

CULTURAS AGRÍCOLAS EM IMAGENS MULTITEMPORAIS DO SATÉLITE LANDSAT¹

Ieda Del'Arco Sanches²
José Carlos Neves Epiphanyo³
Antonio Roberto Formaggio⁴

RESUMO: O sensoriamento remoto constitui-se em ferramenta de grande contribuição para o monitoramento da atividade agrícola, e, desta forma, vem ganhando cada vez mais espaço nessa área. Para potencializar ganhos de resultados com o uso desta tecnologia, é necessário levantar o padrão de uso do solo da região a ser estudada e conhecer a correlação entre os variáveis alvos em imagens de satélite e no campo ao longo do tempo. Este trabalho objetivou: verificar as variações de comportamentos espectrais de cana-de-açúcar, soja e milho em imagens de satélite, fazendo a correlação com verificações de campo; desenvolver um melhor entendimento dos fatores que influenciam as refletâncias multiespectrais e multitemporais dessas culturas; e estabelecer um padrão espectro-visual de culturas para a área de estudo. Foi averiguado que a distinção das três culturas, nas imagens Landsat, não foi possível na fase inicial de crescimento dessas plantas. Entretanto, a soja em pleno desenvolvimento foi facilmente separada da cana-de-açúcar e do milho, o que é de grande significado para as estatísticas agrícolas com imagens de sensoriamento remoto.

Palavras-chave: análise multitemporal, sensoriamento remoto, cana-de-açúcar, soja, milho.

CROPS IN MULTITEMPORAL LANDSAT IMAGES

ABSTRACT: Remote sensing brings a significantly effective contribution to agricultural monitoring, with a growing potential for its use. For further gains in results to be achieved, it is important to survey the land use pattern in the region of interest and to correlate the behavior of the studied crops (field x image) over time. The objective of the present work was three-fold: (a) to verify the changes in the spectro-temporal behavior of sugarcane, soybean and corn crops in Landsat ETM+ imagery, making correlation with the field conditions; (b) to build a better knowledge about the factors that affect the reflectance of those crops; and (c) to establish a crop spectral pattern for the area studied. It was verified that in the beginning of the growing season sugarcane, soybean and corn crops were not spectrally distinguishable. Nevertheless, when the phenological phase is at the maximum vigor, soybean presented a particular spectral response that made it possible its discrimination from sugarcane and corn, which is very significant to agricultural remote sensing.

Key-words: multitemporal analysis, remote sensing, sugarcane, soybean, corn.

JEL Classification: O13, Q16, R14.

¹Trabalho parcialmente financiado pelo CNPq. Registrado no CCTC ASP-05/2005.

²Engenheira Agrônoma, Mestre, Consultora do Projeto GeoSafras no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (e-mail: ieda@dsr.inpe.br).

³Engenheiro Agrônomo, Doutor, Pesquisador da Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (e-mail: epiphani@dsr.inpe.br).

⁴Engenheiro Agrônomo, Doutor, Pesquisador da Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (e-mail: formag@dsr.inpe.br).

1 - INTRODUÇÃO

Para o monitoramento da atividade agrícola, é preciso fazer um acompanhamento periódico, visto que as culturas levam um determinado tempo para se desenvolver; e, para acompanhar a dinâmica agrícola, o caráter global, sinóptico, multiespectral e repetitivo faz com que o sensoriamento remoto seja altamente qualificado para essa atividade, principalmente em países de grandes dimensões como o Brasil.

São vários os parâmetros importantes para o sensoriamento remoto agrícola e por isso as relações entre as propriedades físicas e morfológicas de um dossel agrícola são dinâmicas e não correspondem de modo único nem simples a uma assinatura espectral imutável (FORMAGGIO e EPIPHANIO, 1990).

Uma imagem de satélite de uma única data pode não fornecer informações espectrais suficientes para permitir identificar todas as culturas plantadas numa determinada estação. Mas, imagens multitemporais podem prover maiores informações sobre área plantada e indicações sobre o crescimento e desenvolvimento de culturas, que podem ser elementos-chave na discriminação espectral de diferentes culturas (APAN e POTGIETER, 2002).

Complementarmente, conforme Ortiz; Formaggio; Epiphanio (1997), áreas plantadas com as mesmas culturas durante anos sucessivos criam padrões úteis no processo de interpretação para a identificação de alvos agrícolas. Isto ocorre porque há uma tradição regional de cultivo, e fatores como solo, clima e infra-estrutura, fazem com que, numa determinada área, ao longo dos anos, seja plantado um mesmo conjunto de culturas.

A discriminação de culturas em imagens de satélite não é tarefa trivial e envolve inúmeros fatores. No entanto, uma análise multitemporal aliada ao padrão de cultivo, à experiência do intérprete e ao conhecimento da área de estudo e das culturas, possibilita um bom resultado na identificação de culturas agrícolas em imagens de satélite.

Desta forma, o presente estudo teve como objetivos: verificar as variações de comportamentos es-

pectrais das culturas de cana-de-açúcar, soja e milho, em diferentes fases de desenvolvimento, para uma área considerada representativa da agricultura do Estado de São Paulo, em imagens Thematic Mapper (TM) e Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) do satélite Landsat, fazendo a correlação com verificações de campo; desenvolver um melhor entendimento dos fatores que influenciam as reflectâncias multiespectrais das culturas agrícolas; e, suplementarmente, montar um calendário para estabelecer um padrão espectro-visual de culturas, em imagens Landsat, para a área de estudo.

2 - MATERIAL E MÉTODO

A área de estudo corresponde aos municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra, localizados ao norte do Estado de São Paulo, com área total de 124.100ha. Esses três municípios possuem intensa atividade agrícola e representam grande parte da agricultura brasileira. Os solos predominantes nesta região são os Latossolos Vermelhos (OLIVEIRA et al., 1999).

Em função da oportunidade de operação simultânea dos satélites Landsat-5 e Landsat-7, tornou-se possível dispor de imagens TM e ETM+ com repetitividade de oito dias por um período de tempo. Desta forma, dispôs-se de um conjunto de imagens isentas de nuvens, adequadas para análises multitemporais de culturas agrícolas e de outros alvos caracterizados por mudanças dinâmicas.

