



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Influência da Precipitação na Resposta do Modelo Espectral-Fenológico de Estimativa de Produtividade da Cana-de-Açúcar

Cristina Rodrigues Nascimento¹; Fábio Eduardo Dias Rocha Brunialti²; Jurandir Zullo Junior³

¹Prof. Adjunto do Instituto de Ciências Agrárias/Universidade Federal de Minas Gerais; ²Graduando em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas/Faculdade de Computação de Montes Claros/FACOMP. E-mail: fabio.brunialti@gmail.com; ³Pesquisador do Centro de Pesquisa Meteorológica e Climática Aplicada à Agricultura/Universidade Estadual de Campinas. E-mail: jurandir@cpa.unicamp.br. E-mail para correspondência: crisrodnas@gmail.com (Nascimento, C.R.).

Artigo submetido em 29/03/2014 e aceito em 26/03/2015.

RESUMO

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 principais culturas agrícolas do país, o que justifica o estudo e a elaboração de metodologias empregando o sensoriamento remoto para essa finalidade. Assim, este trabalho teve o objetivo de avaliar a resposta do modelo espectral-fenológico proposto por Pellegrino (2001) na estimativa da produtividade da cana-de-açúcar baseado em informações espectrais obtidas da série temporal dos valores de NDVI. Os resultados obtidos foram confrontados com a precipitação do período. Os testes foram realizados em quatro safras (2003/2004, 2004/2005, 2005/2006 e 2006/2007) e seis municípios localizados no Estado de São Paulo (Araraquara, Cravinhos, Jaboticabal, Pitangueiras, Ribeirão Preto e Sertãozinho), e indicam que o modelo parece ser uma boa estratégia para estimar a produtividade da cana-de-açúcar com erros inferiores a 6% com cerca de 90 a 152 dias antes de antecedência em relação à próxima safra.

Palavras-chave: NDVI, ano-safra, dias após o corte, massa seca dos colmos.

Influence of Precipitation in the Response of Spectral-phenology Model of Estimation of Sugar Cane Productivity

ABSTRACT

Brazil is the first producer of sugar cane in the world. Despite the economic and social importance of agribusiness to Brazil, it is still very difficult to estimate the harvest of the main agricultural crops with the precision and anticipation needed, justifying the study and development of new methods based on the use of remote sensing data. This study aimed to evaluate the response of the model proposed by spectral-phenological Pellegrino (2001) to estimate the productivity of sugar cane based on information obtained from spectral time series of NDVI values. The results were compared with the precipitation of the period. The tests were performed in four seasons (2003/2004, 2004/2005, 2005/2006 and 2006/2007) and six municipalities located in the State of Sao Paulo (Araraquara, Cravinhos, Jaboticabal, Pitangueiras, Ribeirão Preto and Sertãozinho), and indicate that the model seems a good strategy to estimate the productivity of sugarcane with errors less than 6% with about 90 to 152 days before the harvest.

Keywords: NDVI, crop seasons, days after harvest, dry weight of stalks.

Introdução

O Brasil é o principal produtor de cana-de-açúcar do mundo. Seus produtos são largamente utilizados na produção de açúcar, álcool combustível e, mais recentemente, biodiesel. A safra agrícola passou de 57,8 milhões de toneladas em 1990/91 para 509 milhões de toneladas estimadas para a safra 2012/2013, em todo país, representando um crescimento de 3,19% em relação ao total processado na última safra

(2011/2012), que foi de 493,26 milhões de toneladas (Unica, 2012). Apesar da evolução e importância econômica e social dessa cadeia para o agronegócio do 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 novas metodologias, entre elas, as que englobem o sensoriamento remoto para essa finalidade.

Dentre os vários sistemas orbitais existentes atualmente, os satélites da série AVHRR/NOAA, inicialmente desenvolvidos para fins meteorológicos, têm grande potencial de aplicação em métodos operacionais e objetivos de previsão de safras, pois possibilitam a obtenção de coberturas globais diárias a partir de pelo menos dois satélites devidamente sincronizados e com resolução temporal de doze horas. O Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicada à Agricultura (CEPAGRI) opera um sistema de recepção destas imagens desde 1995, totalizando, aproximadamente, 70,000 imagens em janeiro de 2014. O tamanho desta série, sem dúvida um valor inestimável para as pesquisas na agricultura, devido à diversidade de condições climáticas registradas desde abril de 1995 e à grande evolução da cultura no país.

