

MONITORAMENTO DA COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO DE IMAGENS MODIS

Monitoring of sugarcane harvested area through MODIS images

Daniel Alves de Aguiar¹
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff¹
Rodrigo Rizzi²
Yosio Edemir Shimabukuro¹

¹**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**
Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR
Laboratório de Sensoriamento Remoto em Agricultura e Floresta - LAF
Av. dos Astronautas, 1758 - Jardim da Granja São José dos Campos, SP - 12.227-Brasil
{daniel, bernardo, yosio}@dsr.inpe.br

²**Universidade Federal de Pelotas - UFPel**
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - FAEM
Departamento de Engenharia Rural – DER
Campus Universitário - Capão do Leão, RS – 96.160.000
drizzi@gmail.com

RESUMO

As técnicas de sensoriamento remoto e de Sistema de Informação Geográfica (SIG) apresentam um grande potencial para monitorar algumas atividades agrícolas relevantes da cultura da cana-de-açúcar. Diversas características desta cultura favorecem sua identificação em imagens de satélites de sensoriamento remoto. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um método operacional usando imagens do sensor MODIS para periodicamente estimar a área colhida de cana-de-açúcar durante seu período de oito meses de colheita (abril a novembro) no Estado de São Paulo. Diversas técnicas de processamento de imagens foram aplicadas em composições multitemporais de NDVI (produto MOD13Q1) e em composições especialmente desenvolvidas (MODCSH) para identificar e estimar a área colhida de cana-de-açúcar. Imagens de resolução espacial média (Landsat-5 e CBERS-2) e dados de campo provenientes de uma usina sucroalcooleira foram utilizados na elaboração de um mapa de referência para avaliar a qualidade das estimativas. Os melhores resultados foram alcançados quando imagens de composições MODCSH de datas subsequentes foram subtraídas. Isto permitiu estimar corretamente 95,2% da área total colhida do mapa de referência. Já na avaliação da evolução temporal da colheita ao longo da safra foi obtido um $r = 0,95$ para a correlação entre as estimativas de área colhida em cada uma das imagens MODIS (composição MODCSH) e as correspondentes datas dos mapas de referência, indicando que estas imagens podem ser usadas para monitorar a atividade da colheita da cana-de-açúcar.

Palavras chave: composição multitemporal; NDVI; alta resolução temporal.

ABSTRACT

Remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) techniques present a great potential to monitor some relevant agricultural activities of the sugarcane crop. Several characteristics of this crop favor its identification on remote sensing satellite images. The objective of this work was to develop an operational method using images from the MODIS sensor to periodically estimate the harvested sugarcane area during its eight months harvest season (April through November) in São Paulo State, Brazil. Several image processing techniques were applied on multitemporal compositions of NDVI (MOD13Q1 product) and on specially developed compositions (MODCSH) to identify and estimate the harvested sugarcane area. Medium spatial resolution images (Landsat-5 and CBERS-2) and ancillary field data provided by a sugar and alcohol Plant were used to perform a reference map to evaluate the quality of the estimates. Best results were achieved when images from subsequent dates of MODCSH compositions were subtracted. This allowed correctly estimate 95.2% of the total harvested area of the reference map. For the evaluation of the

temporal evolution of the harvested area during the crop harvest season an $r=0.95$ was obtained for the correlation between the estimated harvested area for each of the MODIS images (MODCSH) and the correspondent date of the reference map, indicating that these images can be used to monitor the sugarcane harvest activity.

Keywords: multi-temporal composition; NDVI; temporal high resolution.

1. INTRODUÇÃO

A informação sobre a distribuição da área e a evolução da colheita da cultura da cana-de-açúcar é de grande importância para o setor sucroalcooleiro, que se caracteriza por uma estreita relação entre as atividades agrícolas e industriais. A programação de funcionamento das unidades industriais (usinas e destilarias) para a produção de açúcar e de álcool é determinada pela quantidade de matéria prima disponibilizada no processo de colheita da cana no campo e que, por sua vez, é influenciado pelas condições climáticas. Chuvas frequentes e longos períodos de seca podem dificultar a colheita e limitar a disponibilidade de matéria prima e, por consequência, reduzir os estoques destes produtos para comercialização no mercado interno e externo.

A avaliação periódica da evolução da colheita da cana em São Paulo é feita pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) por meio de informações amostrais fornecidas pelas unidades industriais. Incertezas nas estimativas parciais da colheita da cana podem ter implicações no abastecimento de açúcar e álcool, além de gerar especulações nos preços destes produtos. Métodos alternativos que diminuam estas incertezas podem contribuir para fornecer dados mais próximos da realidade e, assim, eliminar especulações desnecessárias e dar mais segurança ao planejamento das usinas.

As imagens de sensoriamento remoto associadas aos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) têm grande potencial para monitorar a atividade da cultura da cana. Particularmente, a cana-de-açúcar possui características favoráveis para ser identificada, mapeada e monitorada por meio de imagens de sensores remotos a bordo de satélites (RUDORFF *et al.*, 2004a), devido ao fato de ser uma cultura semi-perene e plantada em áreas de grande extensão. Contudo, a repetitividade com que as imagens de satélites de média resolução espacial são obtidas nem sempre permite monitorar a dinâmica da colheita da cana devido à presença de nuvens sobre a área de interesse.

Desde o ano de 2000 estão disponíveis imagens do sensor MODIS (*MODerate-Resolution Imaging Spectroradiometer*) que recobre todo globo terrestre, quase que diariamente, com uma resolução espacial de 250m. Tanto as características do sensor MODIS, quanto a disponibilização gratuita de suas imagens na forma de produtos apresentam aspectos inovadores na área de sensoriamento remoto.

