

ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO BASEADO EM MODELO FENOLÓGICO-ESPECTRAL

CRISTINA R. NASCIMENTO¹ & JURANDIR Z. JUNIOR²

¹Eng. Agrônoma. Doutoranda da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI/UNICAMP). Cidade Universitária Zeferino Vaz, Distrito de Barão Geraldo. 13083-970. Campinas-SP. Fone/fax: 19-35211127. Email: cristina@cpa.unicamp.br

²Pesquisador do Centro de Pesquisa Meteorológica e Climática Aplicada à Agricultura (CEPAGRI/UNICAMP). Email: jurandir@cpa.unicamp.br

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

RESUMO: Apesar da importância econômica e social do agronegócio para o Brasil, ainda é difícil estimar a produção das suas principais culturas agrícolas, o que ainda representa um grande desafio para o país. Assim, este trabalho tem o objetivo de avaliar uma metodologia baseada na utilização de um modelo espectral-fenológico associado ao ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar proposto por PELLEGRINO (2001) e da série temporal de imagens NDVI/AVHRR. Os testes foram realizados para três safras agrícolas (2003/2004, 2004/2005, 2005/2006) e quatro municípios localizados no estado de São Paulo (Jaboticabal, Pitangueiras, Ribeirão Preto e Sertãozinho), situados na principal região produtora. Os valores de referência para produtividade foram fornecidos pelo IBGE (Instituto Nacional de Geografia e Estatística). A metodologia utilizada parece ser útil para o apoio operacional e oficial de sistemas de acompanhamento das culturas e previsão de safras. Os erros relativos (%) foram inferiores a 5% com a aproximadamente 110 a 150 dias de antecipação à colheita (próxima safra).

PALAVRAS-CHAVE: NDVI, ano-safra, dias após o corte, massa seca dos colmos.

ESTIMATION OF SUGAR CANE PRODUCTIVITY IN THE STATE OF SAO PAULO BASED PHENOLOGICAL-SPECTRAL MODEL

ABSTRACT: Despite the economic and social importance of agribusiness in Brazil, the accurate estimation of the production of its main agricultural crops, such as sugar cane, is still a big challenge to the Country. Thus this work has the objective to assess a methodology based on the use of a spectral-phenological model proposed by Pellegrino (2001) and a time series of NDVI/AVHRR values. The tests were performed for three seasons (2003/2004, 2004/2005, 2005/2006) and four municipalities located in the State of Sao Paulo (Jaboticabal, Pitangueiras, Ribeirao Preto and Sertaozinho) that is the main producer of sugar cane in Brazil. Reference values for productivity were provided by the IBGE (National Institute of Geography and Statistics). The methodology used seems to be useful to support operational and official systems of crop monitoring and forecasting since the estimation errors were less than 5% and the anticipation was from 110 to 150 days before the harvest.

KEYWORDS: NDV, crop seasons, days after harvest, dry weight of stalks.

INTRODUÇÃO: O Brasil é, hoje, o principal produtor de cana-de-açúcar do mundo. Segundo a CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) a safra 2007/2008 de cana-de-açúcar no estado de São Paulo aponta aumento do volume produzido, totalizando 387,5 milhões de toneladas, 18,3% a mais em relação à safra anterior (2006/2007), que foi de 327,7 milhões de toneladas. Apesar da evolução e importância econômica e social do agronegócio para o Brasil, existe, ainda, uma grande dificuldade em estimar com a precisão e a antecipação necessárias a safra das suas principais culturas o que justifica o estudo e a elaboração de metodologias empregando o sensoriamento remoto para essa finalidade. Dentre os vários sistemas orbitais existentes atualmente, os satélites da série AVHRR/NOAA têm grande potencial de aplicação em métodos operacionais e objetivos de previsão de safras. O CEPAGRI (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicada à Agricultura) opera um sistema de recepção destas imagens desde 1995, totalizando, aproximadamente 40, 000, em janeiro de 2009. A utilização de um grande volume de dados é útil para reduzir as limitações do AVHRR/NOAA quanto à sua resolução espacial, em aplicações de real interesse prático, como o apoio à estimativa de safras agrícolas com maior objetividade e antecipação. Além disso, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto aplicadas a sensores de moderada e baixa resolução espacial e alta frequência temporal é fundamental para a obtenção de informações atualizadas de regiões extensas, o que tem dado origem à procura de novas técnicas de processamento e análise para este tipo de informação (PARDI LACRUZ, 2006). Sendo assim o presente trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento produtivo da cana-de-açúcar através da exploração de informações da série temporal de imagens AVHRR/NOAA, em função da resposta do índice de vegetação NDVI no fornecimento de informações objetivas da produtividade da cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS: Foram utilizadas séries temporais de imagens NDVI para os municípios de Jaboticabal, Pitangueiras, Ribeirão Preto e Sertãozinho nas safras 2003/2004, 2004/2005 e 2005/2006 (considerou-se ano-safra o período de abril um ano a março do ano seguinte). As imagens do sensor AVHRR/NOAA-17, obtidas da base de dados do CEPAGRI, foram processadas no sistema NAVPro (ESQUERDO et al.,2006). Para evitar misturas entre duas ou mais coberturas vegetais na determinação do NDVI, foram utilizados como referência terrestre na identificação das áreas com cana-de-açúcar, três mapeamentos. O primeiro corresponde à safra 2001/2002 realizado por PONTES (2003) e os dois restantes correspondem às safras 2005/2006 e 2006/2007, respectivamente, realizado pelo projeto CANASAT/INPE (INPE, 2008). Cada mapeamento foi desenvolvido utilizando-se imagens do satélite LANDSAT-7, sensor ETM+, para a cena 220/75. A obtenção da produtividade final da cultura, através do modelo espectral-fenológico, está baseada em três equações que correlacionam dados de produção instantânea, ou massa seca dos colmos (MSC), medida um determinado número de “Dias após o corte” (D). A base do modelo proposto por PELLEGRINO (2001) está representada na Equação 1.