Outra característica de grande relevância está diretamente relacionada à utilização de um grande volume de dados, sendo usualmente 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. Frequentemente dados do sensor AVHRR, estão associados a estudos da vegetação através do índice de vegetação NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada). Potter & Brooks (1998), realizaram uma análise global entre a variabilidade anual do clima e a variabilidade sazonal do NDVI. Além do NDVI, eles utilizaram três índices climáticos (temperatura diária, total de precipitação anual e índice de umidade anual), que, juntos, explicaram cerca de 70 a 80% das variações geográficas sazonais extremas (máximo e mínimo). Wang et al. (2003) obtiveram um grau de correlação cruzada significativo entre o NDVI e o solo úmido, precipitação e temperatura para diferentes áreas com vegetação, tais como floresta, grama e algumas culturas agrícolas no período de 1989 a 1997 no Kansas. O estudo mostrou uma forte relação entre a precipitação, o NDVI e o tempo de defasagem da precipitação que influencia fortemente o NDVI. Estas análises fornecem bases para predizer mudanças na produtividade que acompanham as mudanças ocorridas na precipitação e temperatura. Lucas & Schuler (2007) relatam em seus resultados que o comportamento do NDVI é semelhante ao da precipitação e seus resultados mostraram maior influência da precipitação do mês anterior no comportamento do NDVI. Em relação ao ciclo da cultura, o estágio de desenvolvimento acompanha a evolução do NDVI, ou seja, na medida em que

ocorrer um ganho de biomassa, aumenta o valor de NDVI e ele começa, então, a decair quando inicia o estágio de maturação. O presente trabalho teve dois objetivos principais, são eles: i) Avaliar e ajustar um modelo espectral-fenológico proposto por Pellegrino (2001) no fornecimento de informações objetivas sobre a produtividade da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, baseado na análise da série temporal de imagens NDVI e ii) Avaliar a influência da precipitação pluviométrica na resposta da produtividade, obtida através do modelo proposto, ao longo de quatro anos-safra analisados.

Material e métodos

Área de estudo e seleção da série temporal de imagens AVHRR/NOAA-17

A área de estudo engloba seis municípios localizados na região nordeste do estado de São Paulo. São eles: Araraquara, Cravinhos, Jaboticabal, Pitangueiras, Ribeirão Preto e Sertãozinho. O critério de seleção dos municípios está diretamente relacionado ao aumento da produção ao longo das safras analisadas (2003/2004, 2004/2005, 2005/2006 e 2006/2007) e a grande dimensão das áreas plantadas, inseridas em condições de relevo plano e suavemente ondulado, o que favorece a utilização das imagens do AVHRR.

Além dessas características, a região nordeste do estado é influenciada pelo clima tropical do Brasil Central, apresentando oscilações de temperatura do ar durante a estação chuvosa e precipitações concentradas entre os meses de outubro a março, coincidindo com a fase de maior crescimento vegetativo da cultura. As imagens AVHRR/NOAA-17, obtidas do banco de imagens disponíveis no CEPAGRI, foram inicialmente separadas por anos-safra (período que corresponde ao mês de abril de um ano a março do ano seguinte), e posteriormente processadas para a geração do perfil temporal do índice de vegetação NDVI ao longo da série.

Georreferenciamento e geração das imagens NDVI no programa NAVPro (Navigation Products)

O georreferenciamento é um fator preponderante quando se pretende explorar a alta resolução temporal do sensor AVHRR/NOAA. Neste sentido Esquerdo et al (2007), em parceria com a universidade do Colorado (Colorado Center for Astrodynamics Research - CCAR), adaptou um sistema automático para o georreferenciamento preciso das imagens e posterior geração de produtos. O pacote é

composto por uma série de programas executados via linha de comandos no IDL (*Interactive Data Language*), necessitando de um conjunto de imagens (série temporal) para geração dos produtos finais. O processamento das imagens no NAVPro incluiu: Conversão das imagens do formato HRPT (*High Resolution Picture Transmission*) “raw data” para o formato CCAR, bastante similar ao nível 1B; transformação dos níveis de cinza das imagens dos canais 1 e 2 para valores de refletância no topo da atmosfera; mascaramento de nuvens; geração de imagens NDVI diárias e posterior geração das composições de máximo valor ou MVC (*Maximum Value Composition*) do NDVI, para o intervalo mensal.

