

AVALIAÇÃO DAS BANDAS TM DO SATÉLITE LANDSAT-5 NA DISCRIMINAÇÃO ENTRE CULTURAS DE TRIGO E DE FEIJÃO¹

JOSÉ CARLOS NEVES EPIPHANIO², ANTONIO ROBERTO FORMAGGIO³
e GERALDO VICTORINO DE FRANÇA⁴

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi avaliar as bandas do TM Landsat-5, para a diferenciação de áreas agricultadas com trigo (*Triticum aestivum* L.) daquelas com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Foram selecionados 15 talhões de trigo e 15 de feijão, irrigados, tendo-se conseguido três imagens isentas de nuvens. Os números digitais amostrados das imagens para os 30 talhões foram submetidos à correção para efeitos atmosféricos aditivos, transformados em valores de reflectância. Esses valores foram, então, utilizados para o cálculo de um índice (EAC) que expressa o potencial de cada banda para a discriminação espectral entre as duas culturas. A banda de maior potencial discriminatório foi a TM7; com potencial intermediário foram as bandas TM2, TM3 e TM5; e, com o menor potencial, as bandas TM1 e TM4. O período vegetativo das culturas mostrou-se mais propício que o reprodutivo para a discriminação. Comparando-se dados simulados por um modelo de reflectância de dosséis vegetais com os dados reais de reflectância obtidos por satélite, só não houve concordância para a banda TM7. Indica-se a necessidade de investigações mais detalhadas quanto às características refletivas desta banda para as diversas culturas e suas potencialidades discriminatórias.

Termos para indexação: reflectância, sensoriamento remoto, (*Triticum aestivum*, *Phaseolus vulgaris*, TM/Landsat-5).

TM/LANDSAT-5 BANDS IN THE DISCRIMINATION OF WHEAT AND BEAN CROPS

ABSTRACT - The objective of this work was to assess the potential of the six reflective TM/Landsat-5 bands for discriminating between wheat (*Triticum aestivum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) fields. Fifteen fields of both crops wheat and bean were selected in São Paulo State - Brazil region, for which three multirate cloud free TM sets were acquired during the winter growing season of 1986. Digital numbers were sampled for the 30 fields and corrected for additive effects before being transformed into reflectance values. These values were used for calculating the EAC index which expresses the potential of each TM band for spectral discrimination between wheat and bean fields. The TM7 was the best band; TM2, TM3 and TM5 were intermediary; and TM1 and TM4 were in the last position. The vegetative phase was more appropriate than the reproductive phase of biologic cycle as far as wheat and bean discrimination is concerned. The comparison between simulated reflectance data from a canopy reflectance model and real satellite reflectance data agreed very well except for TM7 band. A need for more detailed investigation about the reflective properties and the discrimination potential of the TM7 spectral band was aroused.

Index terms: reflectance, remote sensing, *Triticum aestivum*, *Phaseolus vulgaris*, TM/Landsat-5.

¹ Aceito para publicação em 21 de abril de 1989.

² Eng. - Agr., Dr., Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Caixa Postal 515, CEP 12201 São José dos Campos, SP, Brasil.

³ Eng. - Agr., M.Sc., (INPE).

⁴ Eng. - Agr., Dr., ESALQ/USP. Caixa Postal 9, CEP 13400 Piracicaba, SP, Brasil.

INTRODUÇÃO

As aplicações de sensoriamento remoto no campo da agricultura muitas vezes pressupõem o reconhecimento das culturas que estão implantadas na região de estudo. Em sensoria-

mento remoto, esse reconhecimento pode ser de muitas formas, como, por exemplo, a partir da exploração dos aspectos multitemporais e multiespectrais dos dados fornecidos por sistemas de satélites (McDonald & Hall 1980). Os principais critérios levados em consideração são os de forma dos talhões, dimensões, época da imagem/data de plantio, cor ou tonalidade, dentre outros, como, por exemplo, tração de cultivos da região.