$$MSC=NDVI*(-325,394)+D*17,1384+(-963,69) \quad R^2=0,9567 \quad \text{Eq.1}$$

A variável “Dias Após o Corte” (D) funciona como fator de ponderação do NDVI e representa os dados meteorológicos transformados em Graus-Dia ou na relação Evapotranspiração Real/Evapotranspiração Potencial, mais comumente utilizados em trabalhos de estimativa de Produção. As variáveis numéricas representam os coeficientes de ajuste do modelo. A partir da Equação 1 é calculada a estimativa da produtividade final com base no modelo de crescimento fenológico adaptado para a cultura (Equações 2 e 3).

$$MSC_{prop} = 1.309664 * 10^{(-16)} * D(11,33342 - 1,995582 * \log(D)) \quad R^2 = 0,9866 \quad \text{Eq.2}$$

A MSC_{prop} é a Massa Seca dos Colmos Proporcional, ou seja, normalizada em relação a MSC (Massa Seca dos Colmos). Esta equação ressalta o comportamento da cultura ao longo do seu ciclo de crescimento e procura minimizar a expressão das diferentes condições meteorológicas, que seria a responsável principal pelas diferenças na produção final entre os ciclos (safra), em função do termo “D”. A última etapa é o cálculo da Massa Seca Máxima do Ciclo (MSC_{max}) para cada ano-safra e que resultará na estimativa final da produtividade.

$$MSC_{max} = MSC / MSC_{prop} \quad \text{Eq.3}$$

A partir da avaliação do perfil temporal do NDVI dos municípios selecionados, foi definido a variação decendial do parâmetro “D” entre 71 e 365 dias, ou seja, entre os meses de junho e março. Este período está diretamente relacionado com a diminuição e o aumento dos valores do NDVI, respectivamente representando o período de colheita e o crescimento vegetativo da cultura. A produtividade de referência foi calculada utilizando os dados oficiais de produção e de área plantada disponível na página do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em <http://www.ibge.gov.br> (IBGE, 2008). O cálculo do erro relativo, em porcentagem, entre a estimativa de produtividade obtida com o modelo e a estimativa oficial fornecida pelo IBGE por município foi obtido a partir da Equação 4.