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para detectar as áreas de cana colhida ao longo da safra, utilizando imagens do sensor MODIS a bordo do satélite Terra.

2. FUNDAMENTAÇÃO

O produto MOD13Q1 do sensor MODIS contém dois índices de vegetação produzidos globalmente, sejam eles, *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Enhanced Vegetation Index* (EVI). Os dados de entrada para geração destes índices são os produtos MOD09A. O critério de composição dos *pixels* do produto MOD13Q1 varia em função do número de imagens livres de nuvens disponíveis e está descrito em HUETE *et al.*, 1999. Um dos métodos faz uso do modelo *Bidirectional Reflectance Distribution Function* (BRDF; WALTHALL *et al.*, 1985), enquanto o método alternativo (*backup*) foi proposto por Leeuwen *et al.* em 1996 e denominado *Constraint View angle Maximum Value Composite* (CV – MVC).

Em termos práticos, a seleção dos *pixels* em regiões tropicais e subtropicais é condicionada ao método CV – MVC, devido à presença constante de nuvens, pois mesmo que para o cálculo da refletância seja levado em consideração o modelo BRDF, os *pixels* com maior valor de NDVI dentre as observações disponíveis são eleitos na etapa final de composição (MIURA *et al.*, 2000; GAO e HUETE, 2003; CHUVIECO *et al.*, 2005; ANDERSON *et al.*, 2005; JIN e SADER, 2005).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O Estado de São Paulo localiza-se aproximadamente entre os paralelos 19° 50' e 24° 30' S. e os meridianos 44° 00' e 53° 30' O, na região sudeste do Brasil, e tem uma área de 248.209,4 km². A cana-de-açúcar está concentrada na região centro-norte e oeste do Estado, com maior área ao longo dos meridianos 46° 30' e 49° 30' e dos paralelos 20° 00' e 21° 50', 22° 20' e 23° 20' (Fig. 1).

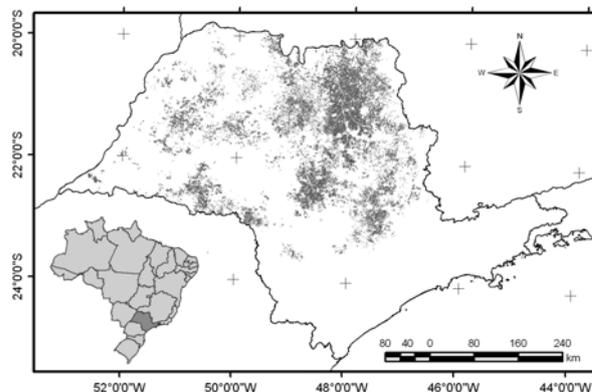


Fig. 1. Área de cana-de-açúcar cultivada no Estado de São Paulo.

Neste trabalho foram utilizadas as composições multitemporais de NDVI oriundas do produto MOD13Q1 (aqui denominadas MODC) para toda a época de colheita a partir do dia do ano 81 até o dia 353. Para este mesmo intervalo de dias foram adquiridas as imagens de refletância de superfície diária (MOD09GQK; bandas 1 e 2) com o intuito de criar as novas composições NDVI propostas neste trabalho (denominadas MODCSH).

Também foram utilizadas imagens de média resolução espacial do sensor Thematic Mapper (TM; 30m) a bordo do satélite Landsat-5 e da Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD; 20m) a bordo do satélite CBERS-2, adquiridas em diferentes dias ao longo da safra (Tabela 1). Estas imagens foram utilizadas como dado de referência devido a sua melhor resolução espacial.

O monitoramento das áreas colhidas de cana-de-açúcar foi feito com base num mapa temático com a distribuição das áreas de cana disponíveis para colheita na safra de 2004, para o Estado de São Paulo, produzido por Rudorff *et al.* (2004b).

Para a validação das estimativas de área de cana colhida foram empregadas as informações da Usina Catanduva, organizadas em um banco de dados espacial. Os talhões de responsabilidade desta usina concentram-se na região centro-norte do Estado de São Paulo. Todos os talhões estão georreferenciados e possuem dados referentes às datas de plantio e de colheita e tipo do corte atual.

TABELA 1 - IMAGENS DE REFERÊNCIA.

Satélite/Sensor	Órbita/Ponto	Bandas	Dia do ano
Landsat/TM	221/75	3, 4 e 5	90
			138
			186
			218
			234
			266
			282
			330
CBERS/CCD	156/154	2, 3 e 4	151
			203

As imagens para detecção e monitoramento do corte da cana foram geradas com o uso das imagens MODC e de refletância diária. Este procedimento substituiu um dos critérios de seleção dos *pixels* adotados pela NASA na composição dos produtos MOD13Q1. Em vez de selecionar os *pixels* com os maiores valores de NDVI (CV - MVC; LEEUWEN *et al.*, 1996) foram selecionados os *pixels* de uma faixa de valores de NDVI que representavam as áreas de cana-de-açúcar colhida, contidos em uma janela temporal móvel.

A definição desta faixa de valores foi baseada na análise de *pixels* “puros”, em outras palavras, com sua área ocupada inteiramente por cana e

compreendidos, em sua totalidade, dentro de um único talhão. A avaliação do comportamento do NDVI de cada um destes *pixels* durante toda a safra permitiu o estabelecimento da faixa de valores que representavam a cana colhida.