Geração das composições mensais (MVC) do índice de vegetação NDVI

Composições de máximo valor, ou MVC são largamente utilizadas, a fim de minimizar a influência de nuvens e os efeitos atmosféricos. Este método vem sendo largamente utilizado em dados de NDVI, onde o valor máximo de um dado pixel numa série temporal de imagens é utilizado para a construção de uma composição máxima de um dado período, registrando-se o mais alto valor (Moreira & Shimabukuro, 2004). Utilizou-se na pesquisa as composições de máximo valor no intervalo mensal, que foram geradas automaticamente por meio da rotina IDL acima descrita. O processamento exclui imagens com mais de 30% de cobertura de nuvens em razão do sombreamento dos pixels, que proporciona um “mascaramento” do valor do NDVI (Chen et al., 2003). Esse parâmetro tem sido utilizado com sucesso na estimativa da produtividade em diversas culturas. Foram descartadas, também, imagens com ruídos de aquisição e as obtidas em passagens com baixo grau de elevação (ângulo zenital solar maior que 70° e ângulos de varredura maiores que 42°, em relação à estação de recepção) do satélite devido à dificuldade na realização da correção geométrica.

A partir das composições de máximo valor do NDVI para cada mês da série dos quatro anos-safra foi criado um meta-arquivo, no ENVI 4.1 (*The Environment for Visualizing Image*) contendo as 48 imagens resultantes do processamento. Desta série temporal de imagens, foram extraídos os perfis médios temporais do NDVI, representando o comportamento de todos os pixels, com cana-de-açúcar dentro de cada município analisado.

Em seguida foi realizada uma máscara, a partir dos vetores com valores entre 0 e 1, onde 1 representa “pixels” com maior concentração de

Identificação das áreas com cana-de-açúcar nas imagens do AVHRR/NOAA e geração automática dos perfis temporais médios do índice de vegetação NDVI

Para a geração do perfil temporal médio do NDVI dos municípios selecionados foram considerados apenas os pixels com cana-de-açúcar. Assim, para evitar misturas entre duas ou mais coberturas vegetais, que são comuns nos pixels do AVHRR/NOAA, devido à resolução espacial de 1,1km, 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 (2013). Cada mapeamento foi desenvolvido utilizando-se imagens do satélite LANDSAT-7, sensor ETM+, para a cena 220/75, onde concentra-se a principal região produtora do estado.

A Figura 1 apresenta o vetor resultante, safra 2005/2006, destacando os municípios selecionados: Araraquara (1), Cravinhos (2), Jaboticabal (3), Pitangueiras (4), Ribeirão Preto (5) e Sertãozinho (6).

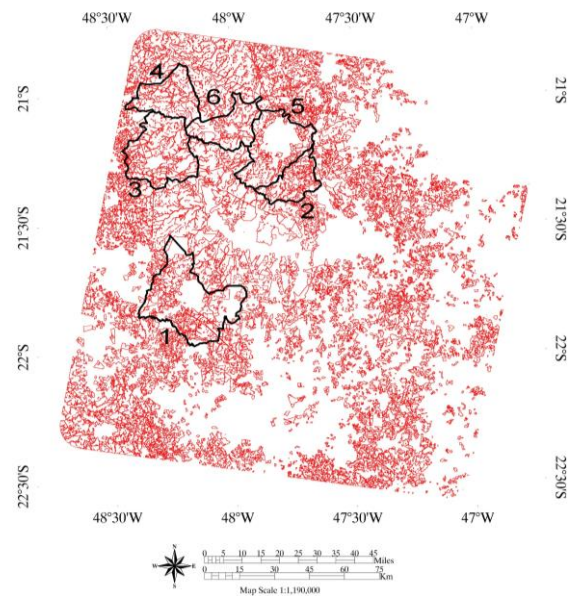


Figura 1. Mapeamento (vetor) das áreas plantadas com cana-de-açúcar, destacadas em vermelho, safra 2005/2006, tomando-se como base imagens LANDSAT-7/ETM+, órbita/ponto 220/75.

cana-de-açúcar e conseqüentemente uma menor mistura espectral (Antunes, 2005).