No total foram utilizadas 36 imagens de satélite, sendo 13 imagens do sensor TM/Landsat-5 e 23 do ETM+/Landsat-7 (Tabela 1), referentes à órbita/ponto 220/74. Em alguns meses não foi possível adquirir imagens em função de coberturas por nuvens.

As imagens de satélite foram adquiridas no formato Geotiff nível 1 (com correção geométrica e reamostragem pelo método "vizinho mais próximo") (MATHER, 1999). Após serem registradas, as imagens foram uniformizadas radiometricamente com base em imagens de referência. Foram escolhidas duas

Tabela 1 - Imagens de Satélite Utilizadas, Cobrindo os Anos de 2000 a 2003

Mês/ano	2000	2001	2002	2003
Janeiro	08/01/00 (TM)	18/01/01 (ETM+)	05/01/02 (ETM+)	08/01/03 (ETM+)
Fevereiro	-	19/02/01 (ETM+)	06/02/02 (ETM+)	09/02/03 (ETM+)
Março	-	23/03/01 (ETM+)	10/03/02 (ETM+)	-
Abril	05/04/00 (ETM+)	08/04/01 (ETM+)	11/04/02 (ETM+)	14/04/03 (ETM+)
Maio	-	02/05/01 (TM)	29/05/02 (ETM+)	16/05/03 (ETM+)
Junho	16/06/00 (TM)	11/06/01 (ETM+)	30/06/02 (ETM+)	-
Julho	-	05/07/01 (TM)	16/07/02 (ETM+)	27/07/03 (TM)
Agosto	19/08/00 (TM)	14/08/01 (ETM+)	17/08/02 (ETM+)	12/08/03 (TM)
Setembro	20/09/00 (TM)	07/09/01 (TM)	02/09/02 (ETM+)	15/10/03 (TM)
Outubro	22/10/00 (TM)	25/10/01 (TM)	20/10/02 (ETM+)	-
Novembro	-	02/11/01 (ETM+)	-	-
Dezembro	09/12/00 (TM)	04/12/01 (ETM+)	-	-

Fonte: Dados da pesquisa.

imagens de referência, uma correspondente à época seca e outra à época chuvosa. O critério de seleção adotado foi a incidência de nuvens, sendo escolhidas como imagens de referência aquelas com menor quantidade (ou ausência) de nuvens.

As imagens de referência passaram previamente por uma correção atmosférica segundo a técnica de Subtração do Pixel Escuro (CHAVEZ, 1988), visto que para monitorar a superfície terrestre ao longo do tempo esse pré-processamento é imprescindível para compatibilização dos dados multitemporais de modo a uniformizá-los na mesma escala radiométrica (SONG et al., 2001).

Segundo Casselles e López-García (1989), Hill e Sturm (1991) e Furby e Campbell (2001), a uniformização radiométrica de imagens pode ser realizada a partir de alvos que são assumidos como espectralmente não-variantes no tempo. A uniformização de imagens utilizada no presente trabalho seguiu a metodologia proposta por Gürtler; Luiz; Epiphanyo (2003), na qual a normalização é obtida a partir de regressões lineares entre pares de pixels localizados em alvos não-variantes de duas imagens (uma imagem de referência e outra imagem a ser uniformizada).

Para realizar as análises propostas com as imagens de satélite, foi escolhida a composição colorida RGB (red, green, blue) 453. Nesta composição, a vegetação, que tem alta refletividade na faixa espectral do infravermelho próximo (banda 4 do Landsat),

assume tonalidades de magenta, o que possibilita uma maior diferenciação do alvo de interesse, pelo olho humano.

Este trabalho foi dividido em duas partes: a) uma análise do padrão espectro-visual de culturas da área de estudo, de 2000 a 2003 e b) correlação das diferentes etapas de crescimento de culturas em imagens de satélite e documentação em condições de campo.

Para as análises do padrão espectro-visual de culturas, após terem sido uniformizadas, todas as imagens de satélite adquiridas foram recortadas de forma a abranger exclusivamente os três municípios estudados. Em seguida, foram criados calendários anuais com os recortes das imagens.

As correlações entre as condições das culturas no campo e em imagens de satélite foram feitas para a cana-de-açúcar, a soja e o milho, para o município de Ipuã. Foram utilizadas duas imagens de satélite, a ETM+/Landsat-7 do dia 25 de fevereiro de 2003, e a TM/Landsat-5 do dia 12 de agosto de 2003. As fotos foram obtidas com câmara digital em dois trabalhos de campo, o primeiro realizado em março (do dia 17 ao 19) e o segundo realizado em agosto (do dia 25 ao 28) de 2003. Alguns talhões foram escolhidos de forma a representar os diversos estádios de desenvolvimento das três culturas selecionadas, desde o plantio até a pós-colheita. Os talhões selecionados nas imagens de satélite foram classificados por interpretação visual. Depois, esses talhões foram visitados no campo, para confirmar se a classificação esta-

va correta e para a obtenção da foto de campo dos referidos talhões. Posteriormente, foram criadas figuras relacionando o que está no campo com os padrões que aparecem nas imagens de satélite.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao observar o recorte das imagens de satélite (que corresponde à área dos municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra) na composição falsa cor RGB 453, no decorrer dos meses do ano, foi possível estabelecer um padrão espectro-visual de culturas para a região de estudo (Figuras 1 a 4). Nos primeiros dois meses do ano a cor que se sobressai na composição colorida é o amarelo, característico da cultura da soja na composição utilizada. De março a junho ou julho, dependendo do ano, as tonalidades de magenta se sobressaem (vermelho, laranja, marrom), que correspondem principalmente à cultura de cana-de-açúcar e em menor escala ao milho. De agosto/ setembro até dezembro predominam as cores azul escuro e verde claro. A primeira representa os solos expostos por estarem preparados para o plantio; a segunda representa a palhada dos restos de culturas colhidos e deixada à superfície do solo e as culturas recém-plantadas.