O propósito da mudança de critério para seleção dos *pixels* foi melhorar a precisão temporal das estimativas de área de cana colhida. Pois, desta forma, evitou-se que os *pixels* com altos valores de NDVI de imagens diárias, referentes aos dias considerados nas composições de 16 dias, fossem selecionados em detrimento aos *pixels* com valores dentro da faixa de valores desejada; protelando a identificação das áreas de cana colhida.

Para evitar que *pixels* com valores de NDVI espúrios (ruídos, presença de nuvens e faixas não imageadas) fossem selecionados, optou-se por considerar também, no momento da escolha de um *pixel*, os valores deste mesmo *pixel* em datas subsequentes. Vale ressaltar que o tamanho da janela temporal móvel (3x1) utilizada para a composição das imagens MODCSH foi definido por meio da análise dos valores diários de NDVI. A frequência dos ruídos e dos valores espúrios de forma geral foi um dos critérios, bem como a taxa de aumento nos valores de NDVI para as áreas colhidas.

A diferença entre composições de NDVI foi utilizada para estimar a área de cana colhida. Para a aplicação desta técnica foram utilizadas as composições de 16 dias (MODC e MODCSH) em um processo de subtração de imagens. As imagens resultantes foram transformadas em imagens de diferença percentual.

Para estas imagens os valores dos *pixels* correspondem, em percentagem, à diminuição ou aumento de NDVI e, em última instância, a perda ou ganho de biomassa pela cultura, como consequência da senescência ou da colheita propriamente dita.

A criação das *imagens diferença percentual* teve como objetivo evitar que talhões de cana não colhida mas com pouca biomassa e com baixos valores de NDVI fossem erroneamente selecionados como talhões já colhidos.

Por fim, foi possível estabelecer um limiar de queda de NDVI, aplicado a estas imagens, que representasse a colheita da cana-de-açúcar. Nesta etapa foram utilizadas as imagens dos sensores TM/Landsat e CCD/CBERS como referência. Ou seja, tais imagens, devido a sua melhor resolução espacial, permitem identificar claramente as áreas colhidas com base na diferença entre as respostas espectrais destas áreas. Após a criação dos mapas de cana colhida para cada uma das datas/composições foi elaborado um único mapa temático, onde as classes representavam a cana colhida nos diferentes períodos de análise.

3.1 Validação e comparação das técnicas de estimativa de área

Para validar as técnicas de estimativa de área aplicadas sobre as imagens MODC e MODCSH foram

utilizados os dados da usina Catanduva e um conjunto de 51 *pixels puros* selecionados anteriormente, além da área de cana colhida apontada por Rudorff *et al.* (2004b) em escala estadual e municipal. Dentre os 51 *pixels*

selecionados previamente, 9 foram excluídos da validação por não conterem informação sobre a data da colheita, restando 42 *pixels*.

TABELA 2 - AJUSTES DAS ESCALAS PARA VALIDAÇÃO DAS TÉCNICAS DE ESTIMATIVA.

Data de colheita (dia do ano)	Período	Data de colheita (dia do ano)	Período	Data de colheita (dia do ano)	Período
097-112	1	193-208	7	289-304	13
113-128	2	209-224	8	305-320	14
129-144	3	225-240	9	321-336	15
145-160	4	241-256	10	337-352	16
161-176	5	257-272	11		
177-192	6	273-288	12		

As datas de colheita foram divididas em classes a fim de ajustá-las à escala de análise da técnica/resolução temporal das composições (Tabela 2). As datas estimadas para os *pixels* analisados foram comparadas às datas de referência da Usina Catanduva, tornando possível avaliar e comparar a qualidade das estimativas.

A validação das estimativas de datas de colheita foi realizada com base em análise de regressão linear simples. Foram efetuados três testes, com nível de significância de 1%, para verificar a igualdade dos conjuntos de dados, sejam eles: teste F, para $\beta_1 = 0$ (relação linear entre as datas estimadas e de referência); teste t para $\beta_0 = 0$ (reta da regressão passando na origem) e para $\beta_1 = 1$ (reta da regressão com 45° de inclinação).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação das composições MODCSH

Os valores mínimos e máximos de NDVI para o conjunto de *pixels* das imagens diárias são apresentados na Fig. 2. Os valores mínimos correspondem às áreas onde a cana foi colhida, com NDVI entre 0,15 e 0,40. Os valores máximos indicam áreas de cana em pé com altos valores de NDVI, em torno de 0,75 e 0,90. A análise deste gráfico permitiu estabelecer a faixa de valores de NDVI (entre 0,15 e 0,40) a qual os *pixels* das imagens diárias deveriam pertencer para substituir os *pixels* da composição MODC no processo de composição da MODCSH.

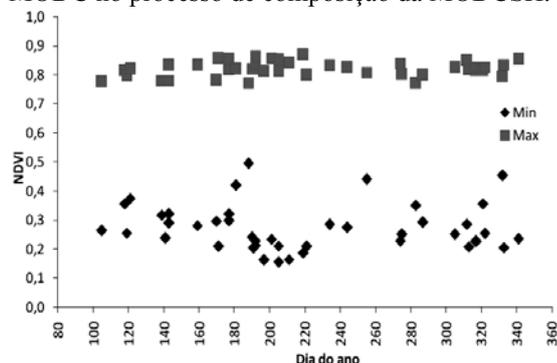


Fig. 2 - Valores máximos e mínimos de NDVI dos 51 *pixels puros* avaliados na safra de 2004.

