenvolvimento de programas computacionais que possam agregar todo esse ferramental de forma versátil e simples ao empresário do agronegócio buscando assim a otimização do uso dos recursos na agricultura, reduzindo o desmatamento e os impactos nocivos da agricultura ao meio ambiente.



A pedido do autor os Apêndices foram retirados do pdf.