

SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL COMO MEIO AUXILIAR NA PREVISÃO DE SAFRAS¹

Gabriela Alexandra Ippoliti-Ramilo²
José Carlos Neves Epiphânio³
Yosio Edemir Shimabukuro⁴
Antonio Roberto Formaggio³

ORBITAL REMOTE SENSING AS AN AID IN ESTIMATING CROP FORECASTS

RESUMO

A previsão de safras é uma atividade necessária para o planejamento das políticas agrícolas no País, sendo de interesse tanto do setor público quanto da iniciativa privada. Até o momento, no Brasil, o uso de dados de satélites para previsão de safras é feito de maneira marginal. Entretanto, a possibilidade de usar dados de satélites como meio complementar às metodologias correntes deve ser mais bem explorada. Este trabalho apresenta uma metodologia baseada em imagens do satélite Landsat-5 adquiridas no período do inverno/primavera visando à estimativa da área destinada ao cultivo das culturas de verão. Foram utilizadas imagens de junho, setembro e outubro de 1997, nas quais se fizeram os processamentos de retificação radiométrica e geração do Índice de Vegetação Diferença Normalizada (NDVI). Após uma avaliação do calendário agrícola da região e das classificações multitemporais das imagens NDVI, auxiliadas pela classificação unitemporal da imagem de junho, foram definidas as áreas das diversas classes de uso para o verão. Os resultados mostraram discrepâncias superiores a três vezes entre os dados de área fornecidos pelas imagens e aqueles fornecidos pelo Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA). Faz-se uma discussão das causas de tais discrepâncias e apontam-se direções para o uso de dados de sensores remotos em estatísticas agrícolas.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, estimativa de área agrícola, Landsat, áreas preparadas para plantio.

SUMMARY

Crop forecasting is an important task in many agricultural planning policies in government and private sectors. The addition of satellite data to traditional methodologies can improve crop yield estimates. However, in tropical countries, the use of high spatial resolution satellite data is hampered mainly by the high percentage of cloud cover during the summer season. This paper deals with the development of a methodology for pre-evaluating the areas to be assigned as annual summer crops by using satellite data. In general, there is a higher probability of acquiring good satellite data in the winter/spring seasons. Thus, it was hypothesized that it is possible to estimate the area of the fields assigned to be cultivated in the following summer. This area could be calculated by using multitemporal supervised and non-supervised classifications of vegetation indices imaging derived from TM/Landsat data and the crop calendar. The comparison of the results derived from this methodology with official statistics showed some strong differences, which have been attributed to the subjective method adopted to generate the official statistics. Field checks proved the good accuracy of the classifications performed on the remote sensing data.

Key-words: remote sensing, Landsat, agricultural survey, crop area estimates.

¹Trabalho baseado na dissertação de mestrado do primeiro autor (IPPOLITI-RAMILO, 1998). Os autores agradecem aos Engenheiros Agrônomos Maurício dos Santos Simões e Jordana Pianoski o apoio de campo, e ao Engenheiro Agrônomo José Roberto Vicente a cessão de dados, à CAPES a Bolsa de Mestrado à primeira autora, ao CNPq a Bolsa de Pesquisa aos outros autores, ao IEA e ao IBGE a colaboração.

²Engenheiro Agrônomo, Mestre, Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

³Engenheiro Agrônomo, Doutor, Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

⁴Engenheiro Florestal, Ph.D., Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

1 - PREVISÃO DE SAFRAS: IMPORTÂNCIA E IMPLEMENTAÇÃO NO BRASIL

O mercado agrícola funciona segundo a lei da oferta e da procura, e há grupos com interesses conflitantes que seguem a evolução dos preços. Variações nas colheitas de produtos agrícolas podem exercer grande influência nas decisões do poder público e de vários setores da economia (VICENTE, 1994). Déficits na produção provocam uma alta dos preços e, ao contrário, a superprodução num ano favorável associa-se a uma queda dos preços mundiais. Assim, torna-se cada vez mais evidente que grupos que disponham de informação confiável e precisa sobre as tendências da produção numa determinada safra agrícola tenham lucro, enquanto outros sem informação tenham prejuízo.

Sob o ponto de vista dos países produtores, uma das soluções para o problema das flutuações excessivas dos preços ou da desvalorização dos produtos é o uso de um sistema eficiente de previsão de safras que permita uma melhor avaliação da colheita (DALLEMAND, 1987). As estimativas de safras têm como finalidade principal subsidiar os formuladores de políticas agrícolas e os tomadores de decisão do setor privado ligados às atividades agropecuárias (VICENTE et al., 1990). Além disso, os modelos econômicos indicam que pequenos melhoramentos na precisão da previsão de safras ocasionam diferenças de rendas de centenas de milhões de dólares para os consumidores mundiais. Estes aspectos apresentam uma real importância no caso do Brasil, devido à sua posição em mercados, tais como: o de café, cacau, soja e laranja.

As previsões de safras obtidas com suficiente antecipação à época de colheita das culturas e com exatidão aceitável justificam-se para o planejamento das exportações agrícolas, para o auxílio na tomada de decisões relacionadas ao abastecimento do mercado interno e planejamento das importações, para o planejamento do consumo energético do país e para a adoção de políticas governamentais tendentes a fomentar o desenvolvimento de determinados produtos considerados relevantes para a economia.

Os sistemas de previsão de safras baseiam-se no produto da área ocupada pelas culturas (na

escala de uma região, um estado ou um país) pelo seu rendimento médio. Os valores de cada uma dessas variáveis podem ser obtidos por meio de dois mecanismos básicos: os censos agropecuários e a amostragem da população agrícola. Os censos constituem formas demoradas, custosas e pouco práticas para a obtenção de dados anuais ou estacionais em grandes populações, pois envolvem o levantamento de cada unidade da população. VICENTE et al. (1990) apontaram que a principal desvantagem do censo é a demora na publicação dos resultados; por exemplo, em janeiro de 1990, ainda não tinham sido divulgados os dados do Censo Agropecuário de 1985 efetuado pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Por outro lado, os levantamentos baseados em amostragens da população agrícola utilizam o procedimento de inferência para a estimativa da produtividade das culturas de interesse. Nesses levantamentos distinguem-se os de tipo subjetivo e os probabilísticos (FOOD, 1996).