Quando as culturas são plantadas na estação quente e chuvosa do ano, há grande variação de datas de plantio, dificultando a implantação de um sistema de reconhecimento que explore o calendário agrícola das culturas. As formas e dimensões são diversificadas, de modo que o aspecto de cor, ou seja, o aspecto multiespectral, assume importância destacada no reconhecimento das culturas. Além disso, como a estação de cultivo de grande parte das áreas de produção de grãos se dá na época chuvosa, a disponibilidade de imagens é escassa e faz com que o aspecto multitemporal não possa ser explorado com eficiência.

Nesse contexto de baixa disponibilidade de dados de sensoriamento remoto na época de maior intensidade de cultivo, é necessário que se façam estudos espectrais das culturas a fim de que as imagens que forem obtidas naquela época possam ser utilizadas com maior eficiência no reconhecimento das culturas. Tais estudos espectrais, na medida em que puderem ser realizados usando imagens orbitais, promoverão maior proximidade com a realidade do campo no momento da utilização efetiva das imagens para o reconhecimento das culturas.

O conhecimento do comportamento espectral de uma folha isolada é fundamental para o entendimento da reflectância do dossel de uma cultura, como expõem Bauer et al. (1981). Porém, múltiplos fatores contribuem para que a resposta espectral de uma folha isolada não seja um retrato fiel da reflectância do dossel.

Parâmetros como: tipo de solo (Huete 1985), arquitetura foliar (Jackson & Pinter Junior 1986), distribuição das plantas no terreno (Kimes 1985), índice de área foliar (Epiphanyo

& Formaggio 1988, Goel & Grier 1986), densidade do estande (Aase & Siddoway 1980) contribuem para a diferença entre a reflectância da folha e a do dossel. O estágio fenológico da cultura também afeta a reflectância. Daughtry et al. (1980), em experimento de campo com trigo, observaram maiores correlações entre reflectância e parâmetros da cultura para o período compreendido entre a germinação e o florescimento.

Muitas vezes a avaliação da interrelação entre parâmetros espectrais e agrônômicos é feita através de modelos. Um exemplo simples e clássico de modelo de reflectância de dossel é o de Allen & Richardson (1968), o qual faz uso da teoria de Kubelka & Munk. Nesse modelo, é possível simular a reflectância de determinado dossel, com determinadas características de reflectância e transmitância foliar, em função da variação do índice de área foliar e de reflectância do substrato. A comparação de resultados desse modelo com os obtidos em condições reais de campo ou de satélite deve ser feita com cuidado, visto que há inúmeras simplificações da natureza embutidas no modelo. Para duas culturas distintas deve ser utilizado como uma indicação de reflectância esperada ante idênticas simplificações e suposições assumidas.

O presente estudo visa fazer uma avaliação das diversas bandas do sensor "Thematic Mapper" do satélite Landsat-5 (TM/Landsat-5) para a discriminação entre trigo e feijão. Paralelamente, são discutidas algumas características das duas culturas e suas relações com as diversas bandas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionados, na região de Barretos/Guaira, SP (20°30'S e 48°30'W), 15 talhões de feijão e 15 de trigo irrigados por aspersão, os quais foram acompanhados durante seus ciclos. Conseguiram-se três imagens completamente livres de nuvens, aqui denominadas P1, P2 e P3, num intervalo de 41 dias entre a primeira e a terceira.

Nos talhões foram feitas as seguintes medições: percentagem de cobertura do solo (Heilman et al.

1981), por meio de fotografia vertical a dois metros de altura, índice de área foliar (IAF), e dosagem de clorofila (Arnon 1949).