A seguir são apresentados recortes de talhões das imagens (uniformizadas e com contraste) do dia 25/02/03 e do dia 12/08/03 em composição colorida RGB 453, e fotos digitais referentes a esses talhões obtidas em trabalhos de campo (Figuras 5 a 8). É importante ressaltar que existe uma diferença de alguns dias entre as imagens e as fotos apresentadas; no entanto, neste período de tempo não foram observadas mudanças que pudessem comprometer a análise proposta nos talhões escolhidos.

As figuras 5, 6 e 8 representam, respectivamente, talhões de cana-de-açúcar, milho e soja em diferentes estádios de crescimento. A figura 7 representa diferentes talhões de milho após a colheita.

Ao observar as fotos de campo referentes à figura 5 (a/b/c/d/e), percebe-se que, em (a), além das plantas de cana-de-açúcar, com aproximadamente 0,50 m de altura no talhão, existem também

um pouco de palhada e de solo exposto. Em (b), a cana-de-açúcar está com 1m de altura, e o solo exposto ainda aparece. Em (c), as plantas estão com 1,5m de altura, há solo exposto e sombras nas entrelinhas. Em (d) e (e), as plantas estão com cerca de 4m de altura, possuem folhas secas e o dossel está bastante irregular.

No campo foi observado que talhões de cana-de-açúcar mais velha possuíam gradações de magenta mais claras (Figura 5 (e)) que talhões de cana-de-açúcar mais nova (Figura 5 (d)) na composição colorida adotada.

Nas fotos da figura 6, em (a), as plantas de milho estão com 0,4 m de altura e há a presença de solo exposto. Em (b) e (c), o milho está seco, com mais de 2 m de altura e há sombreamento interno. Em (d), o milho foi colhido, as hastes das plantas permanecem em pé e há pequena porcentagem de ervas daninhas nas entrelinhas. Em (e), o milho está colhido, as hastes secas das plantas estão em pé e há grande quantidade de ervas daninhas no talhão.

Na figura 7, em (a), a superfície do solo está completamente coberta pela palhada e as hastes das plantas colhidas ainda estão em pé. Em (b), aparece um pouco de solo exposto, há palhada seca e as hastes das plantas também estão em pé. Em (c), há bastante solo exposto, palhada seca e algumas hastes em pé. Em (d), a palhada recobre todo o solo e não há hastes de plantas em pé.

Na seqüência de fotos na figura 8, em (a), a soja está em pleno vigor vegetativo e todas as folhas estão verdes. Em (b), as plantas de soja estão com vagens e começaram a senescer, existem folhas amarelas e folhas verdes nas plantas. Em (c), as plantas estão na fase de senescência mais avançada e muitas folhas já caíram das plantas. Em (d), a soja está completamente seca, pronta para ser colhida. Em (e), a soja já foi colhida, a palhada recobre a superfície e as hastes das plantas ainda estão em pé no campo.

Ao analisar os alvos agrícolas na composição colorida RGB 453, verifica-se que, no início de crescimento da cana-de-açúcar, do milho e da soja, o comportamento espectral do solo predomina, e estes alvos aparecem azulados na composição escolhida

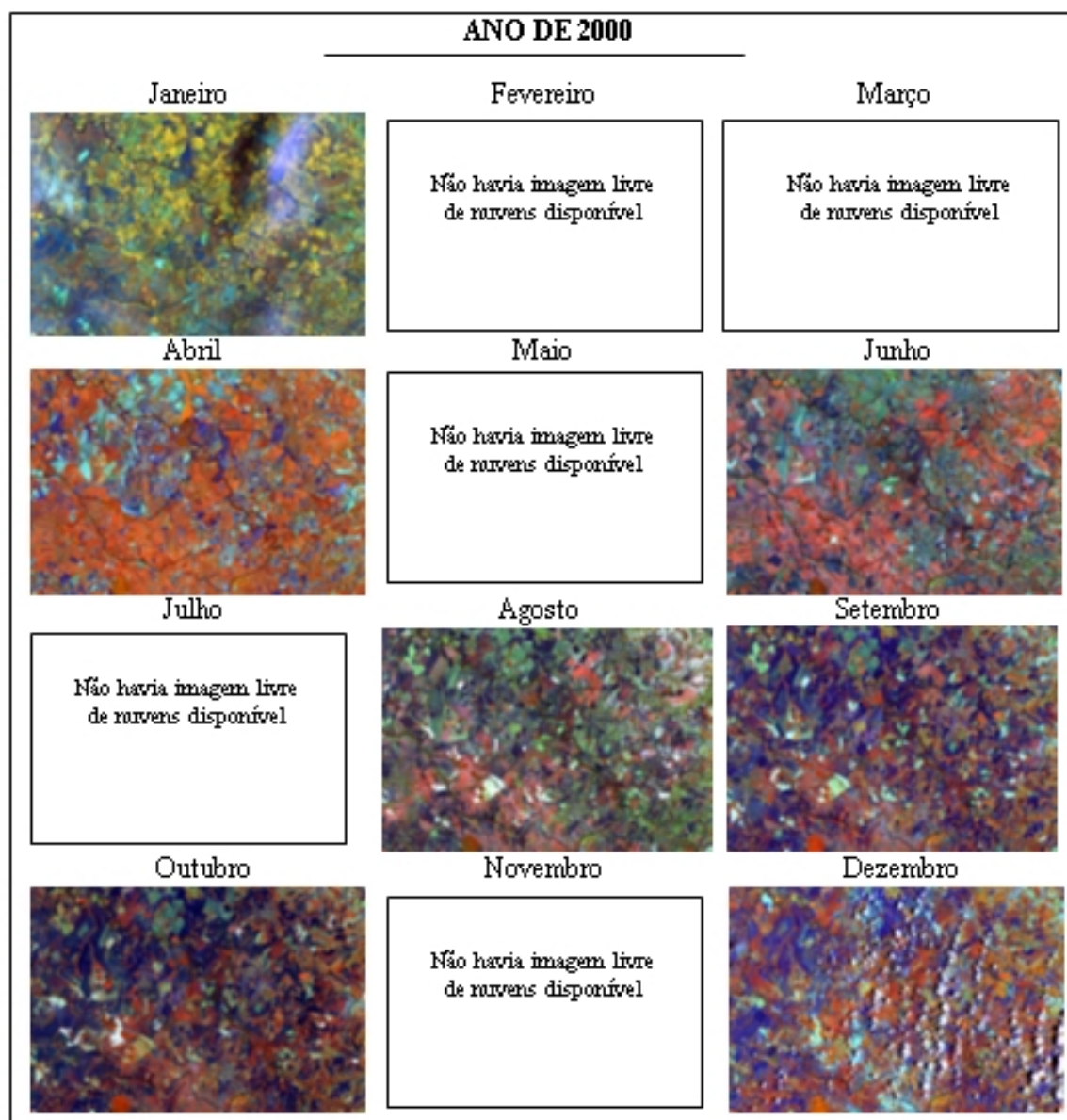


Figura 1 - Calendário de Recortes de Imagens (referente à área de estudo) Uniformizadas e com Contraste, segundo a Composição RGB 453, do Ano 2000.

