

AVALIAÇÃO DO TM/LANDSAT-5 NA DISCRIMINAÇÃO DE
CULTURAS EXTENSIVAS DE TRIGO E DE FEIJÃO

José Carlos Neves Epiphânio
Antonio Roberto Formaggio

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

É descrito um método de avaliação das bandas refletidas do TM/Landsat-5 com vistas à discriminação entre as culturas de trigo e de feijão em condições normais de cultivo. Para tanto foram estudados 30 campos de cultivo (15 de trigo e 15 de feijão) e obtiveram-se três passagens livres de cobertura de nuvens para o estudo. Através da aplicação de análise de variância e do teste de Student-Newman-Keuls, e do desenvolvimento de um índice de eficiência foi possível fazer uma avaliação objetiva do potencial discriminativo de cada banda. A banda TM7 no infravermelho e a TM2 no visível foram as que melhor se prestaram à discriminação entre as duas culturas. Procedeu-se ainda a uma estratificação das áreas em três níveis quanto à porcentagem de cobertura do solo e ao índice de área foliar para tal avaliação de bandas. Paralelamente discutiu-se o comportamento espectral das culturas baseado nos dados TM em relação ao ciclo vital característico de cada cultura.

ABSTRACT

The objective of this work was to assess the potential of the six reflective TM/Landsat-5 bands for discriminating between wheat and bean fields. Fifteen fields of both crops wheat and bean were selected at 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. It was shown that the TM7 was the best band; TM2, TM3 and TM5

were intermediaries; and in the last position were TM1 and TM4 bands. It was shown that the vegetative phase was more appropriate than the reproductive phase of biologic cycle as far as wheat and bean discrimination is concerned. A need for more detailed investigation about the reflective properties and discrimination potencial of the TM7 spectral band was aroused.

1. INTRODUÇÃO

Na agricultura o sensoriamento remoto deve, em muitos casos, propiciar o reconhecimento das culturas instaladas no campo. Para isso são utilizados parâmetros de reconhecimento indireto como formas, dimensões, relações entre calendário agrícola e data de passagem, tonalidade em imagem, dados históricos. Tais informações estão muito relacionadas com a exploração de dados de satélite a partir da exploração de aspectos multiespectrais e multitemporais (McDonald & Hall, 1980).

No Brasil as culturas são plantadas preferencialmente no verão e apresentam acentuada variabilidade de datas de plantio, fazendo com que inferências baseadas no calendário agrícola sejam prejudicadas. Assim, as possibilidades de se contar com imagens livres de coberturas de nuvens nesse período são baixas. Isso obriga a que se aproveite ao máximo aquelas que forem obtidas. Para que isso possa ser feito eficientemente são necessárias pesquisas sobre o comportamento espectral, as quais podem auxiliar sobremaneira na identificação das culturas, já que o aspecto multitemporal é prejudicado pela ocorrência de nuvens.

Nessa abordagem de aspectos multiespectrais, o conhecimento do comportamento espectral deve abranger desde uma folha isolada até o completo dossel de cultura (Bauer et al., 1981). Entretanto, a passagem do comportamento espectral de uma folha para o de um dossel envolve a influência de múltiplos fatores. Isso faz com que a folha não retrate completamente o comportamento espectral do dossel. Fatores como tipo de solo (Huete, 1985), arquitetura foliar (Jackson & Pinter Jr., 1986), distribuição das plantas no terreno (Kimes, 1985), índice de área foliar (Epiphanyo & Formaggio, 1988; Clevers, 1988), densidade de stand (Aase

& Siddoway, 1980) fazem com que hajam diferenças entre a reflectância da folha e a do dossel. Em experimento de campo realizado com trigo, Daughtry et al. (1980) verificaram que o período compreendido entre a germinação e o florescimento é onde há maiores correlações entre reflectância e parâmetros da cultura.