Os dados TM/Landsat-5 digitalizados em fitas magnéticas foram submetidos à correção atmosférica pelo método do histograma mínimo (Schowengerdt 1983); pelo método de Markham & Barker (1986) foi calculada a reflectância de 12 "pixels" de cada talhão. Foram sorteados quatro desses pixels, que serviram de repetições para aplicação da análise de variância e do teste de Student - Newman - Keuls ou SNK (Zar 1974) para diferenciação de médias de reflectância. Esse procedimento foi adotado para cada banda e cada passagem, e para três limiares de percentagem de cobertura do solo e índice de área foliar (IAF). Esses limiares foram: a) sem restrições, ou seja, todas as áreas; b) áreas com percentagem de cobertura do solo superior a 30% e IAF superior a 0,80; e c) áreas com percentagem de cobertura do solo superior a 70% e IAF superior a 1,0.

Para a análise das bandas, em cada caso, foi estabelecido um índice que expressa o potencial da banda para a discriminação entre as duas culturas, no nível de 5% de probabilidade, conforme Epiphanyo (1988). Esse índice é obtido através da comparação estatística da média de cada área com a média de todas as outras áreas. Quanto mais aceitações corretas da hipótese H_0 de igualdade entre médias obtidas pelo teste SNK e menos aceitações incorretas, melhor será o índice de eficiência de aceitação correta (EAC) e maior será seu valor. Sua formulação é:

$$EAC = \frac{AC}{(n_1^2 + n_2^2)} \times \frac{(AC - AI)}{(AC + AI)} \times 100 \quad (1)$$

onde,

EAC = índice de eficiência de aceitação correta;

AC, AI = número de aceitações corretas e incorretas da hipótese H_0 de igualdade entre talhões, respectivamente;

n_1, n_2 = número de talhões das culturas de trigo e de feijão, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores de EAC para todas as bandas, passagens e limiares de análise. Deve ser observado que esse trabalho foi desenvolvido contando com áreas agrícolas em condições normais de produção.

Isso faz com que não se possam exercer controles rígidos de tratamentos que seriam desejáveis e obtidos em estações experimentais. Assim, não se obtém homogeneidade no tocante à data de plantio e condições de cultivo. Uma tentativa de obter melhor homogeneidade de condições de desenvolvimento foi através da definição de limiares de percentagem de cobertura do solo e de IAF.

De maneira geral, na passagem P1 havia alguns talhões com as culturas em estágios incipientes de desenvolvimento. A passagem P2 foi aquela em que houve maior expressão do desenvolvimento das culturas, sendo aí a melhor oportunidade de observar a potencialidade de cada banda na diferenciação das culturas. Em P3, embora se tivessem as culturas ainda com boa cobertura do solo, a presença de diferenciação de órgãos reprodutivos era comum e por vezes bastante acentuada.

Tendo em vista esse quadro geral da situação dos talhões em cada passagem, na Tabela 1 pode ser observado o efeito sobre o valor do EAC causado pela estratificação por percentagem de cobertura do solo e IAF. Na passagem P1 a eliminação das áreas com percentagem de cobertura do solo inferior a 30% (três áreas de trigo e nove de feijão), embora tenha aumentado os valores de EAC de algumas bandas, não foi suficiente para permitir a expressão do potencial das diversas bandas na diferenciação entre trigo e feijão. Entretanto, a eliminação das áreas com percentagem de cobertura do solo menor que 70% (sete áreas de trigo e 12 de feijão) fez com que houvesse sensíveis acréscimos dos valores de EAC e permitiu que as bandas pudessem expressar seus potenciais discriminativos. Esse aumento nos valores de EAC deveu-se principalmente a minimização do efeito do solo nas respostas espectrais, visto que nessa passagem muitos talhões estavam em estágios iniciais do ciclo.

Na passagem P2, a eliminação de talhões com percentagem de cobertura solo inferior a 70% e IAF menor que 1,0 (um talhão de trigo e sete de feijão), quando comparada com a situação em que todos os talhões foram analisados conjuntamente, trouxe melhorias do EAC

TABELA 1. Índice de eficiência de aceitação correta (EAC) para as bandas do TM/Landsat-5 nas três passagens e sob os limiares de percentagem de cobertura do solo e de índice de área foliar estabelecidos.