Fonte: Dados da pesquisa.

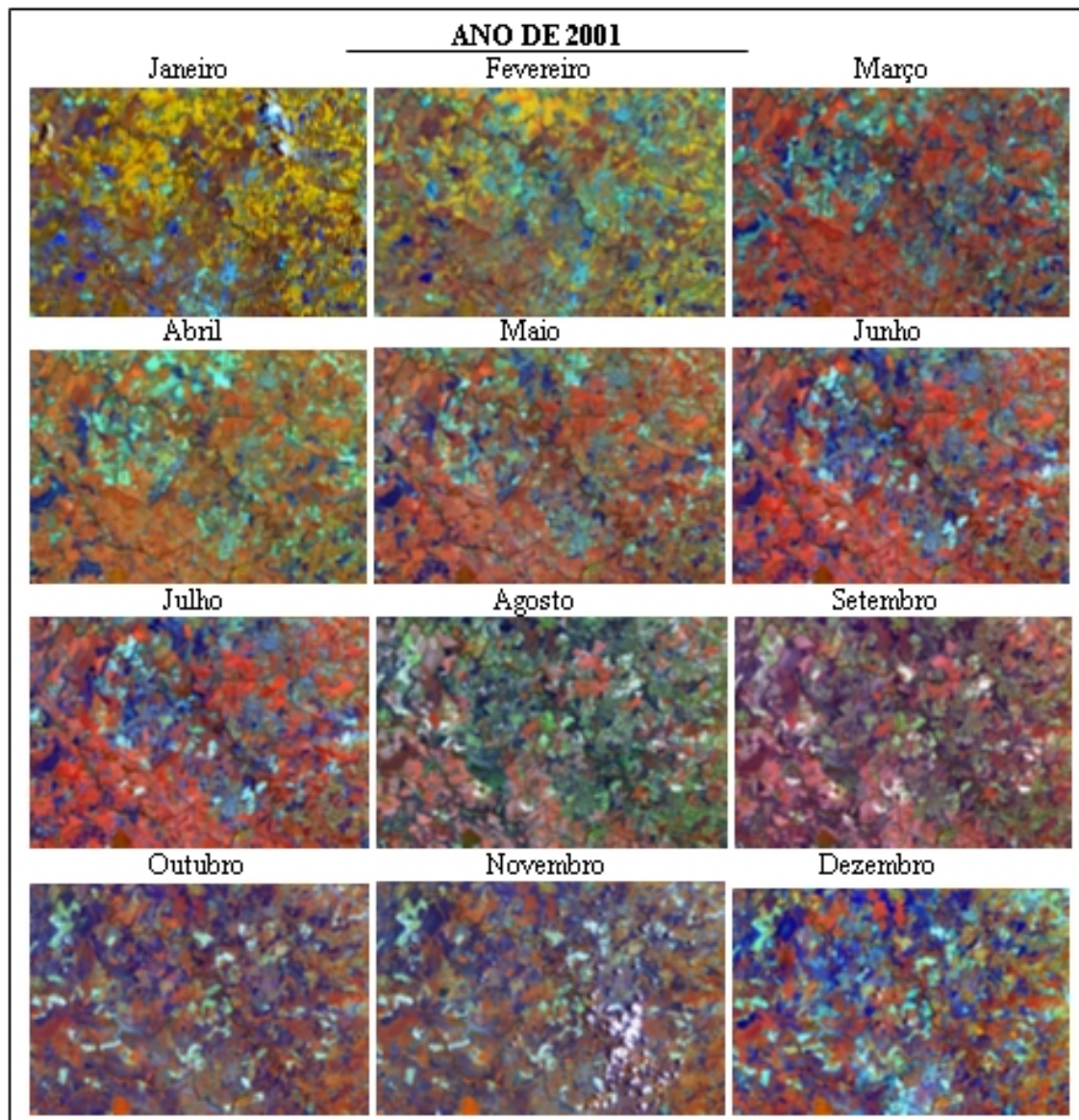


Figura 2 - Calendário de Recortes de Imagens (referente à área de estudo) Uniformizadas e com Contraste, segundo a Composição RGB 453, do Ano 2001.

Fonte: Dados da pesquisa.