Posteriormente foram extraídas as coordenadas dos pixels com valores (1), correspondentes às áreas com a cultura, sendo estas coordenadas exportadas para um arquivo ASCII. O arquivo resultante faz parte do conjunto de dados, que, junto com os arquivos *shapfile* de contorno dos municípios, irá delimitar a extensão de ocupação municipal da cana-de-açúcar.

Modelo espectral-fenológico

Cada vez mais, modelos que integram informações espectrais da vegetação obtidas a partir de sensores remotos orbitais vêm sendo utilizados. Estes modelos permitem estimar o rendimento da vegetação e monitorar o seu desenvolvimento nos diferentes estádios do ciclo fenológico (Fonseca, 2007). O modelo testado foi desenvolvido por Pellegrino (2001) e utiliza informações espectrais, representadas pelo índice de vegetação NDVI, com o objetivo de estimar a produtividade final da cana-de-açúcar, a partir dos dados do satélite AVHRR/NOAA. A obtenção da produtividade final está baseada em três equações que correlacionam dados de produção instantânea, ou Massa Seca dos Colmos (MSC), medida em um determinado número de “Dias após o corte” (D). A base do modelo proposto por Pellegrino (2001) está representada na Eq. 1.

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

Segundo Pellegrino (2001), é possível estimar a produção de MSC dispondo-se de um valor para esse parâmetro em um ponto ao longo do ciclo e do número de dias “D” após o início do desenvolvimento da cultura (Figura 2).

A variável “Dias Após o Corte” (D) funciona como fator de ponderação do NDVI e indiretamente representa o acúmulo de energia ao longo do ciclo (safra), comumente expresso na forma de graus-dia ou na relação $\frac{\text{real/evapotranspiração}}{\text{potencial}}$, mais comumente utilizados em trabalhos de estimativa de Produção. As variáveis numéricas representam os coeficientes de ajuste do modelo.

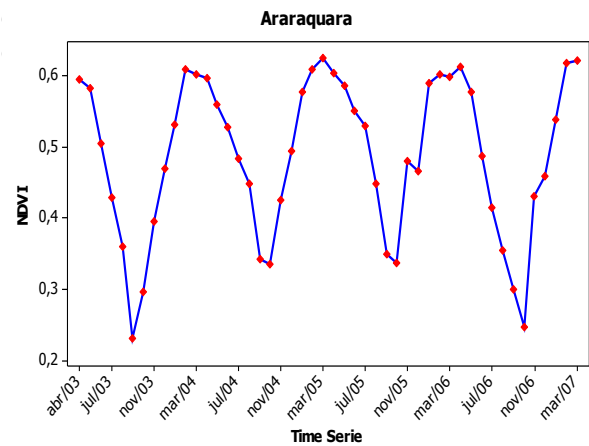
A partir da Eq. 2 foi calculada a MSCproporcional (Massa Seca dos Colmos Proporcional), normalizada em relação à MSC (Massa Seca dos Colmos). Esta equação ressalta o comportamento da cultura ao longo do seu ciclo de crescimento e procura minimizar a expressão das diferentes condições meteorológicas que seriam as principais responsáveis pelas diferenças na produção final entre os ciclos (safras), em função do termo “D”.

$$MSC_{proporcional} = 1,309664 * 10^{(-16)} * D^{(11,33342 - 1,995582 * \log(D))} \quad R^2 = 0,9866 \quad \text{Eq. (2)}$$

A última etapa foi o cálculo da Massa Seca Máxima do Ciclo (MSCMax), resultando na estimativa final da produtividade para cada ano-safra, obtida a partir da Eq. 3.

$$MSC_{Max} = MSC / MSC_{Proporcional} \quad \text{Eq. (3)}$$

Após a geração do perfil temporal do NDVI dos municípios selecionados, foi definida 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 (diminuição dos valores do NDVI) e o crescimento vegetativo da cultura onde é



Estimativa da produtividade oficial: IBGE

O cálculo da produtividade foi realizado através dos dados de produção e área plantada, obtidos no IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, para as safras em questão, a partir do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (IBGE, 2013). O principal enfoque da pesquisa foi ajustar o trabalho antes desenvolvido em nível de talhão, para um nível regional, para obter a produtividade da cana-de-açúcar com uma margem de dias de antecedência (parâmetro “D”) em relação à estimativa oficial. Este parâmetro é sem dúvida um grande diferencial, pois possibilita, quando associado ao crescimento da cultura (expresso na análise temporal dos perfis do NDVI) estimar com a precisão e a antecipação necessárias a safra, de acordo com as características fenologia da cultura.