Esse trabalho tem por objetivo fazer uma discussão sobre o comportamento das diversas bandas TM/Landsat-5 nos seus potenciais de discriminação entre duas culturas de expressão econômica e de características morfológicas distintas. Também se introduz uma discussão sobre a influência do estágio fenológico das culturas sobre o potencial discriminativo das bandas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Selecionaram-se 15 talhões de trigo e 15 de feijão irrigados por aspersão na região de Barretos/Guaíra/SP ($20^{\circ}30'S$ e $48^{\circ}30'W$), os quais foram acompanhados durante seus ciclos de produção. No período estudado foram obtidos três imagens TM/Landsat-5 livres de cobertura de nuvens, num intervalo de 48 dias entre a primeira e a terceira, e denominadas P1, P2 e P3 neste trabalho.

Em cada talhão e em concomitância com as passagens do satélite foram feitas medições de percentagem de cobertura do solo (Heilman et al., 1981) por meio de fotografia 35 mm vertical a dois metros de altura, índice de área foliar (IAF), e dosagem de clorofila pelo método de Arnon (1949).

Os dados TM/Landsat-5 digitalizados em fitas magnéticas foram submetidos à correção atmosférica pelo método do histograma mínimo (Schowengerdt, 1983), e calculadas as reflectâncias de 12 "pixels" de cada talhão pelo método de Markham & Barker (1986). Foram sorteados aleatoriamente quatro desses "pixels" que foram utilizados como repetições para aplicação da análise de variância e do teste SNK de Student-Newman-Keuls (Zar, 1974) para diferenças de médias de reflectância. Esse procedimento foi seguido para cada banda e cada passagem, segundo três limites de percentagem de cobertura do solo e de índice de área foliar

(IAF). Esses limiares indicativos das áreas a serem analisadas foram: A1, sem restrições quanto à percentagem de cobertura do solo ou ao IAF, ou seja, todas as 30 áreas; B2, áreas com mais de 30% de cobertura do solo e IAF maior que 0,80; e C3 áreas com mais de 70% de cobertura do solo e IAF superior a 1,0.

Para a avaliação de cada banda em cada limiar foi constituído um índice que expressa o potencial da banda para a discriminação entre as duas culturas, no nível de 5% de probabilidade (Epiphanyo, 1988). Tal índice, denominado eficiência de aceitação correta (EAC), é obtido através da comparação estatística da média de cada talhão com a média de todos os outros talhões. Quanto mais aceitações corretas da hipótese H_0 de igualdade entre médias obtidas pelo teste SNK e menos aceitações incorretas, maior será o valor de EAC e melhor o poder discriminativo da banda.

O índice EAC é expresso por:

$$EAC = \frac{AC}{n_1^2 + n_2^2} \times \frac{AC - AI}{AC + AI} \times 100,$$

onde:

EAC = índice de eficiência de aceitação correta para cada banda e limiar imposto;

AC, AI = número de aceitação 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.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este 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 possíveis de serem obtidos em experimentos conduzidos em estações experimentais. Devido a isso, não é possível obter homogeneidades em termos de data de plantio e

condições de cultivo. Os limiares de percentagem de cobertura do solo e de índice de área foliar definidos visaram a obtenção de uma melhor homogeneidade de condições de desenvolvimento.

Numa análise generalizada, na passagem P1 havia alguns talhões com as culturas em estágios ainda incipientes de desenvolvimento. Na passagem P2, 32 dias após P1, a expressão do desenvolvimento das culturas era máximo, sendo aí a melhor oportunidade para observar a potencialidade de cada banda na discriminação das culturas. Na passagem 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.

Os resultados contendo os números de talhões analisados nas três passagens e sob os diferentes limiares de percentagem de cobertura do solo e de IAF encontram-se na Tabela 1. Observa-se que o número de talhões analisados para os limiares A e B são iguais para a passagem P2, assim como o número de talhões para os limiares B e C o são para a passagem P3.

Os resultados contendo os valores de EAC para a passagem P1 estão na Figura 1. Pode ser observado o efeito sobre os valores de EAC causado pela estratificação por percentagem de cobertura do solo e índice de área foliar. Nesta passagem a eliminação das áreas com percentagem de cobertura do solo inferior a 30% e IAF menor que 0,80 (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 houvessem 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 à minimização do efeito do solo sobre as respostas espectrais, visto que nessa passagem muitos talhões estavam em estágios iniciais do ciclo.