No Brasil, as previsões de abrangência nacional ou regional atualmente operacionais são feitas utilizando informações municipais obtidas por meio de levantamentos subjetivos, baseados nas opiniões de agentes técnicos e econômicos relacionados ao setor agrícola (IBGE, 1998; PREVISÕES, 1998). Os dados coletados seguindo esse procedimento não permitem a realização de avaliações estatísticas ou de estimativas da precisão dos resultados (COLLARES; LAURIA; CARRILHO 1993).

A necessidade de ampliação do uso de pesquisas objetivas na previsão de safras é um fato reconhecido no Brasil. Vários esforços foram feitos no sentido de implementar um sistema robusto e objetivo para melhorar a qualidade das estimativas (IBGE, 1987). Entretanto, somente a partir de 1986 é que foi iniciada pelo IBGE, em convênio com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a implantação de um Sistema de Informações Agropecuárias (SIAG) em grande escala, baseado em métodos probabilísticos, técnicas de sensoria-mento remoto e processamento geográfico dos dados, atualmente denominado Pesquisa Objetiva de Previsão de Safras (PREVS). A área inicial de abrangência do projeto correspondeu aos Estados de Santa Catarina, São Paulo, Paraná e ao Distrito

Federal (FOOD, 1998).

Apesar dos esforços realizados na PREVS, ainda não se estabeleceu um procedimento sistemático que possa ser utilizado anualmente em todos os estados inicialmente selecionados e que forneça as informações com suficiente antecedência à época de colheita das culturas para que sejam de utilidade na tomada de decisões. Segundo COLLARES; LAURIA; CARRILHO (1993), o desenvolvimento da PREVS significa um avanço no sentido do estabelecimento de um processo de levantamento objetivo e os resultados obtidos foram considerados de boa qualidade e relevantes, apesar de gerados num prazo superior àquele considerado adequado. LAURIA e COLLARES (1996) destacaram que alguns dos problemas relacionados à PREVS são a desatualização das fotografias aéreas de arquivo e das informações cartográficas utilizadas no levantamento dos segmentos amostrais. Em geral, as fotografias foram obtidas há mais de 20 anos e, para a grande maioria dos segmentos, não refletem mais a realidade presente. Isso dificulta ou inviabiliza o trabalho dos entrevistadores em áreas de intensa alteração do uso do solo.

Fundamentalmente, o sistema prevê a utilização de dois métodos estatísticos para a estimativa das variáveis agrícolas: a expansão direta e o estimador por regressão. A expansão direta foi o único método estatístico efetivamente empregado até o momento. A estimativa de áreas através do estimador por regressão, usando como variável auxiliar dados obtidos da classificação de imagens de sensores remotos, ainda não foi aplicado (COLLARES; LAURIA; CARRILHO, 1993).

No método por expansão direta são utilizados dados coletados no campo para obter estimativas de variáveis, tais como: área plantada, a ser plantada, colhida e rendimento médio esperado das principais culturas de verão (FOOD, 1998). A coleta de dados consiste em delimitar e medir os campos de cultivos e outras áreas de ocupação do solo sobre fotografias aéreas, nas quais estão previamente delimitados os segmentos que compõem a amostra (MOREIRA et al., 1989).

No Brasil, a utilização de dados de sensoriamento remoto orbital encontra-se limitada à fase de construção dos painéis amostrais, em que é realizada a interpretação visual de dados do sen-

sor TM/Landsat (Thematic Mapper) para a estratificação regional com base na homogeneidade do uso das terras. Porém, o caráter *multiespectral, sinóptico, repetitivo e global* dos dados orbitais indica esta tecnologia como uma grande aliada dos sistemas de previsão de safras. O seu uso vem ganhando importância há mais de duas décadas e tem permitido obter resultados objetivos em prazos adequados às necessidades dos usuários e com maior precisão e menor custo do que com as técnicas convencionais, como foi apresentado em vários trabalhos (ALLEN e HANUSCHACK, 1988; HILL e MÉGIER, 1987; BOISSEZON e SHARMAN, 1993; GONZÁLEZ-ALONSO et al., 1997).

2 - CARACTERÍSTICAS DOS SENSORES DO SATÉLITE LANDSAT

O programa Landsat encontra-se em operação desde 1972 e representa, no atual estado da arte, a fonte de dados de sensoriamento remoto com maior continuidade ao longo do tempo. Desde 1973, os dados coletados são recebidos no Brasil, que conta com infra-estrutura para sua recepção, processamento e distribuição através do INPE. Até o momento, o programa compõe-se de uma série de 5 satélites desenvolvidos e controlados sob os auspícios da National Aeronautics and Space Administration (NASA).

Em março de 1984 foi lançado o Landsat-5, utilizado neste trabalho; e recentemente foi lançado o Landsat-7. A sua órbita é repetitiva, circular, síncrona com o sol e quase-polar, estando posicionada a 705km de altitude em relação à superfície terrestre. O sistema de recobrimento de uma mesma superfície no terreno é a cada 16 dias, o que é razoavelmente adequado às necessidades agrícolas.