Cálculo do Erro Relativo (%): Comparação entre as estimativas de produtividade do modelo e a produtividade oficial – IBGE

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 Eq. 4.

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

Eq. (4)

Como a análise foi realizada de forma pareada entre duas estimativas de área, então o erro relativo é equivalente ao coeficiente de variação. Baseado nisso, para avaliação dos resultados das comparações foi adotada a classificação de Pimentel-Gomes (2000), em que o erro relativo é considerado baixo quando for menor que 10%, médio de 10% a 20%, alto de 20% a 30% e muito alto quando for maior que 30%.

Resultados e discussão

No período de abril de 2003 a março de 2007 foram processadas 569 imagens: 134 na safra 2003/2004, 93 na safra 2004/2005, 172 na safra 2005/2006 e 170 na safra 2006/2007. A Tabela 1 apresenta a distribuição mensal do total de imagens da série temporal por ano-safra analisado.

É possível observar que para o estado de São Paulo de uma maneira geral, a precipitação pluviométrica é maior nos meses de outubro a março, o que ocasiona uma maior incidência de nuvens nas imagens e conseqüentemente uma diminuição do total das imagens resultantes do processamento, e que são posteriormente

utilizadas na geração das composições mensais MVC do índice de vegetação NDVI. Outra informação relevante está relacionada à mudança da antena de recepção, das imagens em 2005, por uma mais moderna, o que ocasionou um visível aumento no total das imagens, para as safras 2005/2006 e 2006/2007, respectivamente. Esse aumento pode estar associado à redução dos ruídos ocasionados por falha no sistema de recepção, em relação à antena anterior.

A partir das coordenadas geográficas, obtidas dos vetores das áreas mapeadas com cana-de-açúcar foram extraídos os perfis temporais do NDVI, utilizados como parâmetro espectral de entrada para obtenção da produtividade, a partir do modelo proposto, e na análise de sua relação com a precipitação. Escolheu-se a variação decenal, do termo “D”, de 71 dias (início do mês de junho) a 365 dias (fim do mês de março) para caracterizar a dinâmica do crescimento vegetativo da cultura, que é mais intenso entre os meses de outubro a março quando a cana-de-açúcar, no estado de São Paulo, tem alta demanda de água, radiação e temperatura e apresenta crescimento reduzido no mês de abril, fase de acúmulo de sacarose nos colmos, coincidindo com o início do processo de colheita.

Aplicando-se os dados espectrais do NDVI e a variação decenal (71 a 365 dias) do termo “D” à Eq. 1, obtiveram-se os valores de MSC que associado ao modelo de crescimento fenológico da cultura (Eq. 2 e 3) estimou a produtividade final, ou segundo terminologia utilizada pelo modelo a MSCMax. Os dados de produtividade resultantes do modelo foram comparados aos dados de produtividade proveniente do IBGE, considerados como referência. O erro relativo (%) para cada intervalo de 10 dias, por município é apresentado na Figura 4. É possível observar que quando o termo “D” é inferior a 70 dias, o modelo tende a produzir erros superiores a 30% para todos os municípios e safras analisados. Esses valores são inaceitáveis para a estimativa da produtividade. Neste período os erros são sempre positivos, indicando que para esta fase do desenvolvimento da cultura (fase inicial), o modelo tende a subestimar os valores de produtividade em relação ao dado oficial considerado (IBGE). Entre o intervalo que corresponde ao segundo decênio de junho (D = 81) até o terceiro decênio de julho (D = 122), é possível observar a presença de erros negativos, variando num intervalo de -0,58 até -31,48. Entretanto, para os municípios de Jaboticabal (Figura 4C) e Pitangueiras (Figura 4D) a variação negativa do erro acontece, num intervalo menor

do termo “D”, entre o terceiro decêndio de junho (D = 91) ao segundo decêndio de julho (D =111).

Tabela 1. Distribuição temporal do total de imagens utilizadas na geração das composições mensais MVC do NDVI.