A mudança dos critérios de seleção dos *pixels* adotados para composição NDVI 16 dias da NASA altera os valores dos *pixels* destas imagens. Na Fig. 3 é apresentada parte da área do Escritório de Desenvolvimento Regional (EDR) de Ribeirão Preto na composição MODC (Fig. 3a) iniciada no dia do ano 225 (12/08/2004), a correspondente composição MODCSH (Fig. 3b) e a área representada em hachura em que os valores dos *pixels* foram substituídos (Fig. 3c).

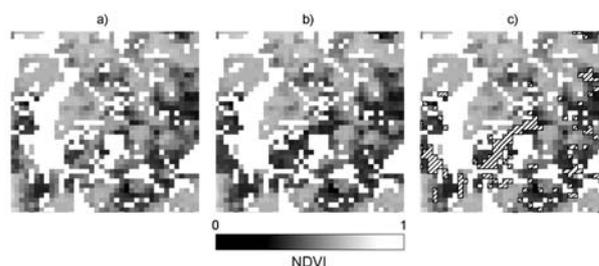


Fig. 3 – Diferença entre as composições de NDVI. (a) composição MODC; (b) composição MODCSH; e (c) *pixels* alterados (hachura) com sobreposição do tema não cana (branco).

As áreas com menores níveis de cinza correspondem aos menores valores de NDVI, i. e., áreas colhidas. Nota-se que os *pixels* alterados, em geral, circundam estas áreas. Este fato foi verificado na maioria das áreas das imagens analisadas e indica que a colheita da área de cana coberta por tais *pixels* se deu em dias subsequentes aos dias de colheita das áreas mais escuras na imagem MODC.

Esta mesma ordem de idéias é apresentada por Chuvieco *et al.* (2005) em seu trabalho de mapeamento de áreas queimadas, no qual alertam para a escolha de *pixels* de áreas de contato entre queima e não queima, de *pixels* de dias anteriores à queima e até mesmo para seleção de *pixels* contaminados com nuvens (baixos valores de NDVI) em detrimento aos *pixels* de áreas queimadas.

Alguns exemplos que ilustram a capacidade de identificar talhões colhidos nas imagens MODCSH são apresentados na Fig. 4. É possível observar que em todos os casos, para as composições MODCSH, a

identificação das áreas destes *pixels* como cana *colhida* ocorreu em datas anteriores em relação às imagens

MODC, o que está de acordo com as datas de colheita fornecidas pela usina.