$$\text{Erro (\%)} = ((\text{Prod}_{IBGE} - \text{Prod}_{MODELO}) / (\text{Prod}_{IBGE})) * 100 \quad \text{Eq.4}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO: No período de abril de 2003 a março de 2006 foram processadas 399 imagens: 134 na Safra 2003/2004, 93 na Safra 2004/2005 e 172 na Safra 2005/2006. Aplicando-se os dados de NDVI e Dias Após o Corte (variando num intervalo de 71 a 365 dias – junho a março) à Equação 1, obtiveram-se os valores de Massa Seca de Colmos que associado ao modelo de crescimento (Equações 2 e 3) estimou a produtividade final da cana-de-açúcar para cada ano-safra. A Tabela 1 apresenta a Massa Seca Máxima, a produtividade oficial em ton/ha e o erro% para os quatro municípios, nas diferentes safras, para o “D” com menor erro%. Pode-se notar que os valores de NDVI do meio do ciclo (90 a 150 dias) da cultura foram os que apresentaram maiores correlações com o dado oficial. Após os 150 dias (exceto para Ribeirão Preto) os erros são superiores a 20%, insatisfatório para ser empregado na previsão de safra. A produtividade estimada é considerada satisfatória e apresentam erros inferiores a 10% até 130 dias (Jaboticabal, Pitangueiras e Sertãozinho) e 170, para Ribeirão Preto após o corte, período que vai do início de julho ao final de agosto. Com um valor de “D” inferior a 90 dias o modelo gera erros negativos.

CONCLUSÕES: Os resultados da metodologia utilizada são promissores, pois foram obtidos animadores conseguiu-se obter erros inferiores a 5%, considerados baixos segundo terminologia proposta por PIMENTEL-GOMES (2000), na estimativa da produtividade da cana-de-açúcar com aproximadamente 110 a 150 dias de antecedência em relação à próxima safra. A utilização de séries temporais de imagens do AVHRR/NOAA apresentou um resultado bastante satisfatório, possibilitando um aumento da objetividade dos métodos de acompanhamento e previsão de safras.

TABELA 1. Resultados da MSC Máxima do Ciclo estimada pelo modelo e o erro em % nas diferentes safras.

Safra 2003/2004				
<i>Municípios</i>	<i>D</i>	<i>Prod. IBGE</i>	<i>Prod. Modelo MSC Máxima</i>	<i>Erro %</i>
Jaboticabal	110	87,80	85,26	2,89
Pitangueiras	110	89,71	86,13	3,99
Ribeirão Preto	150	70,00	66,76	4,61
Sertãozinho	120	80,00	78,66	1,67
Safra 2004/2005				
<i>Municípios</i>	<i>D</i>	<i>Prod. IBGE</i>	<i>Prod. Modelo MSC Máxima</i>	<i>Erro %</i>
Jaboticabal	100	92,00	88,65	3,64
Pitangueiras	110	86,89	84,07	3,23
Ribeirão Preto	140	72,43	69,64	3,85
Sertãozinho	120	82,14	73,43	5,74
Safra 2005/2006				
<i>Municípios</i>	<i>D</i>	<i>Prod. IBGE</i>	<i>Prod. Modelo MSC Máxima</i>	<i>Erro %</i>
Jaboticabal	100	90,00	87,08	3,24
Pitangueiras	110	86,89	82,97	4,50
Ribeirão Preto	140	70,00	69,37	0,89
Sertãozinho	120	80,00	76,88	3,89

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTACIMENTO (CONAB). GEOSAFRAS. Available in: < <http://www.conab.gov.br/conabweb/>>. Acesso em setembro, 2008.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). CANASAT – Mapeamento de cana via imagens de satélite de observação da Terra. Available in: <www.dsr.inpe.br/mapdsr>. Acesso em Janeiro, 2009.
- ESQUERDO, J. C. D. M.; ANTUNES, J. F. G.; EMERY, W.; BALDWIN, D. G; ZULLO JUNIOR, J. An Automatic System for AVHRR Land Surface Product Generation. International Journal of Remote Sensing, v.27, n.18, p. 3925 - 3942, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção Agrícola Municipal (PAM). Available in: <sidra.ibge.gov.br>. Acesso em maio, 2008.
- PARDI LACRUZ, M.S. Análise harmônica de séries temporais de dados MODIS como uma nova técnica para a caracterização da paisagem e análise de lacunas de conservação. 2006. 130 p. Tese (Doutorado)- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo.
- PELLEGRINO, G.Q. Utilização de Dados Espectrais do Satélite NOAA14/AVHRR como Fonte de Dados para Modelos Matemáticos de Estimativa da Fitomassa da Cana-de-Açúcar 2001. 116 p. Tese Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.
- PIMENTEL-GOMES, F. Curso de estatística experimental. 14.ed. Piracicaba: ESALQ, 2000. 477p.
- PONTES, P. P. B.; ROCHA, J. V.; LOURENÇO, L.. S.; LAMPARELLI, R. A. C.; MACHADO, H. M. Análise da evolução temporal do índice de vegetação (NDVI) em talhões

comerciais de cana-de-açúcar. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 32, 2003, Goiânia. Anais... Goiânia, p. 42-51, 2003.