Meses	Anos-safra			
	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007
Abril	15	06	20	20
Mai	19	04	18	18
Junho	17	05	18	21
Julho	18	08	23	21
Agosto	17	12	19	20
Setembro	07	12	11	09
Outubro	15	03	09	05
Novembro	10	05	11	13
Dezembro	03	03	06	07
Janeiro	02	07	12	01
Fevereiro	05	12	09	16
Março	06	16	16	19
Total	134	93	172	170

A presença de erros negativos indica que o modelo tende a superestimar os valores da produtividade em relação à estimativa oficial considerada. Relacionando-se estes intervalos (“D” variando entre 81 a 122 dias) à Figura 2, percebe-se que, para todos os municípios, erros negativos ocorrem quando à redução dos valores do NDVI na série coincidindo também com o período de diminuição da precipitação (Figura 3).

Erros relativos (%), considerado baixos, segundo Pimentel-Gomes (2000), variando numa faixa entre 0,34 a 6%, são observados entre o primeiro (D = 132) e o segundo (D = 142) decêndio do mês de agosto, exceto para os municípios de Jaboticabal e Pitangueiras, cujos menores erros são encontrados no terceiro decêndio de julho (D =122). Nesta fase, o NDVI atinge o valor mínimo da série e a precipitação pluviométrica é reduzida (Figura 4). A partir da primeira quinzena de setembro (D = 163), os erros (%) aumentam gradativamente até estabilizarem por volta dos meses de janeiro a março, fase final do desenvolvimento da cultura. Este comportamento também é observado com o NDVI, ou seja, na medida em que ocorrer um ganho de biomassa, impulsionado pelo aumento da precipitação, ocorre também um aumento do valor de NDVI e ele começa, então, a decair quando inicia o estágio de maturação.

Os resultados concordam com Lucas & Schuler (2007), que relatam que o comportamento do NDVI é semelhante ao da precipitação e seus resultados mostraram maior influência da precipitação do mês anterior no comportamento do índice. A Tabela 2 apresenta a resposta da produtividade obtida pelo modelo em relação ao termo “D”, a produtividade oficial fornecida pelo IBGE, ambas em ton/ha, e o erro relativo (%) dos municípios nos diferentes anos-safra.

De modo geral as produtividades estimadas pelo modelo foram consideradas satisfatórias, o que torna o modelo uma ferramenta viável a ser aplicada na previsão de safras da cana-de-açúcar quando utilizado da maneira proposta, permitindo um monitoramento mais freqüente das condições de campo e a obtenção de resultados de uma maneira mais rápida e menos subjetiva.

Os erros relativos (%) obtidos com a comparação entre os valores de produtividade do IBGE e o modelo espectral-fenológico, foram considerados baixo, de acordo com a terminologia proposta por Pimentel-Gomes (2000). Notou-se que, os menores erros relativos foram observados entre os meses de julho e agosto. Este período coincide com a época de estresse hídrico e com a redução dos valores do índice de vegetação NDVI.