Limiares*		TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
Passagem P1							
Todas áreas	(15/15)	-1,0	2,3	7,1	3,7	4,1	3,7
> 30% e > 0,8	(12/ 6)	-0,6	0,9	7,0	4,5	7,4	7,6
> 70% e > 1,0	(8/ 3)	5,9	18,8	31,6	17,0	27,6	54,3
Passagem P2							
Todas áreas	(15/15)	10,9	42,7	39,5	1,2	17,2	65,2
> 30% e > 0,8	(15/15)	10,9	42,7	39,5	1,2	17,2	65,2
> 70% e > 1,0	(14/ 8)	12,2	43,2	34,1	0,0	27,8	73,3
Passagem P3							
Todas áreas	(15/15)	10,1	27,0	15,9	14,0	34,8	31,6
> 30% e > 0,8	(14/13)	5,6	25,4	14,7	8,3	29,4	39,4
> 70% e > 1,0	(14/13)	5,6	25,4	14,7	8,3	29,4	39,4

* P1, P2, P3 = passagens do satélite. Limiares: > 30%; > 0,8; (15/15) = percentagem de cobertura do solo maior que 30%; índice de área foliar maior que 0,8; número de talhões de trigo e de feijão, respectivamente, que atendiam a esses limiares.

em algumas bandas e piores em outras. Não obstante, à exceção das bandas TM4 e TM5, foi nessa passagem que todas as bandas apresentaram os maiores valores de EAC. Isso está associado à condição de vigor vegetativo, que é máximo nessa passagem, permitindo que os parâmetros biológicos que influem na reflectância se expressem mais claramente. Na passagem P3, observa-se que poucos talhões são eliminados (um de trigo e dois de feijão) pelos critérios de IAF e de percentagem de cobertura do solo. E as maiores variações de EAC ocorrem nas bandas TM1, TM4, e TM7. De maneira geral, em relação à passagem P2, à exceção nas bandas TM4 e TM5, há diminuição do potencial das bandas em discriminar talhões de feijão dos de trigo. Essa diminuição pode estar associada a uma perda de vigor das culturas e ao aparecimento de órgãos reprodutivos em diversos talhões, como relatam Daughtry et al. (1980)

Após essa breve discussão da Tabela 1, algumas considerações de natureza teórica podem ser traçadas:

A quantidade de radiação eletromagnética refletida por cada talhão é influenciada pela composição de plantas mais substrato (solo) existente naquele talhão. A reflectância do solo influencia a resposta espectral do talhão na medida direta de sua exposição (Huete 1987). Aqui, a minimização do efeito do solo causou melhorias decrescentes a partir de P1, sendo que em P3 o incremento de EAC foi oscilante, dependendo da banda.

Analisando individualmente as bandas na Tabela 1, pode-se dividi-las em três grupos quanto ao potencial de discriminação entre talhões de trigo e de feijão. O de maior potencial é o representado pela banda TM7; o de potencial intermediário é representado pela banda TM2, TM3 e TM5; e o de menor potencial é o constituído pelas bandas TM1 e TM4.

Os processos de reflexão da luz pela folha são genericamente divididos em três classes. A primeira refere-se ao visível, onde há predomínio do efeito de absorção da luz pelos pigmentos (notadamente as clorofilas) na região do azul (TM1) e do vermelho (TM3), e uma

reduzida absorção na do verde (TM2). A segunda região é a do infravermelho próximo (TM4), de alta reflexão, atribuída à estrutura interna da folha; e a terceira é ainda no infravermelho (TM5 e TM7) e caracterizada por uma diminuição da reflectância em relação à TM4 atribuída à absorção da luz pela água interna da folha (Knippling 1970).