O satélite encontra-se equipado com dois instrumentos: o sensor Multispectral Scanner (MSS) e o sensor Thematic Mapper (TM) que coletam dados de uma faixa de 185km. Estes sensores possuem um sistema de varredura mecânica (*whiskbroom*). Um espelho móvel, que oscila perpendicularmente à direção da trajetória do satélite, permite-lhes explorar uma faixa do terreno de ambos os lados dessa trajetória. A radiância dos alvos terrestres

(cidades, campos de cultivo, oceanos, etc.) é recebida por esse componente óptico e se dirige a uma série de detetores que a convertem num sinal elétrico. Posteriormente, este sinal é transformado num valor numérico digital que pode ser armazenado a bordo do satélite, ou ser transmitido à rede de antenas de recepção. Desta forma, os sensores convertem os sinais analógicos (a radiância recebida em diferentes bandas do espectro eletromagnético) em valores numéricos que associam-se a cada um dos *pixels* das imagens digitais. Esses valores numéricos podem ser traduzidos novamente em níveis de radiância ou reflectância, a partir da utilização dos coeficientes de calibração dos sensores e do conhecimento das condições de aquisição das imagens (MARKHAM e BARKER, 1986). Ou seja, é possível realizar uma conversão a partir dos números digitais das imagens para obter valores com significado físico sobre a situação da superfície terrestre no momento da passagem do satélite.

As características de resolução espectral e resolução espacial dos sensores TM e MSS do Landsat-5 são apresentadas na tabela 1. A melhoria da resolução espacial (diminuição do tamanho da unidade mínima reconhecida no terreno) e espectral (maior número e menor largura das bandas), que oferece o sensor TM, em relação ao MSS, permite uma maior precisão no mapeamento temático das áreas de agricultura e determina que esses dados sejam os mais amplamente utilizados nos sistemas de previsão de safras.

Especificações mais detalhadas dos sistemas sensores do satélite Landsat-5 podem ser obtidas em FREDEN e GORDON (1983), MATHER (1993), LILLESAND e KIEFER (1994) e RICHARDS (1995).

O satélite Landsat-6, concebido para substituir o Landsat-5, teve insucesso no lançamento e não concluiu a sua órbita em 1996; e, recentemente, foi lançado o satélite Landsat-7, com características orbitais semelhantes às do Landsat-5, equipado com um sistema de varredura mecânica denominado Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Possui 4 bandas nas regiões do visível e infravermelho próximo do espectro eletromagnético (0,45-0,515 μm ⁵; 0,525-0,605 μm ; 0,63-0,69 μm ;

0,75-0,90 μm) e 2 bandas no infravermelho médio (1,55-1,75 μm ; 2,09-2,35 μm) com 30m de resolução espacial; uma banda pancromática (0,52-0,90 μm) com 15m; e uma banda no infravermelho termal (10,4-12,5 μm) com 60m de resolução no terreno (NATIONAL, 1998). Estas características do ETM+ tornam ainda mais interessante a utilização desses dados para o monitoramento de áreas agrícolas, pois serão de melhor qualidade radiométrica e espacial que os do sensor TM/Landsat-5, atualmente disponíveis.

O Brasil, num projeto em conjunto com a China, vem desenvolvendo um satélite de recursos naturais denominado China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS), com características muito apropriadas para aplicações em agricultura. Está projetado para entrar em operação em 1999, e suas características principais estão apresentadas na tabela 2. É composto de três sistemas sensores: a Câmera de Alta Resolução Espacial, o Imageador de Grande Campo de Visada (WFI) e o Varredor Multiespectral Infravermelho. O primeiro é uma câmera com alta resolução espacial (20m), com possibilidade de visada lateral. Essa característica permitirá uma maior possibilidade de revisita, o que, para a agricultura, significa maior chance de obtenção de imagens livres de nuvens. O WFI é um sensor com baixa resolução espacial (260m) e capacidade de visitar uma mesma área em menos de cinco dias. Com esse sensor há a possibilidade de monitoramentos agrícolas frequentes, sendo que seus dados poderão servir a modelos de produtividade regionais. O terceiro instrumento é um sensor de varredura, com quatro bandas espectrais (uma pancromática, duas no infravermelho médio e uma no infravermelho termal). As três primeiras terão resolução espacial de 78m, e a última de 156m. O CBERS terá um período orbital de 26 dias.

A partir das descrições realizadas, destaca-se que as vantagens da utilização dos dados coletados pelos sistemas sensores de alta resolução espacial nos programas de previsão de safras residem principalmente no fato de que possibilitam a interpretação automática e o controle contínuo e atualizado de grandes áreas agrícolas. Um aspecto negativo destes sistemas sensores de natureza óptica é que as informações podem ser perdidas

⁵1 μm = 10⁻⁶ metros.

TABELA 1 - Principais Características dos Sensores TM e MSS do Satélite Landsat-5

Sensor	Característica	Banda	Especificação
TM	Resolução espectral	1	0,45-0,52µm
		2	0,52-0,60µm
		3	0,63-0,69µm
		4	0,76-0,90µm
		5	1,55-1,75µm
		6	10,4-12,5µm
		7	2,08-2,35µm
Resolução espacial	1, 2, 3, 4, 5, 7	30m	
	6	120m	
MSS	Resolução espectral	4	0,5-0,6µm
		5	0,6-0,7µm
		6	0,7-0,8µm
	7	0,8-1,1µm	
	Resolução espacial	4, 5, 6, 7	79m

Fonte: Adaptada de RICHARDS (1995, p.13).

TABELA 2 - Características Principais dos Sensores do Satélite Sino-Brasileiro China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS)

Sensor	Resolução espectral	Resolução espacial	Resolução temporal
Câmera de Alta Resolução	0,45-0,52µm	19,5m	26 dias, com possibilidade de visada lateral
	0,52-0,59µm	19,5m	
	0,63-0,69µm	19,5m	
	0,77-0,89µm	19,5m	
	0,51-0,73µm	19,5m	
Varredor Multiespectral Infravermelho	0,50-1,10µm	77,8m	26 dias
	1,55-1,75µm	77,8m	
	2,08-2,35µm	77,8m	
	10,04-12,50µm	156m	
Imageador de Grande Campo de Visada	0,63-0,65µm	256m	Menor que 5 dias
	0,77-0,89µm	256m	

Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (1995).