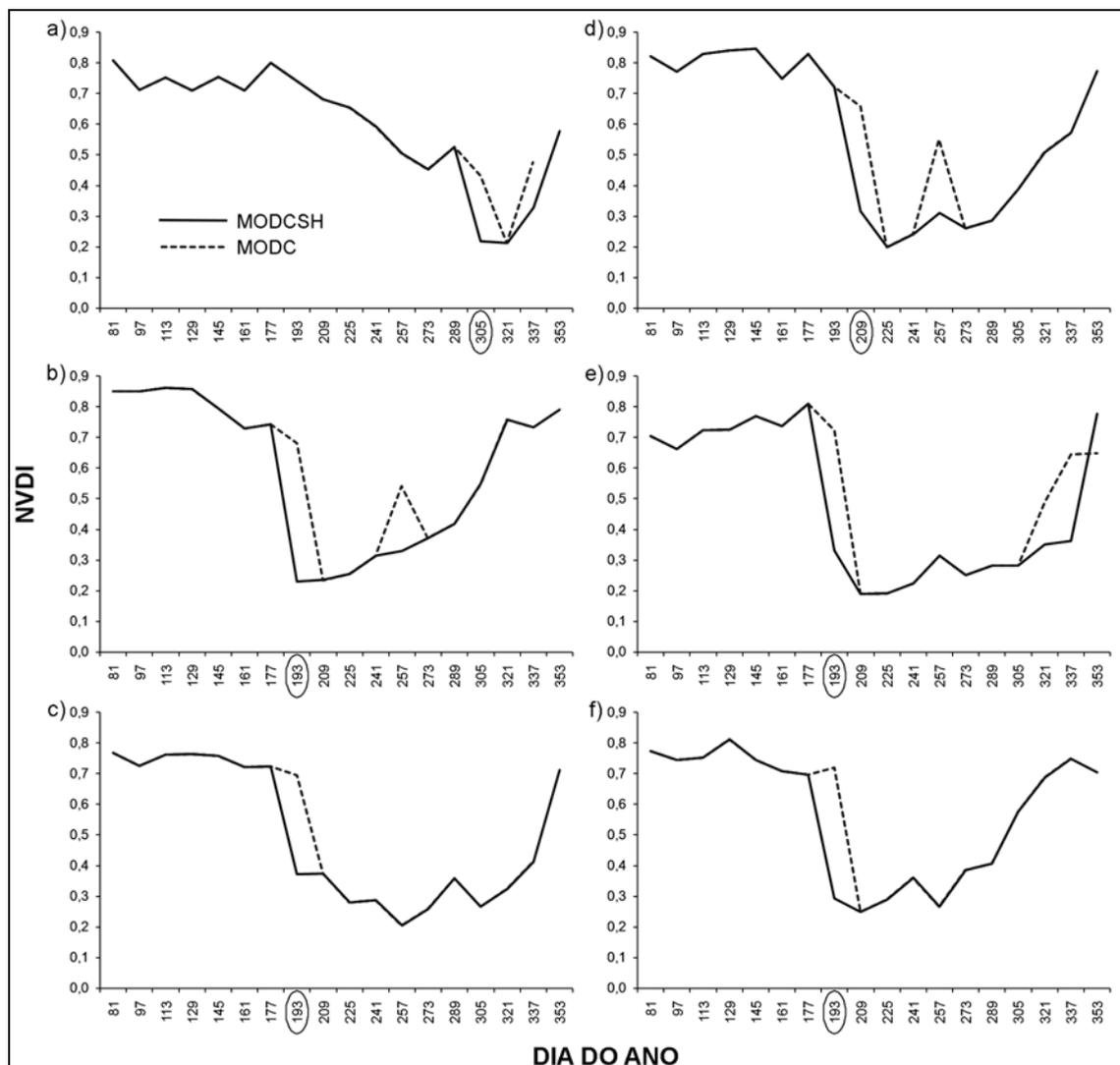


Fig. 4 - Evolução temporal do NDVI de *pixels* puros de cana em imagens MODCSH e MODC na safra 2004. Na abscissa os dias do ano correspondem à data de início da composição. Os círculos indicam a data de colheita apontada pela Usina.

Para outra série de *pixels* analisados (15 *pixels*) não houve substituição de valores e o comportamento foi o mesmo para as duas composições em questão.

A análise da Fig. 4 permitiu enfatizar outro ponto importante no processo de composição das imagens MODCSH, a saber: a janela temporal móvel impediu que valores espúrios fossem eleitos para substituir valores fora da faixa de interesse. Todas as curvas correspondentes às imagens MODCSH foram sobrepostas às curvas das imagens MODC até o momento da colheita e, além disto, picos de valores de NDVI depois da colheita foram eliminados (Fig. 4b e Fig. 4d).

4.2 Avaliação da estimativa de área

Foram estabelecidos dois limiares de perda percentual de biomassa: >25% e >23%; com base na diferença percentual entre duas composições NDVI das áreas de cana sabidamente colhidas em função do dado de referência. A diferença entre estes limiares e o percentual médio de perda de biomassa do conjunto de *pixels* puros (aproximadamente 48%) está justamente no fato de tais *pixels* serem puros e, em função da baixa resolução espacial das imagens do MODIS, boa parte dos *pixels* das imagens conterem informação da radiancia, tanto de cana colhida, quanto de cana não-colhida, em diferentes proporções (pixels localizados nas bordas dos talhões) (LOBELL e ASNER, 2004; JIN e SADER, 2005; TAN *et al.*, 2006).

Foram identificados três fases distintas na atividade de colheita, a saber: um período inicial, do início de abril (dia 97 – período 1) até final de julho (dia

208 – período 7), caracterizado pelo aumento gradual da atividade; uma fase intermediária, do final de julho (dia 209 – período 8) até final de agosto (dia 241 – período 10), caracterizada pelo aumento expressivo da atividade de colheita e uma última fase, iniciada em meados de setembro (dia 257 – período 12) e caracterizado pela queda brusca da colheita (Fig. 5).

A fase intermediária coincide com a época seca, onde as chuvas de longa duração são escassas. Nesta fase, para as atividades de colheita, as máquinas e os trabalhadores têm acesso facilitado aos talhões. Nos meses de outubro, novembro e dezembro a frequência das chuvas de longa duração é maior e a dificuldade de acesso aos talhões aumenta. Na safra em questão, o aumento das precipitações de longa duração na segunda quinzena de setembro impediu a colheita (AGUIAR *et al.*, 2007).

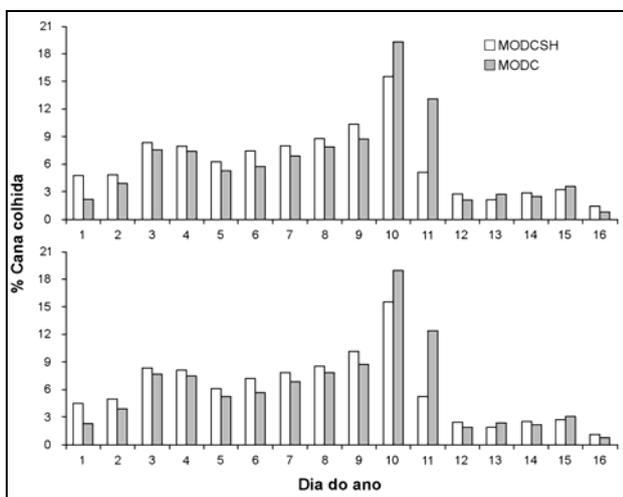


Fig. 5 - Fatiamento com limiar de 25% (a) e 23% (b) de perda percentual de biomassa, aplicado sobre composições e imagens proporção MODCSH e MODC, respectivamente.

Esta periodicidade é constatada em ambas as composições multitemporais, todavia, nas estimativas baseadas nas composições MODCSH o percentual de área de cana colhida no período intermediário é menor. A possibilidade de encontrar *pixels* com altos valores de NDVI no início da safra causou a identificação tardia dos talhões de cana colhida nas imagens MODC e, conseqüentemente, o acúmulo da área colhida em curtos intervalos de tempo.

Quanto às composições, é perceptível a diferença entre os percentuais intervalares de área de cana colhida. Até o final de agosto (período 10) o percentual destas áreas foi maior para as estimativas baseadas nas composições MODCSH (Fig.s 4a e 4b). Nos dois períodos seguintes houve uma inversão destes valores e em seguida um equilíbrio até o final da safra. Este comportamento foi similar para os dois limiares de perda de biomassa. Novamente, a capacidade de tornar evidente o contraste entre as áreas *colhidas* e *não colhidas* em diferentes datas foi o fator preponderante para o aumento da área estimada e a distribuição destas áreas ao longo da safra nas composições MODCSH.