TABELA 1

NÚMERO DE TALHÕES ANALISADOS PARA CADA
PASSAGEM E LIMIAR DE PERCENTAGEM
DE COBERTURA DO SOLO E IAF

		LIMIARES		
		A	B	C
PASSAGEM P1	TRIGO	15	12	8
	FEIJÃO	15	6	3
PASSAGEM P2	TRIGO	15	a (*)	14
	FEIJÃO	15		8
PASSAGEM P3	TRIGO	15	14	b (*)
	FEIJÃO	15	13	

(*) Limiares: A = sem restrições quanto à percentagem de cobertura do solo ou ao índice de área foliar (IAF);

B = percentagem de cobertura do solo superior a 30% e IAF maior que 0,80;

C = percentagem de cobertura do solo superior a 70% e IAF maior que 1,0;

a = idem ao limiar A;

b = idem ao limiar B.

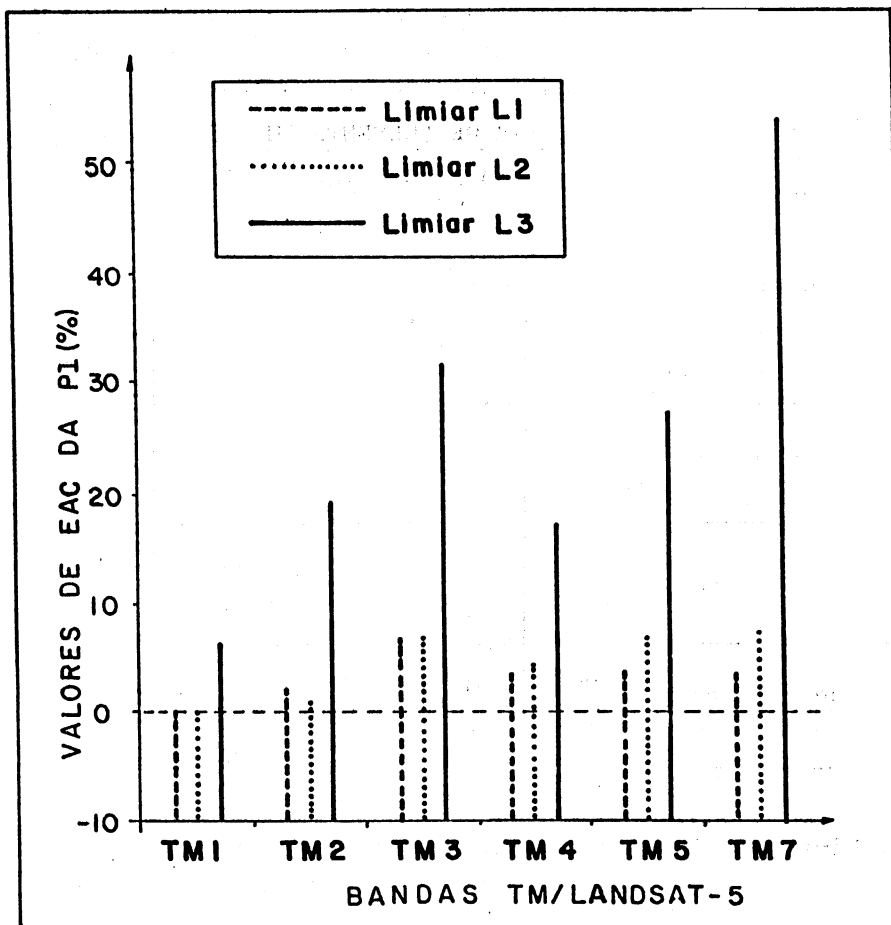


Fig.1 - Valores de EAC (%) para as bandas TM/Landsat-5, nos três limiares de percentagem de cobertura do solo e de IAF, para a passagem P1.

A análise da passagem P2 (Figura 2) mostra que a eliminação de talhões com percentagem de cobertura do 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 em algumas bandas e pioras em outras. Não obstante, à exceção das bandas TM4 e TM5, é nessa passagem que todas as bandas apresentam 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 expressem-se mais claramente.