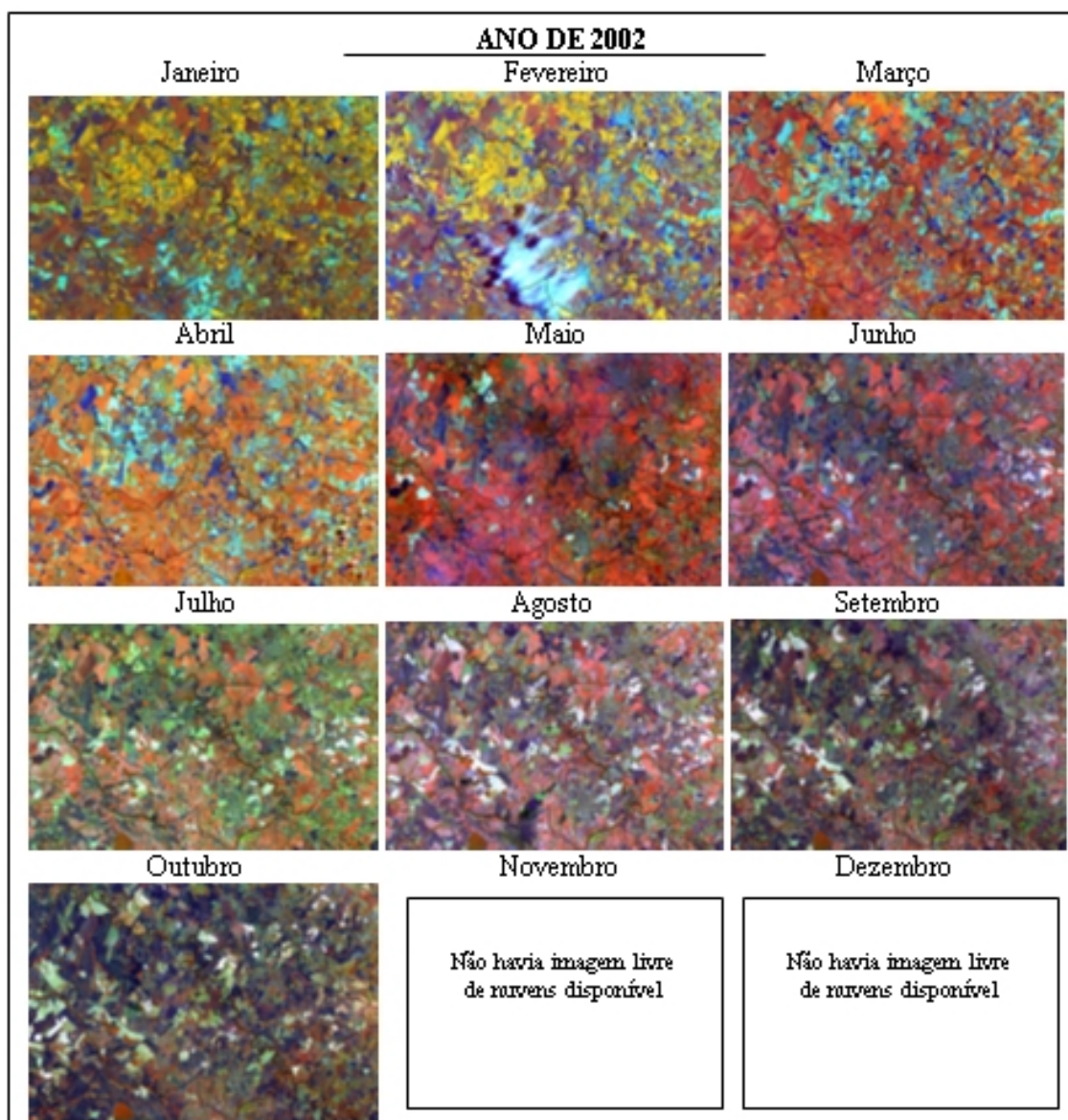


Figura 3 - Calendário de Recortes de Imagens (referente à área de estudo) Uniformizadas e com Contraste, segundo a Composição RGB 453, do Ano 2002.

Fonte: Dados da pesquisa.

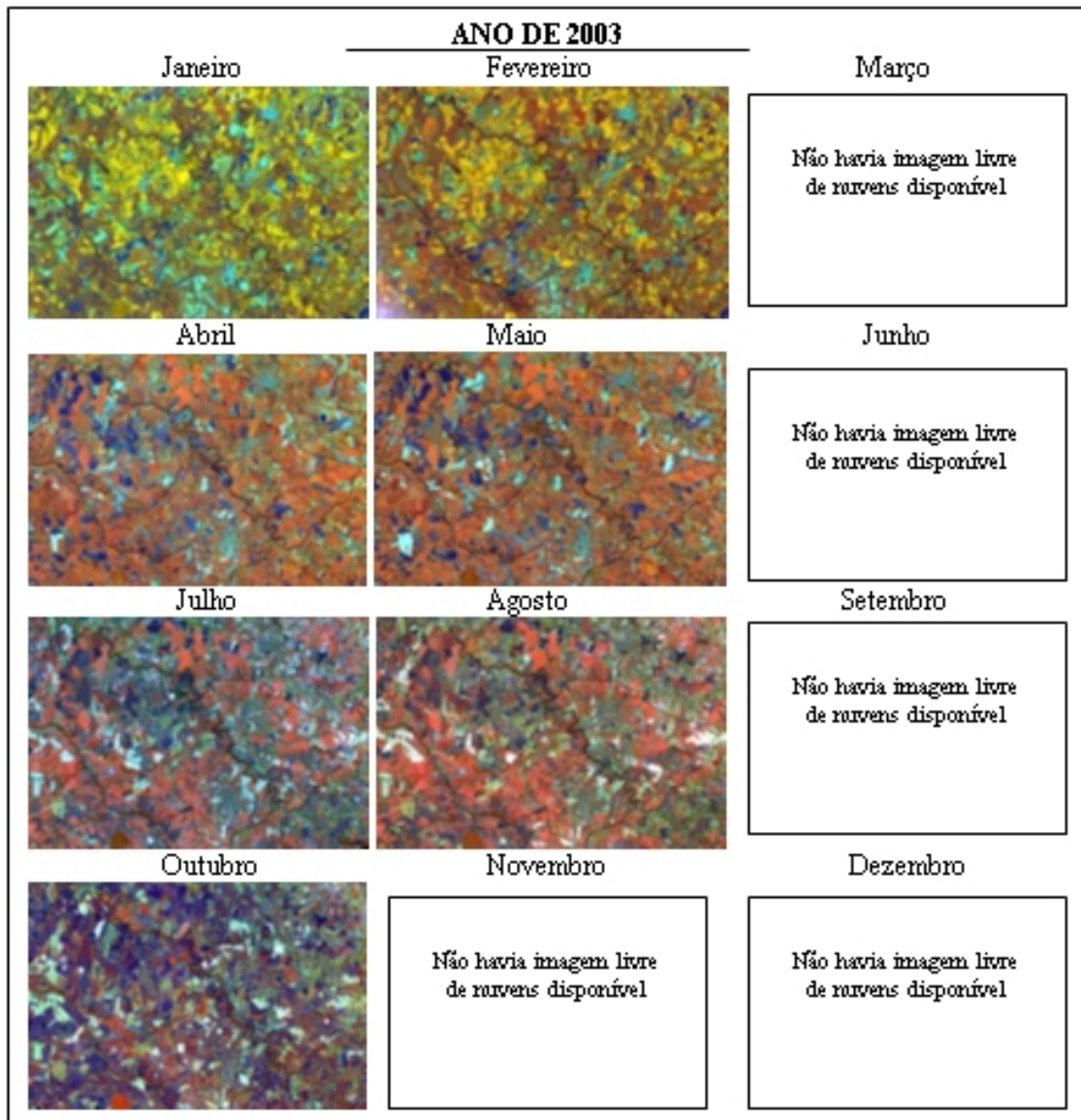


Figura 4 - Calendário de Recortes de Imagens (referente à área de estudo) Uniformizadas e com Contraste, segundo a Composição RGB 453, do Ano 2003.