As diferenças de teores de clorofila entre as duas culturas são acentuadas. Na passagem P2, as áreas de trigo apresentaram teores de clorofila de 19,6 mg/10 g e as de feijão 9,7 mg/10 g, com desvios padrões de 3,2 e 2,0 mg/10 g, respectivamente. Isso propiciou acentuada discriminação entre trigo e feijão, com a utilização das bandas da região do visível, à exceção da banda TM1. Nesta banda, a absorção pelas clorofilas é muito intensa, o que acarreta valores de reflectância muito baixos, atingindo o ponto de indistinação das culturas no nível de satélite.

Na região do infravermelho (bandas TM4, TM5 e TM7) os resultados são contrastantes. A banda TM7 apresenta elevado potencial de discriminação entre trigo e feijão, enquanto que na banda TM4 esse potencial é muito baixo (zero na passagem P2). Esse resultado para a banda TM4 pode ser explicado pela elevada sensibilidade desta banda a variações nos parâmetros estruturais do dossel, como, por exemplo, índice de área foliar ou fitomassa. Como entre as várias áreas de trigo e de feijão há diferenças entre esses parâmetros, essa variabilidade tende a causar heterogeneidades entre as diversas áreas, fazendo com que não surjam comportamentos típicos de uma ou outra cultura.

Na banda TM7 há forte separação espectral entre as duas culturas. A aplicação do modelo de Allen & Richardson (1968), utilizando os dados de reflectância foliar obtidos em laboratório por Gausman et al. expressos em Bunnik (1978), mostra resultado inverso ao constatado na banda TM7. Ou seja, enquanto os valores de reflectância do feijão observados na banda TM7 são o dobro dos do trigo, no modelo os valores de reflectância do feijão no comprimento de onda de 2,20 μ m são

ligeiramente inferiores aos do trigo. Entretanto, ao se compararem todas as outras bandas, os resultados do modelo são concordantes com os observados no TM/Landsat-5. Deve ser ressaltado que nessas comparações entre dados de satélite e resultados de modelos não se consideram os valores absolutos obtidos por um método ou por outro. As comparações são feitas entre culturas para cada método (satélite ou modelo) separadamente.

Essa discordância entre o dado de reflectância foliar medida em laboratório e a reflectância de dossel detectada pelo TM/Landsat-5 deve ter suas causas melhor investigadas, já que para as bandas do visível os dados são concordantes. Pode-se admitir que as medições de reflectância foliar de trigo ou de feijão realizadas em laboratório não representam adequadamente as diferenças de reflectância dessas duas culturas em condições normais de campo. Como no infravermelho médio a água é tida como principal fator na reflectância foliar, pode ser que, em condições de campo, a água exerça papel importante na distinção entre as duas culturas, o que não ocorreria em laboratório com as folhas individuais. Outro fator que poderia influenciar seria a estrutura de dossel, que é diferente para as duas culturas. Desse modo, tanto a estrutura de dossel como a água poderiam ser fatores de decréscimo na reflectância do trigo em relação ao feijão, quando se comparam as reflectâncias medidas em laboratório com os dados orbitais de culturas em condições normais de cultivo. Não obstante essas diferenças de reflectâncias entre dados laboratoriais e orbitais, a banda TM7/Landsat-5 foi a que apresentou maior potencial de agrupamento correto dos talhões de trigo e de feijão.

Apesar de não se ter encontrado boa discriminação entre trigo e feijão através da banda TM4, essa banda tem alto valor no sensoriamento remoto agrícola, principalmente na relação com parâmetros indicadores de biomassa, na discriminação entre alvos agrícolas, e não agrícolas, além de estar na região de sensibilidade dos detectores de silício, que são os mais comuns. Porém, as principais bandas

do TM/Landsat-5, sob o ângulo aqui discutido, são a TM7 na região do infravermelho e a TM2 na de visível.

CONCLUSÕES

1. A variação da época de obtenção da imagem, relacionada ao estágio de desenvolvimento das culturas, desempenha papel importante no poder das bandas em discriminar a cultura de trigo da de feijão. O período vegetativo é mais propício que o reprodutivo para tal discriminação.