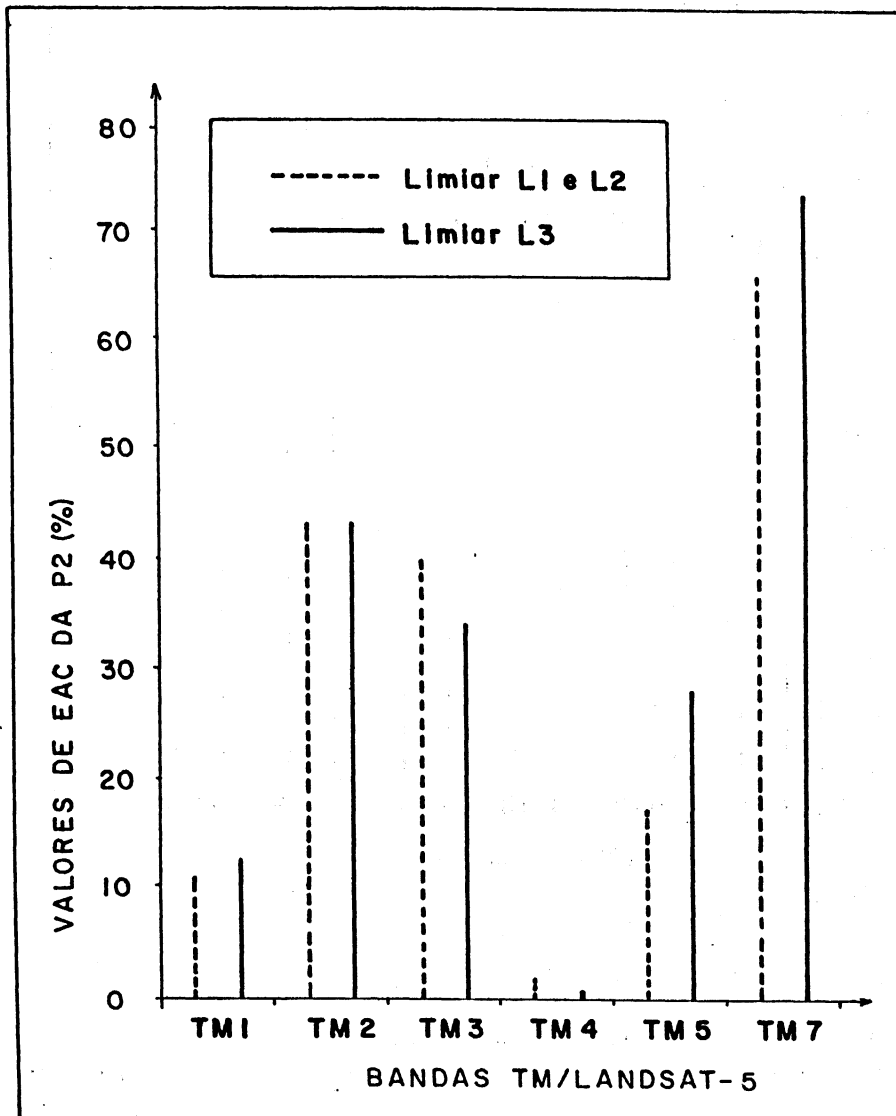


Fig.2- Valores de EAC (%) para as bandas TM/Landsat-5, nos três limiares de porcentagem de cobertura do solo e de IAF, para a passagem P2.

Na passagem P3 poucos talhões foram eliminados (Tabela 1) pelos critérios de IAF e de porcentagem de cobertura do solo. Observa-se na Figura 3 que as maiores variações de EAC ocorrem nas bandas TM1, TM4 e TM5. De modo geral, em relação à passagem P2, com exceção das bandas TM4 e TM5, houve 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 mostram Daughtry et al. (1980).