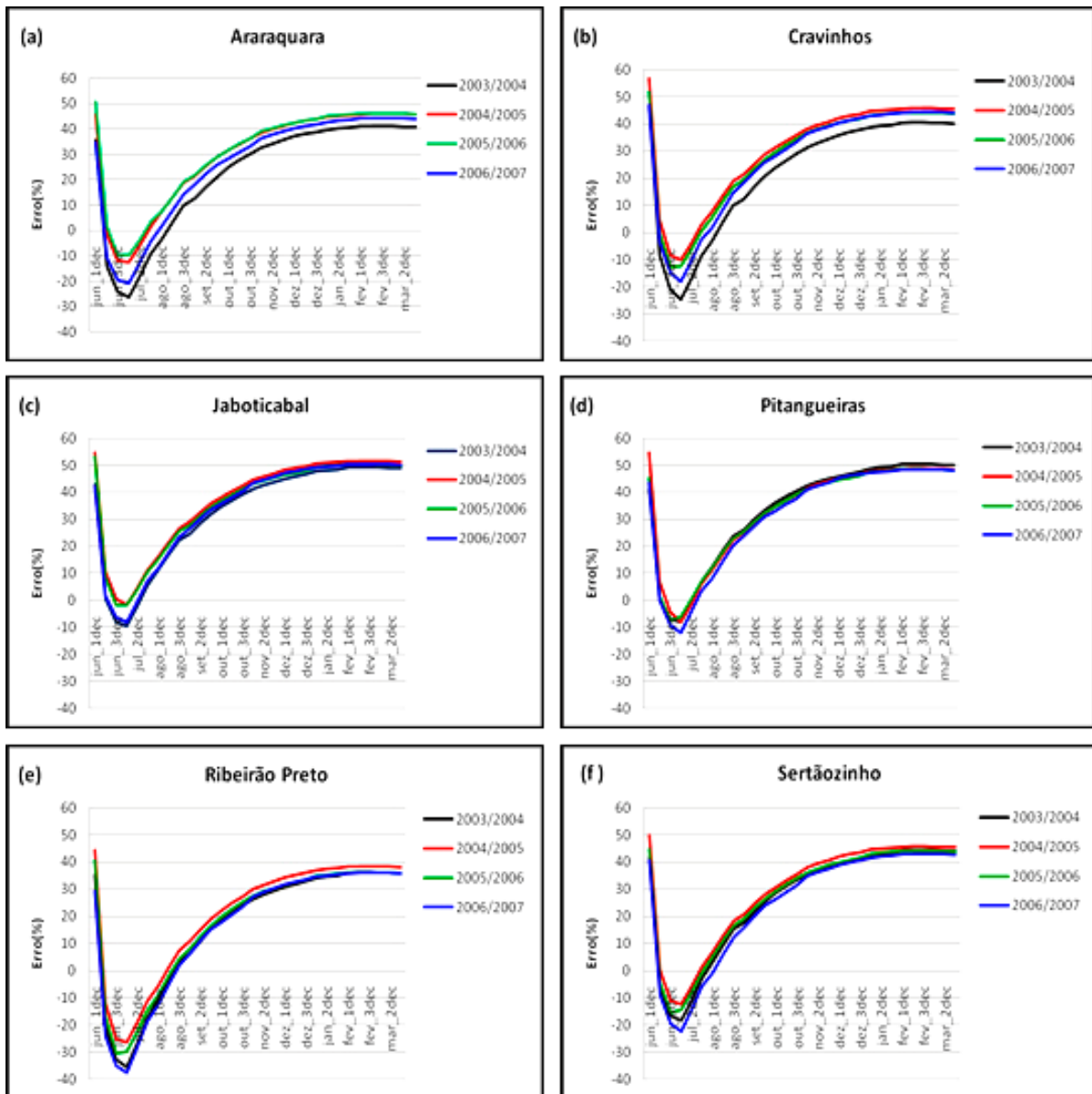


Figura 3. Variação decenal do termo “D” em função do erro relativo (%), para os municípios analisados, ao longo dos diferentes anos-safra.

Conclusão

A utilização de um modelo espectral-fenológico, com uma série temporal de imagens AVHRR/NOAA-17 parece ser uma boa estratégia para estimar a produtividade da cana-de-açúcar com erros inferiores a 6% antecipação com cerca

de 90 a 152 dias antes da colheita. Estes valores são adequados e aceitáveis para apoio operacional e oficial de sistemas de acompanhamento das culturas e previsão. As séries temporais de imagens AVHRR/NOAA-17 foi fundamental para definir os valores do parâmetro “D” e para testar a metodologia em quatro safras.

Tabela 2. Resultados da produtividade da cana-de-açúcar (parâmetro “D”), produtividade estimada pelo modelo (Massa Seca dos Colmos-MS) Máxima e o erro relativo (%) nas diferentes safras.

Municípios	D	Prod. IBGE	Prod. modelo MSC máxima	Erro relativo (%)
<i>Safra 2003/2004</i>				
Araraquara	142	75,95	73,37	3,39
Cravinhos	142	75,00	72,30	3,58
Jaboticabal	91	87,80	87,17	0,71
Pitangueiras	121	89,71	88,86	0,94
Ribeirão Preto	152	70,00	67,71	3,26
Sertãozinho	132	80,00	77,55	3,05
<i>Safra 2004/2005</i>				
Araraquara	122	82,86	76,75	1,80
Cravinhos	122	82,15	79,83	2,82
Jaboticabal	101	92,00	91,33	0,72
Pitangueiras	122	86,89	81,68	5,99
Ribeirão Preto	142	72,43	71,70	1,02
Sertãozinho	91	82,14	81,85	0,34
<i>Safra 2005/2006</i>				
Araraquara	91	82,86	81,67	1,43
Cravinhos	122	80,00	79,56	0,54
Jaboticabal	111	90,00	86,53	3,84
Pitangueiras	91	86,89	85,58	1,50
Ribeirão Preto	152	70,00	66,97	4,39
Sertãozinho	132	80,00	75,85	2,89
<i>Safra 2006/2007</i>				
Araraquara	132	80,00	78,75	1,55
Cravinhos	132	80,00	78,61	1,73
Jaboticabal	91	90,00	88,46	1,71
Pitangueiras	121	86,89	83,31	3,50
Ribeirão Preto	152	70,00	68,58	2,02
Sertãozinho	142	80,00	73,45	4,25

