

# EFICIÊNCIA DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA DE CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO ENTRE AS SAFRAS 1990/1991 A 2005/2006

Fábio R. Marin<sup>1</sup>; Gustavo L. Carvalho<sup>2</sup>; Eduardo D. Assad<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, Pesquisador, Embrapa Informática Agropecuária, Campinas-SP – Fone 19 3211-5789, [marin@cnpia.embrapa.br](mailto:marin@cnpia.embrapa.br);  
<sup>3</sup>Geógrafo, Mestrando em Física do Ambiente Agrícola, ESALQ/USP, Piracicaba-SP

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG

**RESUMO:** O objetivo do presente trabalho foi mapear a eficiência produtiva ao longo de 16 safras agrícolas, analisando a importância relativa do clima e do solo e inferindo sobre os aspectos socioeconômicos e conjunturais que interferem na sua composição. Admitiu-se que a energia disponível pode ser dada pela produtividade atingível estimada por modelos de simulação baseados em variáveis ambientais, enquanto que a produtividade observada representaria a energia efetivamente utilizada no processo. Os elementos climáticos explicaram 43% da variabilidade da eficiência da produção agrícola de cana-de-açúcar, na seguinte ordem de importância: radiação solar, deficiência hídrica, temperatura máxima, precipitação e temperatura mínima. Observou-se que o solo explicou 15% da variabilidade da eficiência, na média de todas as safras. Analisando a variação temporal dessa correlação, notou-se uma alteração no padrão de correlação a partir da safra 2001/2002. Em média, 42% da variabilidade da eficiência da produção de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo foram explicadas por outros fatores, além do clima e do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem; Clima; Solo; Produtividade e variabilidade espaço-temporal

## SUGARCANE CROP EFFICIENCY IN THE SÃO PAULO STATE ALONG 1990/1991 TO 2005/2006 GROWING SEASONS

**ABSTRACT:** This paper aimed to map the crop efficiency over 16 growing seasons, examining the relative importance of climate and soil and inferring on how the socio-economic aspects interfering in the composition of the sugarcane crop efficiency and its spatial and temporal variability. It was observed that the climatic factors explained 43% of the variability of sugarcane crop efficiency, in the following order of importance: solar radiation, water deficit, maximum air temperature, precipitation, and minimum air temperature. Soil explained 15% of the efficiency variability of the sugarcane crop efficiency, also considering the average of all seasons. Analyzing the temporal variation of this correlation, it was noticed a change in the pattern of correlation from the 2001/2002 season. The consumption of fertilizer was used to support some inferences made in this context. On average, 42% of the variability of efficiency of production of sugarcane in São Paulo state was explained by other factors. Based on this, it was inferred that prices paid by sugarcane have a great influence on the composition of the crop efficiency.

**KEYWORDS:** Modelling; Climate; Soil; Yield; Spatial and temporal variability

**INTRODUÇÃO:** A cana-de-açúcar é uma das culturas mais importantes na agricultura brasileira da atualidade. Na safra de 2008/2009, a produção brasileira superou 578 milhões de toneladas, ocupando área de cerca de 8,9 milhões de hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2008).

O Brasil, atualmente, lidera tanto em volume de produção como em tecnologia associada à produção agrícola e industrial de etanol. Para manter-se nesta posição de liderança no médio e longo prazo, contudo, é necessário ampliar o conhecimento nas diversas áreas envolvidas na produção do etanol e, talvez o mais carente de estudos, seja o setor agrícola.

Contudo, uma dificuldade no estudo de sistemas de produção agrícola é estabelecer um indicador confiável que permita diagnosticar os sistemas produtivos regionais e compará-los dentro de um mesmo critério de avaliação que envolva aspectos de clima, solo e fatores socioeconômicos. Uma das abordagens para análise multidisciplinar de sistemas produtivos é o da eficiência da produção agrícola, conceito derivado da termodinâmica por Monteith (1972, 1977).

Este trabalho representa uma ampliação da abordagem de eficiência agrícola desenvolvido por Marin et al. (2008), através do mapeamento da eficiência da produção agrícola da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo entre 1990 e 2006, analisando sua variabilidade espaço-temporal, e buscando identificar seus fatores determinantes.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Foram utilizados de produtividade observada obtida junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, disponíveis no Sistema de Recuperação Automática ([www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br)), para as safras de 1990/1991 até 2006/2007, considerando todos os municípios do Estado de São Paulo. Os dados meteorológicos necessários para as estimativas foram obtidos junto ao Sistema de Monitoramento Agrometeorológico do Brasil – Agritempo (EMBRAPA INFORMATICA AGROPECUARIA, 2002) e as séries de dados foram constituídas de modo a simular três diferentes condições de manejo em cada safra, sendo a primeira compreendida entre abril e março do ano seguinte, buscando representar uma soqueira de corte precoce; a segunda entre julho de um ano até junho do ano seguinte, representando as soqueiras de corte no meio da safra; e a terceira entre outubro e setembro. Para cada safra, o valor final de produtividade foi considerado como a média aritmética dessas três simulações.