Fonte: Dados da pesquisa.

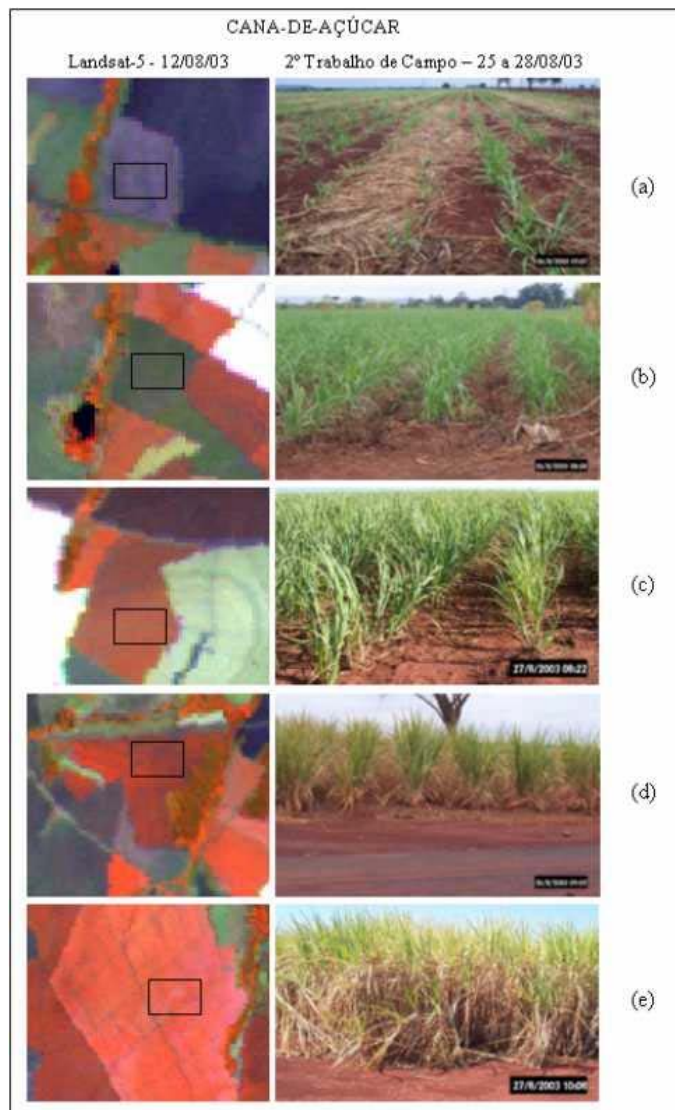


Figura 5 - Recortes de Imagem Landsat na Composição Colorida RGB 453, e Fotos Digitais de Campo de Talhões de Cana-de-açúcar em Diferentes Estágios de Crescimento.

Fonte: Dados da pesquisa.

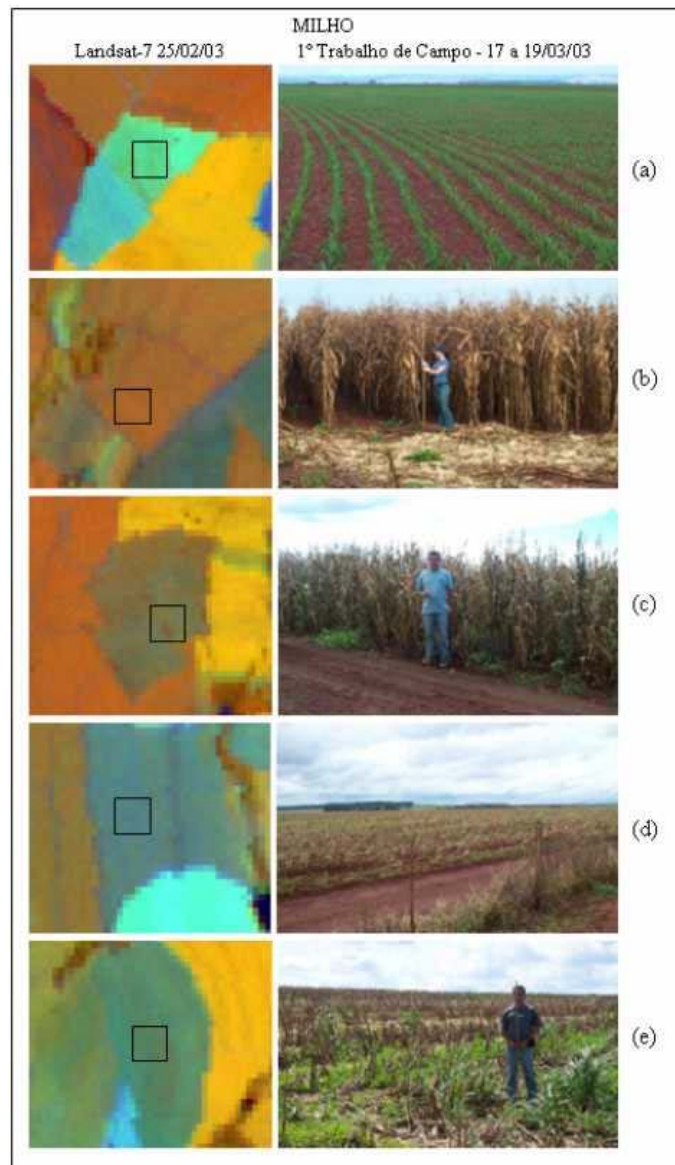


Figura 6 - Recortes de Imagem Landsat na Composição Colorida RGB 453 e Fotos Digitais de Campo de Talhões de Milho em Diferentes Estágios de Crescimento.