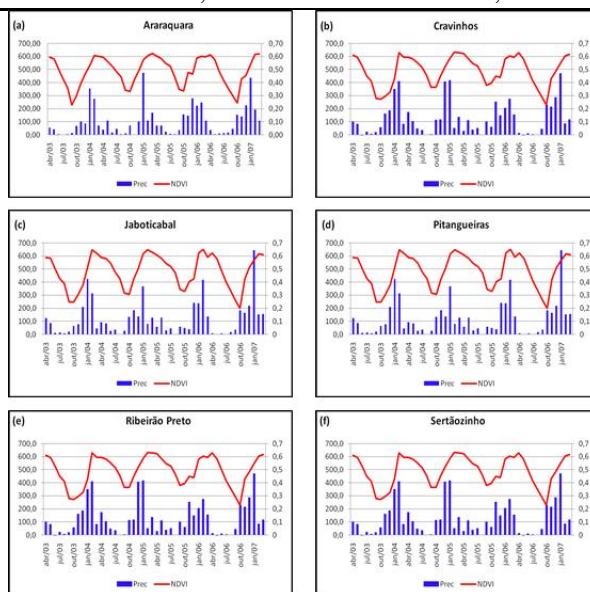


Figura 4. Perfil temporal do NDVI e precipitação pluviométrica, ao longo dos anos-safra analisados.

Referências

- Antunes, J.F.G. 2005. Aplicação de lógica *fuzzy* para estimativa de área plantada da cultura de soja utilizando imagens AVHRR/NOAA. Dissertação de Mestrado. 105f. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.
- Chen, P.Y.; Srinivasan, R.; Fedosejevs, G.; Kiniry, J.R. 2003. Evaluating different NDVI composites techniques using NOAA-14 AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing* 24, 3403-3412.
- Esquerdo, J.C.D.M.; Antunes, J.F.G.; Baldwin, D.G.; Emery, W.J.; Zullo Júnior, J. 2007. An Automatic System for AVHRR Land Surface Product Generation. *International Journal of Remote Sensing* 27, 3925-3942.
- Fonseca, E.L.; Ponzoni, F.J.; Formaggio, A.R. 2007. Modelo agrometeorológico-espectral para estimativa da disponibilidade de forragem no bioma campos sulinos. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 15, 241-249.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Produção Agrícola Municipal. <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. 20 Out. 2013.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). CANASAT–Mapeamento de cana via imagens de satélite de observação da Terra. <<http://www.dsr.inpe.br/mapdsr>> 20 out. 2013.
- Lucas, A.A.; SCHULER, C.A.B. 2007. Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata Atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 11, 607-614.
- Moreira, M.A.; Shimabukuro, Y.E. 2004. Cálculo do índice de vegetação a partir do sensor AVHRR. In: Ferreira, N.J. Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N. São Paulo: Oficina de Textos. 271p.
- Pellegrino, G.Q. 2001. Utilização de Dados Espectrais do Satélite NOAA14/AVHRR como Fonte de Dados para Modelos Matemáticos de Estimativa da Fitomassa da Cana-de-Açúcar. Tese de Doutorado. 116f. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.
- Pimentel-Gomes, F. 2000. Curso de estatística experimental. Piracicaba: ESALQ. 477p.
- Potter, C.S.; Brooks, V. 1998. Global analysis of empirical relations between annual climate and seasonality of NDVI. *International journal of remote sensing* 19, 2921-2948.
- União da Agroindústria Canavieira de São Paulo – UNICA. Cana-de-açúcar: produtos.<<http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4>>. 20 Out. 2013.
- Wang, J.; Rich, P.M.; Price K.P. 2003. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the Central Great Plains. *International Journal of Remote Sensing* 24, 2345-2364.