por causa da cobertura de nuvens. Este fato torna-se especialmente relevante para as previsões de safras de culturas de verão, pois o período para a obtenção de dados durante a época de crescimento coincide com o período de chuvas, associado a grande nebulosidade. Como o ciclo das culturas é relativamente curto (aproximadamente quatro meses ao ano), os satélites imageiam a mesma área aproximadamente oito vezes durante o ciclo, podendo acontecer que dentro desse período sejam obtidas poucas ou mesmo nenhuma imagem livre de cobertura de nuvens. Porém, nessas situações de escassez de dados, existem algumas alternativas, tais como:

- utilização de dados obtidos por sensores imagea-

dores na faixa das microondas, que são sensores não ópticos e que conseguem fazer imageamento mesmo na presença de nuvens (BRISCO e BROWN, 1995);

- utilização de imagens de baixa resolução espacial obtidas a partir de sistemas sensores que apresentam menores tempos de revisita, permitindo, dessa maneira, a obtenção de informação mais freqüente na estação de crescimento. MOREIRA (1992) destacou que, no caso da agricultura brasileira, a utilização de dados Advanced Very High Resolution Radiometer/National Oceanic and Atmospheric Administration (AVHRR/NOAA), com fins de previsão de safras, torna-se muito complexa quando se sabe que em muitas regiões do

País grande parte das culturas agrícolas caracterizam-se pelo plantio em pequenos talhões, incompatíveis com a resolução do sensor;

- utilização de dados de satélite obtidos antes da estação de crescimento das culturas de verão, em que aumenta a probabilidade de obtenção de imagens livres de nuvens (ASSUNÇÃO e DUARTE, 1980 e 1983; IPPOLITI-RAMILO, 1998).

3 - USO DOS DADOS DO LANDSAT PARA A PREVISÃO DE SAFRAS NO BRASIL

No Brasil, tanto para a estimativa de rendimento como de área ocupada pelas culturas, foram realizados vários trabalhos que confirmaram as tendências mundiais e mostraram ser viável a utilização de dados de sensoriamento remoto para a obtenção de informação objetiva para auxiliar os sistemas de previsão de safras. Porém, a utilização operacional dos dados de sensoriamento remoto encontra-se restrita à construção dos painéis amostrais no contexto da PREVS, como anteriormente descrito.

3.1 - Estimativas de Rendimento

A previsão do rendimento da maioria das culturas é um problema complexo. Envolve um grande número de variáveis da vegetação em si, das condições de solo, do clima, das práticas agrônômicas e das políticas econômicas. Alguns dos efeitos desses fatores podem ser avaliados através de modelos. Os modelos convencionais mostram-se insensíveis a variações climáticas bruscas, as quais podem influir muito no rendimento. Além disso, a distribuição da rede de coleta de dados é, muitas vezes, insuficiente para detectar as variações climáticas entre regiões próximas (DELLÉ-COLLE et al., 1992). Os modelos que utilizam parâmetros agrônômicos (tais como: índice de área foliar, radiação fotossinteticamente ativa, albedo, temperatura do dossel e outros) para a estimativa do rendimento, muitas vezes, não podem ser utilizados de maneira operacional em sistemas de previsões de safras agrícolas, devido às dificuldades de obter medidas desses parâmetros para grandes

áreas. Porém, o sensoriamento remoto orbital tem mostrado ser uma alternativa adequada para obter informações desses parâmetros agrônômicos. As correlações significativas entre a reflectância das culturas e os parâmetros agrônômicos relacionados ao rendimento têm estimulado o uso dos dados espectrais em modelos de rendimento (CLEVERS et al., 1994; MORAN; MAAS; PINTER, 1995).

No Brasil, RUDORFF e BATISTA (1990) utilizaram um modelo para a estimativa do rendimento de cana-de-açúcar da usina de Barra Grande (SP), usando dados espectrais obtidos das imagens MSS/Landsat e dados meteorológicos de um determinado ano, para avaliar o rendimento do ano subsequente. Observaram que o uso conjunto dos dados meteorológicos e do índice de vegetação Ratio Vegetation Index (RVI) (banda MSS4 / banda MSS2), derivado das imagens, num único modelo melhorou significativamente os resultados em relação ao uso do RVI ou dos dados meteorológicos isoladamente.

Em outro estudo, RUDORFF e BATISTA (1991) desenvolveram um modelo de rendimento de trigo num estabelecimento agrícola no sul do Estado de São Paulo. Integraram-se estimativas de crescimento do cultivo através do RVI gerado das imagens TM/Landsat (banda TM4 / banda TM3). Observaram novamente que os resultados propostos pelo modelo tinham maiores coeficientes de determinação e menores erros do que as estimativas feitas com os componentes do modelo separadamente. Determinaram, assim, que o modelo forneceu uma boa precisão nos resultados para os anos analisados, quando compararam as estimativas com o rendimento real do cultivo ($r^2 = 0,65$ com um desvio padrão de 339kg/ha).

O uso de satélites de baixa resolução espacial (> 1km) e alta resolução temporal (~1 dia) tem sido aplicado à estimativa de rendimento. Em geral, esses dados podem ser aplicados diretamente em modelos espectrais através de índices de vegetação, ou podem ser acoplados a modelos agrometeorológicos. FONTANA e BERLATO (1998) aplicaram um modelo espectral (índice de vegetação derivado de dados do satélite NOAA) acoplado a um modelo agrometeorológico para avaliar o rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul.

Observaram desvios variando entre 0,05% e -16% em relação aos rendimentos provenientes de estatísticas oficiais do IBGE.

As estimativas de rendimento em que se necessita de dados de sensoriamento remoto ainda precisam de mais desenvolvimentos. Em geral, há dois problemas que precisam ser vencidos. O primeiro é o da baixa disponibilidade de dados de alta resolução espacial na época de ocorrência das culturas. O segundo é o do ajuste dos dados de baixa resolução espacial à necessidade dos modelos voltados a culturas regionalmente específicas.