Fonte: Dados da pesquisa.

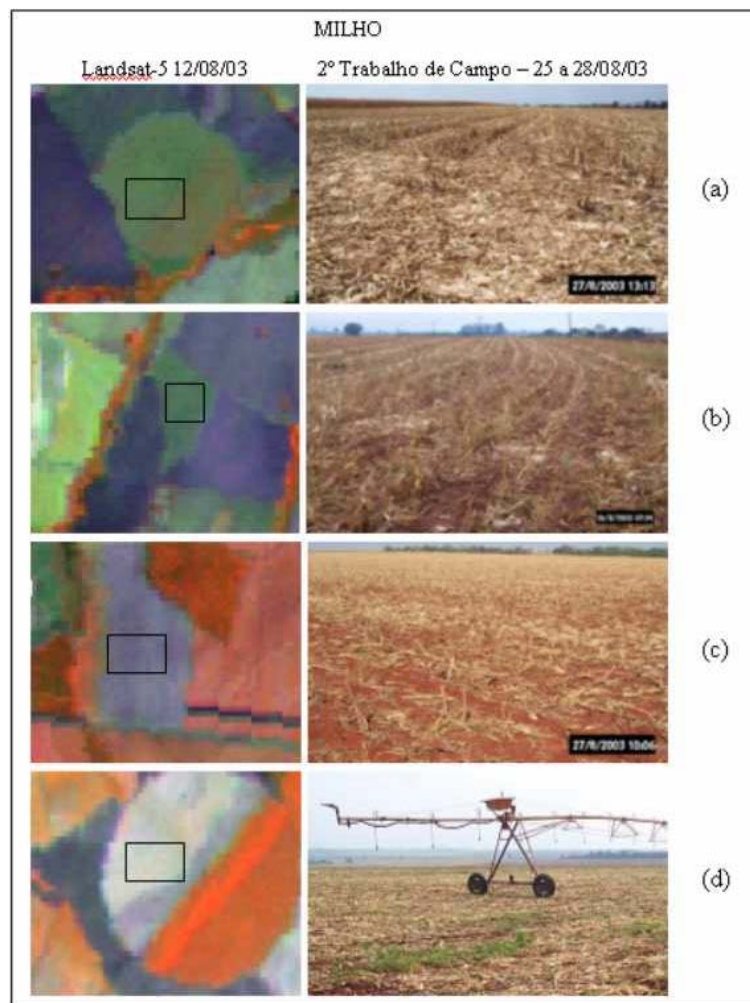


Figura 7 - Recortes de imagem Landsat na Composição Colorida RGB 453 e Fotos Digitais de Campo de Talhões de Milho após a Colheita.
Fonte: Dados da pesquisa.

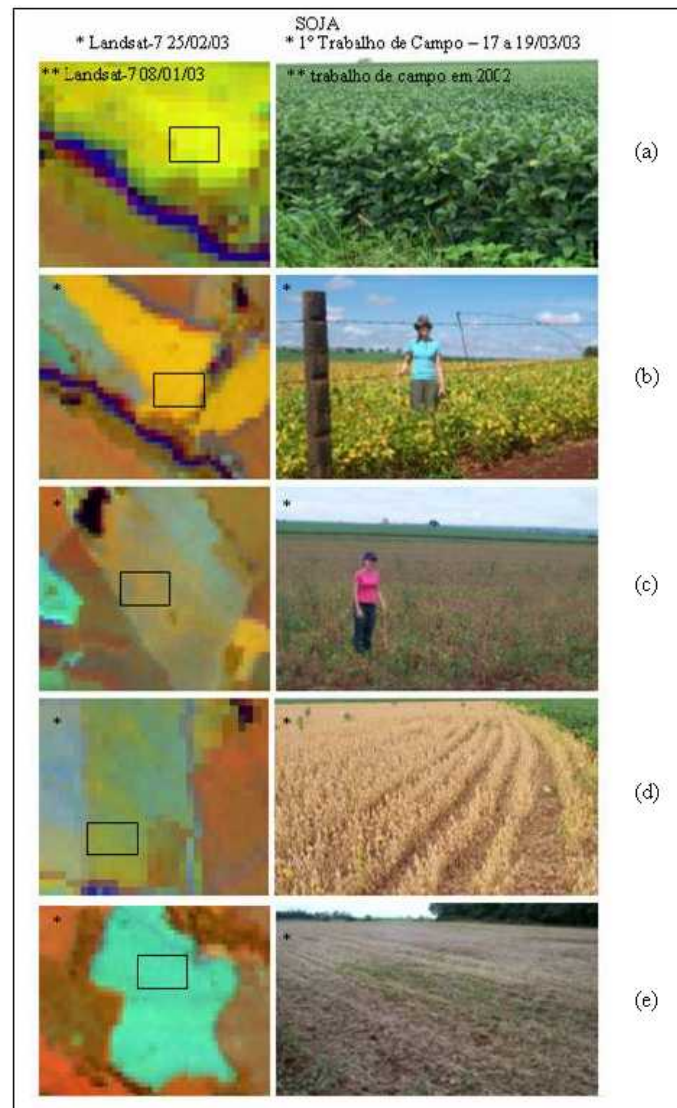


Figura 8 - Recortes de Imagem Landsat na Composição Colorida RGB 453 e Fotos Digitais de Campo de Talhões de Soja em Diferentes Estágios de Crescimento.

Fonte: Dados da pesquisa.

das imagens de satélite. À medida que as culturas vão se desenvolvendo, o solo vai sendo progressivamente coberto pelas plantas, a cor dos alvos agrícolas na composição passa de azul para verde. Em seguida, a cana-de-açúcar e o milho assumem, na imagem, cor magenta e a soja fica de cor amarela, como se vê nas figuras 5, 6 e 8.