2. Das bandas do TM/Landsat-5, a que mais propiciou tal discriminação foi a TM7, independente da época da passagem do satélite. Isso indica que esta banda deve ser melhor estudada quanto à discriminação entre outras culturas.

REFERÊNCIAS

- AASE, J.K. & SIDDOWAY, F.H. Determining winter wheat stand densities using spectral reflectance measurements. *Agron. J.*, 72(1):149-152, 1980.
- ALLEN, W.A. & RICHARDSON, A.J. Interaction of light with a plant canopy. *J. Opt. Soc. Am.*, 58(8):1023-1028, 1968.
- ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.*, 24(1):1-15, 1949.
- BAUER, M.E.; DAUGHTRY, C.S.T.; VANDERBILT, V.C. Spectral agronomic relationships of maize, soybean and wheat canopies. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON SPECTRAL SIGNATURES OF OBJECTS IN REMOTE SENSING, Avignon, 1981. Monfavet, INRA, 1981. p.261-272.
- BUNNIK, N.J.J. The multispectral reflectance of shortwave radiation by agricultural crops in relation with their morphological and optical properties. Wageningen, Mededelingen Landbouwhogeschool, 1978. 176p.
- DAUGHTRY, C.S.T.; BAUER, M.E.; CRECELIUS, D.W.; HIXON, M.M. Effects of management practices on reflectance of spring wheat canopies. *Agron. J.*, 72(11):1055-1060, 1980.
- EPIPHANIO, J.C.N. **Dados TM/Landsat-5 no estudo das culturas de trigo e feijão.** Piracicaba, ESALQ/USP, 1988. 141p. Tese Doutorado.
- EPIPHANIO, J.C.N. & FORMAGGIO, A.R. TM/Landsat-5 data to evaluate wheat and bean percent soil cover and leaf area index. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 16, Kyoto, Japan, ISPRS, 1988. v. 27, p.658-666. (B10)
- GOEL, N.S. & GRIER, T. Estimation of canopy parameters for inhomogeneous vegetation canopies from reflectance data. II: Estimation of leaf area index and percentage of ground cover for row canopies. *Int. J. Remote Sensing*, 7(10):1263-1286, 1986.
- HEILMAN, J.L.; HEILMAN, W.E.; MOORE, D.G. Remote sensing of canopy temperature at incomplete cover. *Agron. J.*, 73(3): 403-406, 1981.
- HUETE, A.R. Reconstruction of vegetation spectra from soil plant canopies. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON SPECTRAL SIGNATURES OF OBJECTS IN REMOTE SENSING, 3, Les Arcs, France, 1985. *Proceedings ...* p.179-82. (ESA-SP-247)
- HUETE, A.R. Soil-dependent spectral response in a developing plant canopy. *Agron. J.*, 79(1):61-68, 1987.
- JACKSON, R.D. & PINTER JUNIOR, P.J. Spectral response of architecturally different wheat canopies. *Remote Sensing Environ.*, 20(1):43-56, 1986.
- KIMES, D.S. Modelisation of the optical scattering behavior of the vegetation canopies. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON SPECTRAL SIGNATURES OF OBJECTS IN REMOTE SENSING, 3, Les Arcs, France, 1985. *Proceedings...* p.157-163. (ESA-SP-247)
- KNIPLING, G.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing Environ.*, 1:155-159, 1970.

MACDONALD, R.B. & HALL, F.G. Global crop forecasting. *Science*, (208):670-678, 1980.

MARKHAM, B.L. & BARKER, J.L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectance and at-satellite temperatures. *EOSAT Landsat Technical*

Notes, 1:3-8, 1986.

SCHOWENGERDT, R.A. *Techniques for image processing and classification in remote sensing*. London, Academic, 1983. 249p.

ZAR, J.H. *Biostatistical analysis*. Prentice, Englewood Cliffs, NJ, 1974. 620p.