3.2 - Estimativas de Área Cultivada

Em associação à perspectiva de reconhecimento e identificação das culturas através das suas características espectrais, encontra-se a possibilidade da utilização dos dados de sensoriamento remoto na quantificação da área cultivada. No Brasil, como pesquisa, foram desenvolvidas algumas experiências visando a utilização da informação resultante das classificações de imagens obtidas por sensoriamento remoto na estimativa de áreas de plantio. Nesse sentido, MOREIRA (1983) desenvolveu um procedimento para estimativa da área cultivada com trigo numa área-teste do Estado do Rio Grande do Sul, usando uma técnica de amostragem baseada em fotografias aéreas e informação obtida a partir de classificações supervisionadas e não-supervisionadas de dados do sensor MSS/Landsat. Entre outras conclusões, observou-se que as estimativas da área ocupada com trigo usando somente a informação das fotografias aéreas, através do estimador por expansão direta, foram menos precisas e menos exatas do que aquelas obtidas pelo estimador por regressão que utilizou a informação das classificações.

MOREIRA e CHEN (1988) desenvolveram um trabalho numa região do Estado do Paraná, visando utilizar resultados da classificação digital de dados do satélite TM/Landsat-5 como variável auxiliar, e dados de campo no processo estatístico de estimativa por regressão para inventário de culturas de verão. MOREIRA et al. (1989) avaliaram a contribuição dos dados do sensor TM/Landsat na estimativa da área de soja no Distrito Federal através da expansão direta. Os resultados mostraram

que a fotointerpretação de imagens de satélite foi tão eficiente quanto a coleta de dados no campo, indicando que o procedimento poderia ser utilizado como uma alternativa em regiões onde não há cobertura aerofotográfica ou as fotografias aéreas existentes são muito antigas, ou até para substituir a coleta de dados de campo para essas culturas.

MEDEIROS; RUDORFF; SHIMABUKURO (1996) trabalharam em quatro municípios no norte do Estado de São Paulo. Realizaram uma comparação entre a estimativa de área cultivada com distintas culturas de primeira safra feita pelo LSPA e os resultados obtidos numa classificação temática supervisionada de dados do sensor TM/Landsat da estação de crescimento das culturas. Observaram grandes diferenças entre as estimativas de área plantada com os cultivos de cana-de-açúcar, soja e milho obtidas por meio da análise das imagens de satélite, e as estimativas de área plantada comunicadas pelo LSPA para os municípios. Estes autores indicaram a importância de investir esforços na verificação da origem e natureza das divergências encontradas.

CHEN (1990) fez considerações sobre a implementação de um sistema operacional para estimar a área de culturas de verão usando classificações multiespectrais de dados obtidos por sensoriamento remoto durante a estação de crescimento. Além das dificuldades determinadas pela escassez de imagens durante o período de crescimento das culturas devido à presença de nuvens, foi apontado que uma das maiores limitações do método é determinada pela rigidez do cronograma. Nesse ponto, ressaltou que, para que o sistema seja útil para o setor agrícola, as estimativas devem estar disponíveis antes do fim da safra, isto é, em abril. Como o trabalho de campo deve ser programado para a segunda quinzena de janeiro, quando a maior parte das culturas estudadas já tenham atingido um estágio de desenvolvimento razoável para serem detectadas, então, três meses e meio é o tempo máximo de disponibilidade para a análise digital.

Tentando contornar essas limitações, ASSUNÇÃO e DUARTE (1980 e 1983) utilizaram dados obtidos antes da estação de crescimento das culturas de verão. Nessa época, a probabilidade de se obter imagens livres de nuvens aumenta,

e é possível fazer uma estimativa de áreas preparadas para plantio. Utilizaram fotografias aéreas e dados do sensor MSS do satélite Landsat para um município do Estado de São Paulo. A época em que os solos encontravam-se preparados para plantio correspondeu ao período de maior probabilidade de obtenção de imagens livres de cobertura de nuvens. Obtiveram bons resultados na classificação digital utilizando um algoritmo de classificação gaussiana por máxima verossimilhança, e a precisão obtida na classificação da classe "solo preparado para plantio" esteve entre 87,5% e 99,1%. O último valor de desempenho da classificação, considerado "excelente" pelos autores, foi justificado por se tratar de um módulo mais homogêneo com relação ao tipo de solo e ao tipo de cultura e, também, por apresentar poucas áreas de pastagens. Segundo BATISTA et al. (1978), as altas precisões encontradas em classificações dessa natureza poderiam ser explicadas pelo alto contraste existente entre o solo exposto e os alvos vizinhos. Os autores não realizaram a comparação dos seus resultados com aqueles obtidos pelos métodos convencionais, provavelmente por terem trabalhado com uma área que não correspondia à unidade de informação utilizada nos levantamentos do IBGE ou do Instituto de Economia Agrícola (IEA) - Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), que é o município.

4 - METODOLOGIA E RESULTADOS RECENTES

IPPOLITI-RAMILO (1998) avaliou a utilização de dados multitemporais do sensor TM/Landsat obtidos na época de pré-plantio, para a estimativa da área a ser cultivada com culturas de ciclo curto no verão, por município. O trabalho foi realizado numa área teste que abrangeu três municípios do Estado de São Paulo (Nova Odessa, Sumaré e Hortolândia) e foram utilizadas três imagens multiespectrais (bandas TM 1, 2, 3, 4, 5 e 7) de 8 de junho, 28 de setembro e 14 de outubro de 1997, para a previsão da área de culturas de ciclo curto da safra 1997/98.

O procedimento de processamento dos dados multitemporais do período "da seca" baseou-se na história agrícola dos talhões e tradição de

cultivo dos agricultores (ORTIZ; FORMAGGIO; EPIPHANIO, 1997) para o mapeamento e quantificação daquelas áreas com maior probabilidade de serem cultivadas com culturas de ciclo curto no verão (Tabela 3). Inicialmente, foi realizada a normalização das condições geométricas e radiométricas das imagens, com o objetivo de se realizar comparações confiáveis entre as condições de um mesmo alvo nas três datas. Numa segunda etapa foram geradas classificações supervisionada (máxima verossimilhança) e não-supervisionada (ISO-DATA) das imagens Normalized Difference Vegetation Index (NVDI) $[(TM4+TM3)/(TM4-TM3)]$ de cada data, combinadas com a classificação supervisionada da data de junho, para a obtenção de classificações híbridas (ou em duas etapas).