A diferença do comportamento espectral da cana-de-açúcar e do milho em relação à soja, na fase de pleno desenvolvimento (atividade fotossintética alta), na composição colorida utilizada, é explicada a seguir. Nas três culturas citadas, a maior reflectância ocorre na banda 4 (0,76-0,9 μ m), como consequência do aumento do número de folhas, seguida da banda 5 (1,55-1,75 μ m). Entretanto, a reflectância da soja na banda 4 é bem superior à da cana-de-açúcar e do milho, e é um pouco mais elevada na banda 5. Como na composição RGB 453 a cor vermelha é atribuída à banda 4 e a cor verde atribuída à banda 5, e sabendo-se que a união de vermelho com verde gera o amarelo, quanto maior for a reflectância nas bandas 4 e 5, mais amarelada será a cor resultante, no entanto, ficará amarelo alaranjado, se a reflectância for maior na banda 4, e amarelo esverdeado, se a reflectância for maior na banda 5.

Nas figuras 6 e 7 estão retratados talhões de milho antes e depois da colheita. A planta seca de milho tem a sua atividade fotossintética reduzida se comparada com uma planta não-seca. Isso causa uma diminuição na reflectância nas bandas 4 e 5 e um aumento da reflectância na banda 3, que na composição colorida RGB 453 é traduzida como uma perda na intensidade da cor magenta. O milho colhido assume diversas cores na composição colorida. Quando há bastante palhada à superfície, a coloração apresentada é a esverdeada na composição utilizada; na medida em que a palhada vai progressivamente se decompondo, a cor na composição vai tendendo para o azul, em função de uma maior exposição da superfície do solo. Se for grande a quantidade de palhada à superfície e se o solo estiver completamente coberto, a coloração tenderá ao branco (Figura 7d).

No caso da cultura da soja, retratada na figura

8, foram utilizadas a imagem de 08/01/03 e uma foto de um trabalho de campo realizado em 2002 para representar de forma equivalente um dos estádios de crescimento desta cultura.

Na composição colorida, a soja perde a cor amarela intensa quando suas folhas e vagens começam a secar, como consequência da redução da fotossíntese. Após a colheita da soja, as hastes pequenas e numerosas no campo proporcionam uma tonalidade esverdeada na composição colorida, que decorre da maior reflectância na banda 5, comportamento típico de palhadas. Por fim, o talhão de soja volta a ter cor azul quando a palhada é decomposta (predomínio de solo exposto) ou quando o solo é gradeado e preparado para o próximo plantio (Figura 8).

4 - CONCLUSÕES

Para trabalhar com culturas agrícolas em imagens de satélite é recomendável ter o conhecimento, *a priori*, do padrão de uso da área analisada. Quando se tem acesso a calendários com imagens multitemporais, como os apresentados neste trabalho, o intérprete consegue visualizar melhor a dinâmica agrícola da região, familiariza-se com os comportamentos esperados dos alvos nas diferentes épocas do ano, detecta os meses de maiores mudanças, e, dependendo do estudo a ser realizado, pode focar seu trabalho em um ou mais períodos específicos.

Fazer a correlação entre o que está no campo e o que aparece em uma imagem de satélite é de suma importância para o sensoriamento remoto de qualquer alvo. Pequenas mudanças no campo em relação à quantidade e grau de decomposição da palhada de superfície, como por exemplo, nos talhões de milho colhido citados no escopo do presente trabalho, podem gerar diferenças significativas nas imagens de satélite, e só podem ser detectadas com esse tipo de correlação.

Quando as culturas de soja, cana-de-açúcar e milho estão em início de crescimento, a identificação das mesmas em imagens de satélite é bastante difícil,

pois a resposta espectral desses alvos é muito influenciada pelo solo. Ou seja, se cultivadas sob o mesmo solo, o comportamento de diferentes culturas em imagens de satélite será bastante semelhante nas primeiras fases de desenvolvimento. O mesmo é observado após a colheita das culturas, quando o solo volta a aumentar sua influência no comportamento espectral.

À medida que as plantas crescem, diminui a influência do solo e crescem as possibilidades de diferenciação de culturas, pois aumenta a influência das características específicas de cada tipo de planta. A soja em fase de pleno desenvolvimento é facilmente diferenciada da cana-de-açúcar e do milho, porque a arquitetura de suas plantas, quantidade de folhas, recobrimento do solo, etc, divergem das duas outras culturas. A cana-de-açúcar e o milho são de difícil distinção, pelo fato de possuírem características parecidas e, conseqüentemente, apresentarem comportamento espectral semelhante.

LITERATURA CITADA

- APAN, A.; POTGIETER, A. **Using satellite imagery in determining winter crop area planted in support of regional commodity forecasting**: a case study of the Darling Downs, Queensland. Australia: University of Southern Queensland/Faculty of Engineering and Surveying, 2002.
- CASSELLES, V.; LÓPEZ-GARCÍA, M. J. An alternative simple approach to estimate atmospheric correction in multi-temporal studies. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 1127-1134, June 1989.
- CHAVEZ, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 9, p. 459-479, Sept. 1988.
- FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N. **Características espectrais de culturas e rendimento agrícola**. São José dos Campos: INPE, 1990. 178 p. (INPE-5125-RPE/630).
- GÜRTLER, S.; LUIZ, A. J. B.; EPIPHANIO, J. C. N. Uniformização de imagens Landsat para previsão de safras agrícolas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p.109-116. 1 CD-ROM.
- FURBY, S. L.; CAMPBELL, N. A. Calibrating images from different dates to 'like-value' digital counts. **Remote Sensing of Environment**, v. 77, n. 2, p. 186-196, 2001.
- HILL, J.; STURM, B. Radiometric correction of multitemporal thematic mapper data for use in agricultural land-cover classification and vegetation monitoring. **International Journal of Remote Sensing**, v. 12, n. 7, p. 1471-1491, 1991.
- MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. John Wiley & Sons, 1999. 292 p.
- OLIVEIRA, J. B. et al. **Mapa pedológico do estado de São Paulo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. Escala 1:500.000. A legenda expandida encontra-se em separado na publicação de mesmo nome (ISBN 85-85864-05-2).
- 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.
- SONG, C. et al. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects. **Remote Sensing of Environment**, v. 75, p. 230-244, 2001.

Recebido em 16/03/2005. Liberado para publicação em 14/04/2005.