As curvas de evolução da colheita tiveram o mesmo comportamento, contudo os montantes de área colhida foram ligeiramente maiores para o limiar de 23%, já que tal limiar é mais abrangente. Ao aplicar este limiar nas composições MODCSH, os montantes de área colhida por período não ultrapassaram 15,5%. Entretanto para composições MODC, o montante do final de agosto e início de setembro chegou a aproximadamente 19%.

O período compreendido entre os dias do ano 257 e 272 (setembro) apresentou maior discrepância entre as estimativas baseadas nas diferentes imagens, alcançando 12,33% para as composições MODC e apenas 5,21% para as composições MODCSH. Tal diferença está diluída em períodos anteriores e indicou, de acordo com a UNICA (2005) e o CTC (2005), uma evolução da colheita mais condizente com a realidade da safra em questão.

Para a análise em nível municipal foi tomada como referência a área apontada por Rudorff *et al.* (2004b). Neste caso, as discrepâncias entre a área colhida estimada e a referência se tornaram mais evidentes. A Fig. 6 ilustra a relação entre a área de referência, a área estimada com limiar de 25% de perda de biomassa aplicado sobre as composições MODCSH e o erro relativo percentual de estimativa. É possível observar uma relação direta entre a área de referência e a área estimada e uma relação inversa entre a área de referência e o erro da estimativa, ou seja, quanto menor a área de cana no município, maior o erro relativo da estimativa de área de cana colhida.

A Fig. 6 também evidenciou que os erros de estimativa não ultrapassaram, em média, 15% em municípios com áreas cultivadas maiores que 2.000ha. O desvio padrão (DP) das estimativas de cana colhida em municípios com áreas cultivadas menores que 200 ha. foi de 33 ha. Em municípios com áreas cultivadas menores que 300ha não ultrapassou 17ha. e em municípios com áreas cultivadas menores que 1.000ha. o DP não chegou a 10 ha.

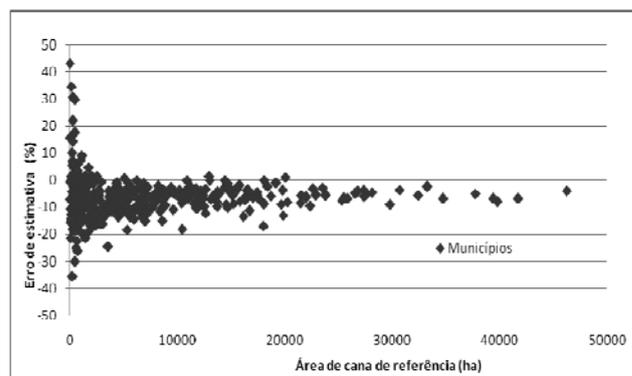


Fig. 6 - Erros de estimativa por tamanho de área de cana-de-açúcar cultivada nos municípios do Estado de São Paulo.

Nota-se também a tendência à subestimação da área, já que 88,2% dos municípios tiveram sua área de cana colhida subestimada. Em contrapartida, alguns

municípios tiveram sua área de cana colhida superestimadas em até 100%. Estudos anteriores sugeriram que mapeamentos de áreas com imagens de sensores de baixa resolução espacial (p. ex., MODIS/Terra) tendem à subestimação (PAX-LENNEY e WOODCOCK, 1997), em decorrência do efeito de cisalhamento das bordas e da mistura entre as respostas espectrais de áreas menores que o tamanho do *pixel* (PAX-LENNEY e WOODCOCK, 1997; LOBELL e ASNER, 2004; JIN e SADER, 2005).

As Tabelas 3 e 4 sumarizam os principais resultados quanto às estimativas de área colhida e permitem uma fácil comparação entre as técnicas de estimativa.

Sabidamente sobraram 4% de cana não colhida ao final da safra (cana bisada) em decorrência das chuvas de longa duração (CTC, 2004; UNICA, 2004; Aguiar et al., 2007), e este percentual foi considerado para avaliação das estimativas.

No que tange as composições utilizadas, a maior diferença entre as estimativas de áreas colhidas foi encontrada para o limiar de 25% de perda de biomassa, em que a estimativa resultante do uso das composições MODCSH foi aproximadamente 7% maior em relação ao uso das composições MODC. A aplicação do limiar de 23% de perda de biomassa sobre as composições MODCSH subestimou a área em apenas 0,76%, considerando 4% de cana bisada.

Todas as estimativas foram consideradas estatisticamente iguais aos dados de referência. Os valores p não foram significativos para $\beta_0 = 0$ e para $\beta_1 = 1$ (1% de nível de significância), conseqüentemente, a hipótese nula foi aceita em ambos os testes. Os valores p do teste de significância da regressão foram aceitos para ambos os limiares, a 1% de nível de significância, rejeitando a hipótese nula.

A análise da Tabela 4 permite avaliar a precisão temporal da técnica de estimativa de área. Entre os limiares utilizados, os aplicados sobre as

composições MODCSH alcançaram 20 acertos, representando 48,8 e 50% dos *pixels* estimados com limiares de 23 e 25%, respectivamente.

O limiar de 23% de perda de biomassa aplicado sobre as composições MODC resultou na *não estimação* da data de colheita de 4 *pixels* e em 21,1% de acertos. Os maiores coeficientes de correlação foram obtidos pelos limiares de perda de biomassa aplicados sobre as composições MODCSH, sejam eles: 0,95 e 0,94, para 25 e 23%, respectivamente.