Buscando incluir o solo no âmbito das simulações, inseriu-se uma correção ao procedimento de cálculo acima descrito, buscando diferenciar os ambientes pedológicos quanto à sua aptidão para cana-de-açúcar. Assim, foi utilizado o conceito de ambiente de produção discutido em Prado (2005) (Tabela 1) em associação ao mapa de aptidão agrícola para cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo produzido por Ramos et al. (2007) (Figura 1). Neste trabalho, as faixas de produtividade foram normalizadas em relação ao valor máximo apresentado por Prado (2005), obtendo-se então valores relativos que representariam a perda de produtividade potencial em função do tipo de solo.

Tabela 1 - Fatores de correção para produtividade estimada em função do tipo de solo

Aptidão	Fator de correção
Boa	1,00
Regular	0,94
Restrita	0,84
Inapta	0,74

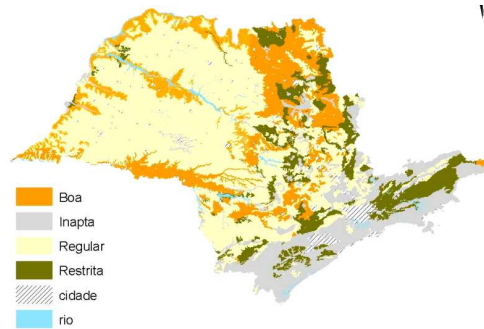


Figura 1 - Aptidão agrícola das terras no Estado de São Paulo. Fonte: Ramos et al. (2007)

A determinação da eficiência da produção agrícola segundo a adaptação aqui proposta foi feita pela “divisão” dos valores de cada pixel da imagem referente à produtividade observada (gerada a partir dos dados do IBGE) pelos valores de cada pixel correspondente da imagem referente à produtividade atingível estimada. Assim, a partir das imagens de produtividade observada e atingível, gerou uma terceira imagem correspondente a eficiência produtiva da cana de açúcar. Este procedimento foi repetido para cada safra, obtendo-se um conjunto de 16 mapas de eficiência produtiva para o período analisado.

Para a ponderação da importância relativa do solo sobre a eficiência da produção de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, utilizando técnicas de geoprocessamento, obteve-se um valor médio de eficiência produtiva para cada município do Estado de São Paulo, para cada ano agrícola. Com base nesse conjunto de valores, fez-se a análise de correlação entre os valores de eficiência e a aptidão do solo, quantificando-se a fração da variabilidade espacial da eficiência de produção agrícola da cana que poderia ser explicada a partir da aptidão dos solos do Estado de São Paulo.

Para tanto, as classes de aptidão de solo foram convertidas em valores de 1 a 4, correspondente as classes boa, regular, restrita e inapta, respectivamente. Com isso, criou-se um par de dados composto pela eficiência e pelo tipo de solo, para cada município e para cada ano agrícola. A análise estatística propriamente dita para o solo foi feita com o método de Spearman (SNEDECOR; COCHRAN, 1982), desenvolvido para análise de correlação de variáveis discretas, como é o caso do solo neste trabalho.

Para as demais variáveis – temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação anual, deficiência hídrica e radiação solar – repetiu-se o procedimento acima descrito, utilizando o referido método de Pearson, para a quantificação da correlação entre a eficiência da produção agrícola e as variáveis supracitadas. A estimativa da produtividade atingível foi feita através do Método da Zona Agroecológica desenvolvido por Doorembos e Kassan (1994) e adaptada por Marin et al. (2008) para estimativa na escala decencial e utilizando dados de radiação solar e temperatura média do ar.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Considerando a média geral do Estado de São Paulo, a eficiência da produção de cana-de-açúcar subiu de 0,42 para 0,57 entre as safras de 1990/1991 a 2005/2006, com aumento da produtividade média do Estado de  $12 \text{ t ha}^{-1}$  no mesmo período (Figura 2).

De acordo com a Figura 2, observou-se um aumento expressivo especialmente nos últimos 6 anos da série analisada, provavelmente como resultado da expansão no consumo de etanol em decorrência, principalmente do surgimento da tecnologia que possibilitou o uso de veículos bi-combustível, da variação relativa dos preços do etanol

e da gasolina e o aprofundamento das discussões envolvendo o uso de combustíveis renováveis, dando novo impulso ao etanol (GOLDEMBERG; 2007; MACEDO, 2007). Também foi possível verificar que, para cada ponto percentual de aumento na eficiência de produção de cana, tem-se um acréscimo de 0,8 t ha<sup>-1</sup> em média para todo o Estado, o que representa um valor expressivo se considerada a área de cana-de-açúcar cultivada no Estado de São Paulo. Com isso, pode-se inferir que onde um aumento de 1% representa um aumento de cerca de 2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. Este dado também ganha importância na medida em que se discute a racionalização da expansão da cana-de-açúcar, uma vez que o aumento da produtividade poderia suprir em grande parte a demanda por açúcar e etanol no mercado interno e externo, minimizando a necessidade de expansão das áreas produtoras.