Os resultados dessa pesquisa indicaram que a utilização dos dados multitemporais do sensor TM/Landsat da época de pré-plantio resultou numa alternativa viável para a identificação e cálculo, em nível municipal, da superfície dos talhões a serem cultivados com culturas de ciclo curto no verão. Essa estimativa pode ser associada a informações de intenção de plantio e fornecer uma primeira indicação das safras esperadas num determinado ano agrícola. Após a comparação com os dados de campo, as classificações realizadas mostraram ser eficientes na discriminação da maior parte das situações de uso/cobertura registradas no período junho-outubro, com índices de exatidão geral entre 81% (classificação não-supervisionada híbrida) e 86% (classificação supervisionada híbrida) e coeficientes Kappa (LANDIS e KOCH, 1977) entre 0,75 (classificação muito boa) e 0,81 (classificação excelente), respectivamente.

Houve diferenças marcantes entre as estimativas de área geradas a partir da classificação de melhor desempenho a partir dos dados TM/Landsat e as realizadas pelo IBGE através do método subjetivo (IBGE, 1998) (Tabela 4).

A partir dos dados da tabela 4 (IPPOLITI-RAMILO, 1998) observa-se que, para a estimativa da área cultivada com cana-de-açúcar no município de Nova Odessa, obtida como subproduto das classificações, houve a maior semelhança entre os resultados das duas metodologias, sendo que o quociente entre ambas foi próximo de 1 (coluna 4). A diferença absoluta entre as estimativas (colu-

TABELA 3 - Situações de Uso/Cobertura Agrícola de Maior Ocorrência no Período Junho-Outubro na Região de Estudo

Situação	Uso/cobertura			Uso provável no verão
	Junho	Setembro	Outubro	
1	Solo exposto/solo com resíduos	Cultura de ciclo curto	Cultura de ciclo curto	Cultura de ciclo curto
2	Solo exposto/solo com resíduos	Cultura de ciclo curto	Solo exposto/solo com resíduos	Cultura de ciclo curto
3	Cultura de ciclo curto	Solo exposto/solo com resíduos	Solo exposto/solo com resíduos	Cultura de ciclo curto
4	Cultura de ciclo curto	Cultura de ciclo curto	Cultura de ciclo curto	Cultura de ciclo curto
5	Cultura de ciclo curto	Cultura de ciclo curto	Solo exposto/solo com resíduos	Cultura de ciclo curto
6	Solo exposto/solo com resíduos	Solo exposto/solo com resíduos	Solo exposto/solo com resíduos	Cultura de ciclo curto
7	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
8	Solo exposto/solo com resíduos	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
9	Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar	Solo exposto/solo com resíduos	Cana-de-açúcar
10	Cana-de-açúcar	Solo exposto/solo com resíduos	Solo exposto/solo com resíduos	Cana-de-açúcar
11	Pastagens	Pastagens	Pastagens	Pastagens
12	Citros	Citros	Citros	Citros

Fonte: IPPOLITI-RAMILO (1998).

TABELA 4 - Diferenças Quantitativas entre as Estimativas de Área Obtidas pelo Método LSPA e a Classificação TM/Landsat, Ano Safra 1997/98

Município	Cultura	IBGE (LSPA) (ha) (1)	TM Landsat (ha) (2)	Diferença (3= 2-1)	Quociente (4= 2/1)	Diferença relativa (3/1x100)
Sumaré	1ª safra	170	1.079	909	6,3	535
	Cana-de-açúcar	3.800	2.808	-992	0,7	-26
Hortolândia	1ª safra	150	469	319	3,1	213
	Cana-de-açúcar	1.300	400	-900	0,3	-69
Nova Odessa	1ª safra	220	419	199	1,9	90
	Cana-de-açúcar	2.700	2.383	-317	0,9	-12

Fonte: IPPOLITI-RAMILO (1998).

na 3) indica que a classificação digital subestimou em 317ha a área de cana-de-açúcar em relação à estimativa do LSPA. Esse valor representou uma diferença relativa de -12% entre a estimativa obtida a partir da classificação dos dados TM/Landsat e a estimativa do LSPA. No entanto, para os municípios de Sumaré e Hortolândia as diferenças entre as estimativas de área de cana-de-açúcar foram acentuadas. Observa-se, por exemplo, que no caso do município de Hortolândia, a estimativa de cana-de-açúcar realizada pelo LSPA é mais de três vezes superior à previsão realizada a partir da

classificação digital. A diferença absoluta entre essas estimativas indica que a classificação digital subestimou em 900ha a área de cana-de-açúcar em relação à estimativa do LSPA. Esses valores representaram uma diferença relativa de -69%.

Inversamente ao obtido para o cultivo de cana-de-açúcar, as estimativas da área cultivada com culturas de ciclo curto realizadas pelo LSPA foram menores que aquelas obtidas a partir da classificação digital TM/Landsat. As maiores diferenças entre as estimativas foram determinadas para o município de Sumaré. Neste caso, o quociente

(coluna 4) alcançou o valor de 6,3, indicando que a estimativa de área obtida a partir da classificação digital foi mais de seis vezes superior à estimativa do LSPA. Neste caso, a diferença absoluta entre as duas estimativas indica que a classificação digital superestimou em 909ha a área de culturas de ciclo curto em relação à estimativa do LSPA. Esses valores representaram uma diferença relativa de 535% entre as duas estimativas.