A título de exemplo, é apresentado na Fig. 7 o mosaico final para o município de Catanduva com a área colhida em cada intervalo de análise, resultante da aplicação do limiar de perda de biomassa de 23% sobre as imagens MODCSH.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As composições MODCSH possibilitaram, independentemente do limiar empregado, a identificação de maior número de áreas de cana colhida durante a safra e os maiores percentuais de acerto das datas de colheita. Este resultado aponta para o uso futuro destas composições em um sistema operacional de monitoramento da colheita da cana-de-açúcar.

A metodologia desenvolvida para criação das composições MODCSH é simples e está atrelada à disponibilidade das imagens diárias de refletância e composições 16 dias de NDVI do sensor MODIS, bem como do mapa da área plantada da safra em questão. A gratuidade de distribuição destas imagens e o uso de *softwares* com o mesmo *status* garantem o baixo custo da metodologia. Em síntese, concluiu-se que:

1) É possível monitorar a colheita de cana-de-açúcar com imagens do sensor MODIS;

TABELA 3 - ESTIMATIVAS DE ÁREA COM O USO DAS IMAGENS MODC E MODCSH.

Limiar	MODCSH			MODC		
	Área estimada (ha)	Diferença quanto à referência (%)	sem cana bisada (%)	Área estimada (ha)	Diferença quanto à referência (%)	sem cana bisada (%)
25%	2.708.967	-6,24	-2,24	2.499.605	-13,50	-9,50
23%	2.751.609	-4,76	-0,76	2.589.869	-10,40	-6,40

TABELA 4 - PRECISÃO TEMPORAL DAS TÉCNICAS DE ESTIMATIVA DE ÁREA.

Limiar	Imagem	Estimativas			Total	<i>Pixels</i> não estimados	% acertos	Coeficiente Correlação (r)
		Acertadas	Prévias	Tardias				
23%	MODCSH	20	7	14	41	1	48,8	0,94
	MODC	8	9	21	38	4	21,1	0,93
25%	MODCSH	20	7	13	40	2	50,0	0,95
	MODC	11	9	19	39	3	28,2	0,93

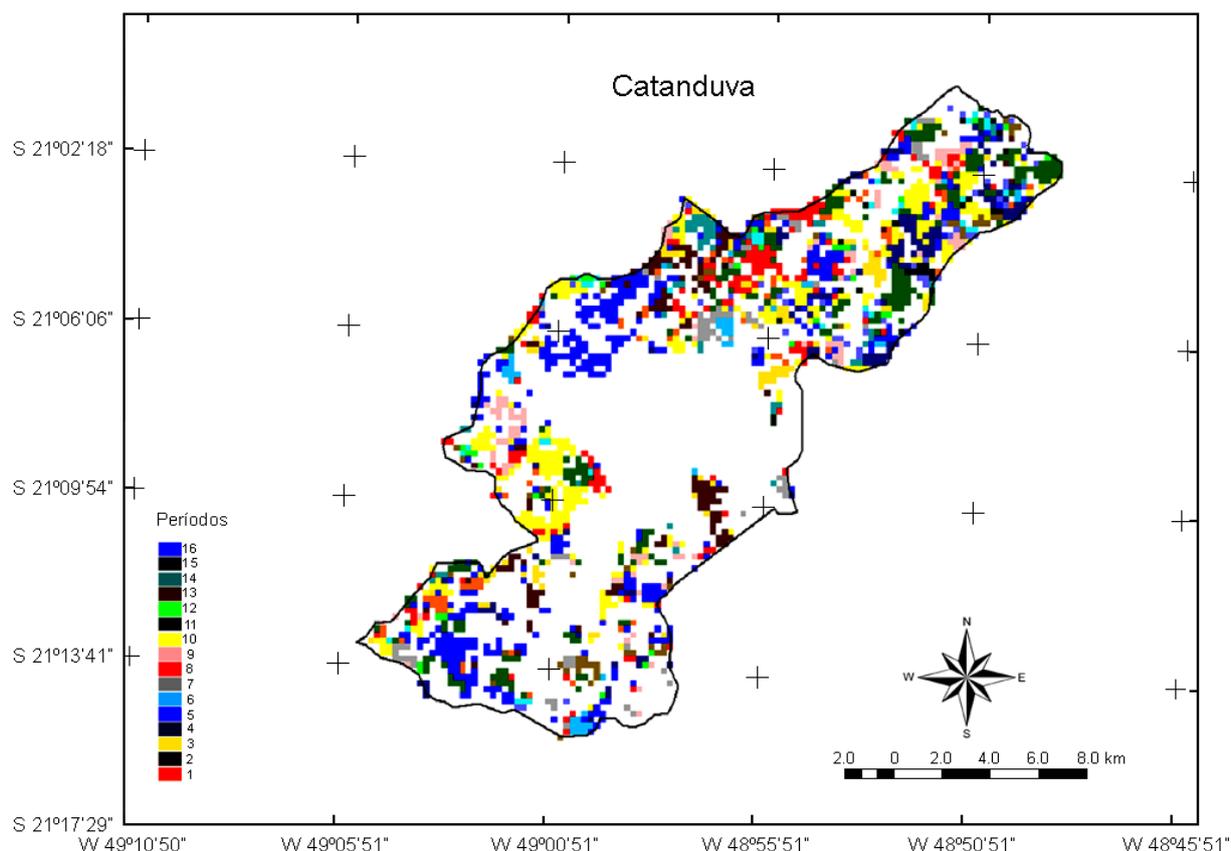


Fig. 7 - Recorte do município de Catanduva com áreas de cana colhida por intervalo de análise.