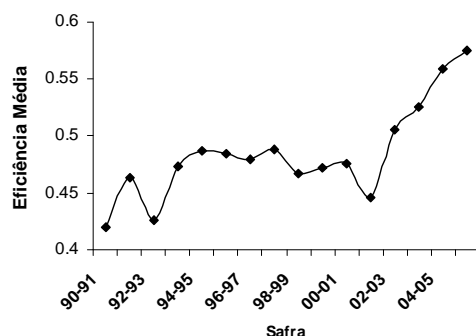


Figura 2 - Variação da média de eficiência de produção agrícola da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo da safra de 1990/1991 a 2005/2006

Os mapas de eficiência da produção de cana-de-açúcar em São Paulo ao longo das 16 safras estudadas (Figura 3) indicam que a elevação da eficiência foi mais expressiva nas regiões centro-oeste e norte do Estado de São Paulo, uma vez que a expansão das usinas ocorreu prioritariamente nessas regiões.

Entre as safras 1990/1991 e 1995/1996, a elevação na eficiência é relativamente baixa tendo em vista as condições macroeconômicas relativamente desfavoráveis à produção da cultura no período, principalmente devido à queda no preço e no consumo de álcool no país (GOLDEMBERG et al., 2007). A partir da safra 2002/2003, contudo, nota-se uma modificação no padrão de variação, com o início do novo ciclo do álcool no mercado nacional e também no exterior, favorecido principalmente pela alta no preço do petróleo e pelo incentivo a expansão da biomassa na matriz energética do Brasil (MARIN et al., 2008).

De forma geral, nota-se uma tendência de elevação das áreas com maior eficiência e de diminuição das áreas de baixa eficiência. As análises de correlação indicaram que o clima respondeu por cerca 43 % da variabilidade da eficiência da produção agrícola no Estado de São Paulo, enquanto que o solo é responsável por 15% dessa variabilidade, na média geral do Estado. Os 42% relacionados aos demais fatores além do clima e do solo, por sua vez, são muito dependentes de condições conjunturais e momentâneas, decorrentes de políticas públicas, preços de insumos, rentabilidade da atividade e situações específicas de mercado. Neste sentido, pode exemplificar com a variabilidade de preços pagos pela tonelada de cana-de-açúcar e a conjuntura sócio-econômica deste cultivar ao longo da década de 90 até o ano de 2006 que passou por profundas modificações estruturais e normativas no setor. Dentro deste contexto, também vale ressaltar que o melhoramento genético e o avanço nas técnicas de manejo da cultura também estão incluídos neste percentual.

**CONCLUSÃO:** A eficiência de produção agrícola de cana-de-açúcar aumentou ao longo do período de 1990 a 2006, saindo de 0,42 para 0,58, com aumento expressivo principalmente nas áreas de cultivo com eficiência acima de 80%, indicando intensificação no processo produtivo ao longo do período analisado.

O solo explicou, em média, 15% da variabilidade da eficiência de produção de cana-de-açúcar no Estado, indicando a existência de dois padrões de correlação entre essas variáveis – o primeiro no período que vai de 1990 a 2001 e o segundo a partir de 2002.

Em média, 42% da variabilidade da eficiência da produção de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo foram explicadas por outros fatores, além do clima e do solo, inferindo-se a partir disso que aspectos socioeconômicos, especialmente os preços pagos pelo açúcar e a demanda pelo etanol exercer papel de maior importância.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

ALFONSI, R.R.; PEDRO JR., M.J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, U. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 42-55.

DOOREMBOS, J.; KASSAN, A.H. **Efeitos da água no rendimento das culturas**. Roma: FAO, 1994. 212 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal**. 2002. Disponível: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2002/default.shtm>>. Acessado em: 30 Jun. 2008.

LIU, D.L.; BULL, T.A. Simulation of biomass and sugar accumulation in sugarcane using a process – based model. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 144, p. 181-211, 2001.

MACEDO, I.C. Situação atual e perspectivas do etanol. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 157-165, 2007.

MACHADO, E.C. Fisiologia da produção da cana-de-açúcar: crescimento. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, 431 p.

MARIN, F.R.; LOPES-ASSAD, M.L.; ASSAD, E.D. ; VIAN, C.E.; SANTOS, M.C. Sugarcane crop efficiency in two growing seasons in São Paulo State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 1449-1455, 2008.

MONTEITH, J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, v. 9, p. 747-766, 1972.

MONTEITH, J.L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transaction of the Royal Society of London**, London, v. B281, p. 277-294, 1977.

PRADO, H. Ambientes de produção da cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil. **Informações Agronômicas**, Ribeirão Preto, n. 110, 2005. 6 p.

RAMOS, I.C.; LOPES-ASSAD, M.L.C.; MARIN, F.R. **Aptidão das terras do Estado de São Paulo para cana-de-açúcar: relatório**. São Carlos: UFSCar, 2007. 21 p.

RICHARDSON, C.W.; WRIGHT, D.A. **WGEN: a model for generating daily weather variables**. Washington: USDA, Agriculture Research Service, 1984. 83 p. (ARS, 8).

SNEDECOR, G.; COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. 7<sup>th</sup> ed. Ames: Iowa State University Press, 1982. 507 p.