A menor diferença entre as estimativas de área plantada com culturas de ciclo curto foi obtida para o município de Nova Odessa, em que o quociente entre as estimativas foi de 1,9, indicando que a estimativa a partir da classificação digital foi quase duas vezes superior à obtida pelo LSPA. Nesse caso, a classificação digital superestimou em 199ha a estimativa do LSPA, o que representou 3,3% da superfície total do município.

Diferenças similares foram observadas por MEDEIROS; RUDORFF; SHIMABUKURO (1996) entre a área plantada com cana-de-açúcar, milho e soja estimada pelo LSPA e a estimada através de análise de imagens TM/Landsat da época em que as culturas encontravam-se no campo. Dada a magnitude das diferenças entre as estimativas, não há dúvida de que se está incorrendo em erros na estimativa das áreas cultivadas com culturas de verão e com cana-de-açúcar nos municípios analisados. Porém, afirmar categoricamente que uma das estimativas é incorreta seria cometer um erro ainda maior. Entretanto, as informações obtidas através das imagens de satélite foram objetivas e confiáveis uma vez que os métodos de análise utilizados mostraram-se consistentes e os resultados verificáveis em campo. Uma das possíveis causas das diferenças é que talvez a metodologia de LSPA não esteja permitindo captar em prazos curtos de tempo as rápidas mudanças no uso agrícola das terras.

Confirmando esta hipótese, observa-se que os dados do Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agrícola do Estado de São Paulo (LUPA), correspondente a 1996 (PINO et al., 1997), encontram-se mais próximos das estimativas obtidas a partir da classificação das imagens TM/Landsat do que a estimativa do LSPA. As diferenças de área de cana-de-açúcar entre os dados do LUPA e a quantificação a partir da classificação

das imagens foram de 90ha, 238ha e 684ha para os municípios de Hortolândia, Nova Odessa e Sumaré, respectivamente.

Deve ser destacada a importância de o analista dos dados de sensoriamento remoto encontrar-se familiarizado com a região de estudo. Isso possibilita a integração dos conhecimentos da dinâmica de uso das terras às classificações e facilita a obtenção de mapeamentos do uso e cobertura agrícola das terras com exatidão aceitável para os objetivos da previsão de safras. Esse aspecto também pode ser suprido pela existência de bases de dados históricos georreferenciados dos usos agrícolas das áreas em questão.

Além das diferenças de tipo quantitativo encontradas entre as estimativas de área geradas a partir das imagens TM/Landsat e as estimativas de caráter subjetivo do IBGE, outra diferença que fica patente entre as duas metodologias é a possibilidade de localização espacial dos dados que oferece o trabalho com imagens. Esta é uma característica importante da estimativa a partir dos dados digitais, pois oferece a possibilidade de visualização dos resultados, permitindo uma aferição direta no campo.

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora os dados de satélites, particularmente os provenientes de sensores ópticos, tenham restrição quanto à cobertura de nuvens, eles podem ser úteis na previsão de safras, desde que adequadamente explorados. A utilização de imagens multitemporais adquiridas pelo TM/Landsat-5 permite que, durante o inverno/primavera, seja feita uma avaliação quantitativa das áreas a serem destinadas às culturas de verão na safra subsequente.

A precisão obtida pela aplicação da metodologia descrita é bastante satisfatória. A comparação com os dados obtidos de maneira tradicional apresentou grandes discrepâncias. Porém, os trabalhos de campo permitiram a constatação *in loco* de que as avaliações feitas com imagens de satélite aproximam-se mais da realidade do que o levantamento tradicional. Não deve ser desconsiderado o fato de as imagens de satélite funcionarem

como uma base sobre a qual é possível a ida ao campo para dirimir dúvidas e corrigir eventuais falhas no levantamento.

O refinamento dessa metodologia poderá servir como um complemento importante para os sistemas de previsão de safras adotados no País. Além disso, a possibilidade de contar com uma eventual imagem durante a época de cultivo poderá permitir que se investigue a discriminação de culturas, melhorando, assim, o ciclo de previsão de

safras.

Finalmente, deve ser mencionado que em breve o Brasil passará a dispor de satélite próprio, com características bastante apropriadas para aplicações em agricultura. Isso aumenta muito a oportunidade de aplicação operacional da metodologia aqui descrita. Além disso, faz com que se deva procurar meios para introduzir os dados de sensoriamento remoto, ainda que apresentem limitações, nos programas de levantamentos agrícolas.

LITERATURA CITADA

- ALLEN, D. J.; HANUSCHACK, G. A. **The remote sensing application program of the National Agricultural Statistics Service: 1980-1987.** Washington: USDA, 1988. 43p. (NASS Staff Report Number SRB-88-08).
- ASSUNÇÃO, G. V.; DUARTE, V. **Avaliação de áreas preparadas para plantio (SOLONU), utilizando-se dados digitalizados do Landsat, através de tratamento automático no I-100.** São José dos Campos: INPE, 1980. 28p. (INPE-1910-RPE/243).
- _____. **Avaliação de áreas preparadas para plantio (SOLONU) utilizando dados do satélite LANDSAT.** São José dos Campos: INPE, 1983. 75p. Dissertação de Mestrado.
- BATISTA, G. T. et al. **Uso de sensores remotos a bordo de satélite e aeronave na identificação e avaliação de áreas de culturas para fins de previsão de safras.** São José dos Campos: INPE, 1978. 46p. (INPE-1229-NTI/103).
- BOISSEZON, H.; SHARMAN, M. Rapid estimation of crop production using remote sensing: European experience. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., Curitiba, 1993. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. v.4, p.442-449.
- BRISCO, B.; BROWN, R. J. Multidate SAR/TM synergism for crop classification in western Canada. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.61, n. 8, p.1009-1014, 1995.
- CHEN, S. C. **Contribuição de dados de satélite no sistema de previsão de safras.** São José dos Campos: INPE, 1990. 7p. (INPE-5087-PRE/1595).
- CLEVERS, J. et al. A framework for monitoring crop growth by combining directional and spectral remote sensing information. **Remote Sensing of Environment**, v.50, n.2, p.161-170, 1994.
- COLLARES, J. E. R.; LAURIA, C. A.; CARRILHO, M. M. Pesquisa de previsão e acompanhamento de safras baseada em painéis de amostras de áreas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., Curitiba, 1993. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 1993. v.1, p.450-453.
- DALLEMAND, J. F. **Identificação de culturas de inverno por interpretação visual de dados SPOT e LANDSAT TM no noroeste do Paraná.** São José dos Campos: INPE, 1987. 116p. Dissertação de Mestrado.
- DELÉCOLLE, R. et al. Remote sensing and crop models: present trend. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.47, n.1, p.145-161, 1992.

- FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Modelo agrometeorológico-espectral para a estimativa do rendimento de soja no Rio Grande do Sul: um estudo preliminar. [CD-ROM] In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., Santos, 1998. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998. 8p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Agricultural survey programmes based on area frame or dual frame (area and list) sample designs. In: **Multiple frame agricultural surveys**. Roma, 1998. v.2. (FAO Statistical Development Series, 10).
- _____. **Multiple frame agricultural surveys**. Roma, 1996. 119p. (FAO Statistical Development Series, 7).
- FREDEN, S.; GORDON, F. Landsat satellites. In: COLWELL, R. N. (Ed.). **Manual of remote sensing**. 2.ed. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1983. Cap.12.
- GONZÁLEZ-ALONSO, F. et al. Remote sensing and agricultural statistics: crop area estimation in north-eastern Spain through diachronic Landsat TM and ground sample data. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n.2, p. 467-470, 1997.
- HILL, J.; MÉGIER, J. Cluster based segmentation of multitemporal thematic mapper data as preparation of region-based agricultural land-cover analysis. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS'87), Ann Arbor, 1987. **Proceedings**. Ann Arbor, 1987. p.91-96.
- IBGE. **Catálogo IBGE**. [Online]. Available: URL: <http://www.ibge.org> [capturado em jan. 1998].
- _____. **Projeto de reavaliação metodológica e de construção de painéis de amostras de área para estimativas de safras agrícolas**. s.N.t., 1987. 27p. (Contrato IBGE-IPEA, de 31 de março de 1987).
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Um tributo sino-brasileiro aos recursos naturais de nosso planeta**. São José dos Campos, 1995. 18p.
- IPPOLITI-RAMILO, G. A. **Imagens TM/Landsat da época de pré-plantio para a previsão da área de culturas de verão**. São José dos Campos: INPE, 1998. 160p. Dissertação de Mestrado.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, p.159-174, 1977.
- LAURIA, C. A.; COLLARES, J. Previsão de safras: novas tecnologias. In: ENCONTRO NACIONAL DE PRODUTORES E USUÁRIOS DE INFORMAÇÕES SOCIAIS, ECONÔMICAS E TERRITORIAIS, Rio de Janeiro, 27-31 maio 1996. Rio de Janeiro: IBGE, 1996. v.1.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 3. ed. New York: John Wiley, 1994. 750p.
- MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. **Landsat MSS and TM postcalibration on dynamic ranges of exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures**. Lanham: EOSAT, 1986. 21p. (Landsat Technical Notes, n.1).
- MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 3. ed. Great Britain: John Wiley & Sons, 1993. 352p.
- MEDEIROS, A. M. P.; RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens Landsat na estimativa de áreas de cana-de-açúcar, milho e soja. [CD-ROM] In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Salvador, 1996. **Anais...** São Paulo: Imagem Multimídia, 1996.

- MORAN, S.; MAAS, S.; PINTER, P. Combining remote sensing and modeling for estimation surface evapotranspiration and biomass production. **Remote Sensing Reviews**, v.12, p.355-353, 1995.
- MOREIRA, M. A. **Análise de dados do Landsat/TM e do SPOT/XS através de índices de vegetação - Fase II**. São José dos Campos: INPE, 1992. 17p. (INPE-5450-RPQ/663).
- _____. **Sistema de amostragem para estimar a área da cultura de trigo (*Triticum aestivum* L.) através de dados do Landsat**. São José dos Campos: INPE, 1983. 115p. Dissertação de mestrado.
- _____; CHEN, S. C. Avaliação de resultados de classificação digital de cultura de verão numa área teste do estado de Paraná, ano safra 1986/87. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., Natal, 1988. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1988. v.1, p.180-185.
- _____ et al. Utilização de dados do Landsat/TM para estimar a área de soja (*Glycine max* L.), através da expansão direta. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA, 4., Bariloche, Argentina, 19-24 nov. 1989. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1989. 9p.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Landsat-7**. [Online]. Available: URL: <http://geo.arc.nasa.gov> [capturado em out. 1998].
- ORTIZ, M. J.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N. Classification of croplands through integration of remote sensing, GIS and historical database. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n.1, p.95-105, 1997.
- PINO, Francisco A. et al. **Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do estado de São Paulo**. São Paulo: IEA/CATI/SAA, 1997. 4v.
- PREVISÕES e estimativas das safras agrícolas do estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.28, n.7, 9, 12, jul., set., dez. 1998.
- RICHARDS, J. A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 3. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 340p.
- RUDORFF, B. F. T.; BATISTA, G. T. Wheat yield estimation at farm level using TM Landsat and agrometeorological data. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, n.12, p.2477-2484, 1991.
- _____. Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological-spectral models. **Remote Sensing of Environment**, v.33, p.183-193, 1990.
- VICENTE, José R. Uma aplicação de métodos multivariados na previsão de rendimento do milho. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v.41, t.1, p.125-147, 1994.
- _____ et al. Comparações entre dados dos censos agropecuários e estimativas das safras agrícolas do estado de São Paulo. _____, São Paulo, v.37, t.1, p.97-104, 1990.

Recebido em 30/11/98. Liberado para publicação em 07/04/99.

Agricultura em São Paulo, SP, 46(1):89-101, 1999.