2) A aplicação do limiar de perda de biomassa sobre as composições MODCSH resulta nas melhores estimativas da área de cana colhida. O limiar de 25% resulta na melhor estimativa das datas de colheita, enquanto o limiar de 23% obtém a melhor estimativa da área colhida;

3) As composições MODCSH se mostram apropriadas para detecção do corte da cana, pois evidenciam as áreas colhidas ao longo da safra, além de aumentarem a precisão das estimativas das datas de colheita.

AGRADECIMENTOS

À Usina Catanduva pela cessão dos dados de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; FEITOSA, F. F.; GONÇALVES, F. G.; RUDORFF, B. F. T.; RIZZI, R. **Análise espacial da colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: a influência da precipitação.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIII, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos, 2007, INPE.

ANDERSON, L.O.; SHIMABUKURO, Y.E.; ARAÍ, E. **Multitemporal fraction images derived from Terra MODIS data for analyzing land cover change over the Amazon region.** *International Journal of Remote Sensing*, v. 26, n. 11, p. 2251-2257. June 2005.

CHUVIECO, E.; VENTURA, G.; MARTÍN, M.P.; GÓMEZ, I. **Assessment of multitemporal compositing techniques of MODIS and AVHRR images for burned land mapping.** *Remote Sensing of Environment*, v. 94, p. 450-462. Feb. 2005. Centro de Tecnologia Canaveira (CTC). Notícias. Piracicaba, 2004. Disponível em: <<http://www.ctcanaveira.com.br>>. Acesso em: 25 de Out. de 2005.

GAO, X.; HUETE, A. R. **Multisensor comparisons and validation of MODIS vegetation indices at the semiarid jornada experimental range.** *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 41, n. 10. Oct. 2003.

HUETE, A.; JUSTICE, C.; LEEUWEN, W. V. **MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document**, 1999. Disponível em: <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf> Acesso em: Jan. 2006.

- JIN, S.; SADER, S. A. **MODIS time-series imagery for forest disturbance detection and quantification of patch size effects** *Remote Sensing of Environment*, v. 99, n 4, p. 462-470. Dec. 2005.
- LEEUWEN, W. J. D.; HUETE, A. R.; JIA, S.; WALTHALL, C. L. **Comparison of vegetation index compositing scenarios BRDF versus maximum VI approaches.** In: *IEEE-IGARSS*. Lincoln, Nebraska, p. 1423-1425. 1996.
- LOBELL, D. B.; ASNER, G. P. **Cropland distributions from temporal unmixing of MODIS data.** *Remote Sensing of Environment*, v. 93, n 3, p. 412 – 422. Nov. 2004.
- MIURA, T.; HUETE, A. R.; YOSHIOKA, H. Evaluation of sensor calibration uncertainties on vegetation indices for MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 38, n. 3, p?. May. 2000.
- PAX-LENNEY, M.; WOODCOCK, C. E. **Monitoring agricultural lands in Egypt with multitemporal Landsat TM imagery: how many images are needed?** *Remote Sensing of Environment*, v. 59, n. 3, p. 522-529. Mar. 1997.
- RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; XAVIER, A.C.; MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; ROSA, V. G. C.; SHIMABUKURO, Y.E. **Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar em municípios do estado de São Paulo por meio de imagens de satélites e técnicas de geoprocessamento: ano safra 2003/2004.** São José dos Campos. INPE, 2004a. 47 p. (INPE-10791-RPQ/759).
- RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; ROSA, V. G. C. **Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar em municípios do estado de São Paulo por meio de imagens de satélites e técnicas de geoprocessamento: ano safra 2004/2005.** São José dos Campos. INPE, 2004b. 54 p. (INPE-11421-RPQ/762).
- SEDANO, F.; GONG, P.; FERRÃO, M. **Land cover assessment with MODIS imagery in southern African Miombo ecosystems.** *Remote Sensing of Environment*, v. 98, n. 4, p. 429 – 441. Oct. 2005.
- TAN, B.; WOODCOCK, C. E.; HU, J.; ZANG, P.; OZDOGAN, M.; HUANG, D.; YANG, W.; KNYAZINKHIN, Y.; MYNENI, R.B. **The impact of gridding artifacts on the local spatial properties of MODIS data: Implications for validation, compositing, and band-to-band registration across resolutions.** *Remote Sensing of Environment*, v. 105, n. 2, p. 98-114. Nov. 2006.
- União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA). Estatísticas agrícolas.** São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.portalunica.com.br>>. Acesso em: 17 de Nov. de 2005.
- WALTHALL, C. L., NORMAN, J. M., WELLES, J. M., CAMPBELL, G.; BLAD, B. L. **Simple equation to approximate the bidirectional reflectance from vegetative canopies and bare soil surfaces.** *Applied Optics*, v. 24, p. 383-387. Opt. 1985.
- XIAO, X.; LIU, J.; ZHUANG, D.; FROLKING, S.; BOLES, S.; XU, B.; LIU, M.; SALAS, W.; MOORE III, B.; LI, C. **Uncertainties in estimates of cropland area in China: a comparison between an AVHRR-derived dataset and Landsat TM-derived dataset.** *Global and Planetary Change*. v. 37, p 297 – 306. Jun. 2003.