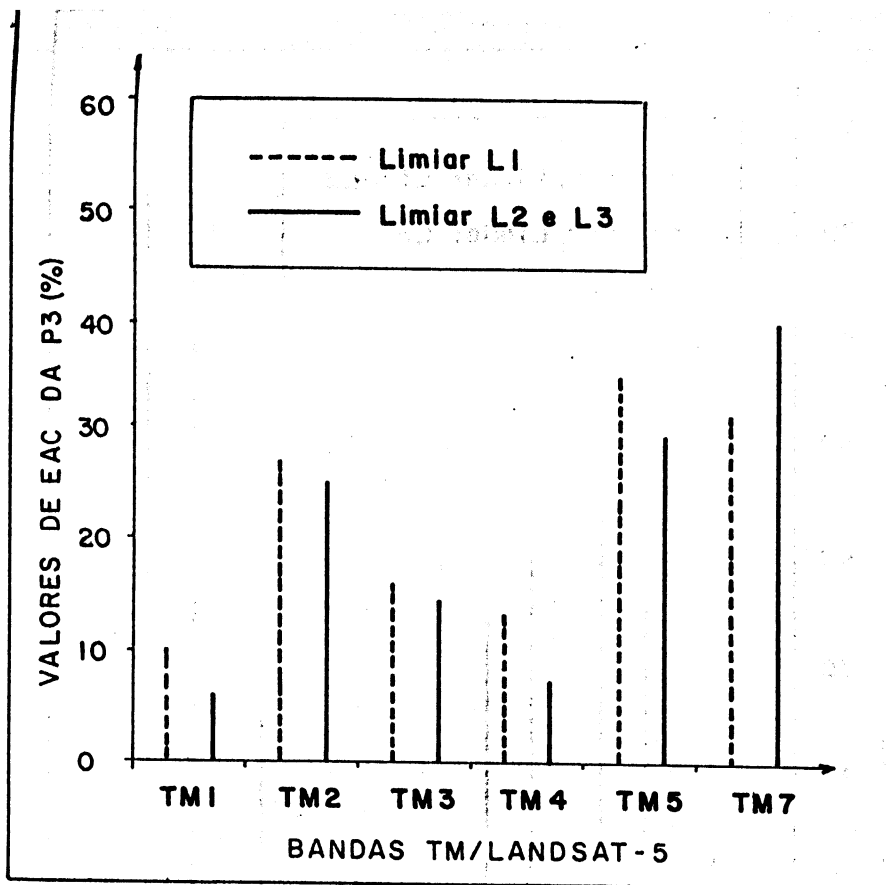


Fig.3-Valores de EAC (%) para as bandas TM/Landsat-5, nos três limiares de percentagem de cobertura do solo e de IAF, para a passagem P3.

Vistos os comportamentos dos valores de EAC para as três passagens e os três níveis de liminares apresentados nas Figuras 1, 2 e 3, algumas considerações de natureza teórica podem ser feitas a respeito do comportamento das diversas bandas do TM/Landsat-5.

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, ou seja, $\rho_{\text{talhão}} \propto$ exposição do solo (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.

Analísando individualmente as bandas nas Figuras 1, 2 e 3, pode-se dividi-las em três grupos quanto ao potencial de discriminação entre talhões de trigo e de feijão. O de maior potencial discriminativo é o representado pela banda TM7; o de potencial intermediário é o representado pelas bandas 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 atua no 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 classe refere-se à alta reflexão atribuída à estrutura interna da folha e ocorre na região do infravermelho próximo (TM4); 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 (Knipling, 1970).

O trigo e o feijão apresentam diferenças acentuadas de teores de clorofila. Na passagem P2, as áreas de trigo apresentaram uma média de teores de clorofila de 19,6mg/10g e as de feijão 9,7mg/10g, com desvios padrões de 3,2 e 2,0mg/10g, respectivamente. Essa diferença propiciou acentuada discriminação entre o trigo e o 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 indiscriminação das culturas no nível de satélite.

A região do infravermelho (bandas TM4, TM5 e TM7) apresenta resultados 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 é explicado pela elevada sensibilidade desta banda a variações nos parâmetros estruturais do dossel, como por exemplo, índice de área foliar ou fitomassa (Clever, 1988). 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 espectrais típicos de uma ou outra cultura.

Na banda TM7 há forte separação espectral entre as duas culturas, o que pode ser observado pelos elevados valores de EAC das Figuras 1, 2 e 3. Os dados de reflectância foliar obtidos em laboratório por Gausman et al. expressos em Bunnik (1978, p.92), mostram uma inversão ao constatado na banda TM7. Ou seja, enquanto os valores de reflectância do feijão observados na banda TM7 são o dobro dos do trigo, os de laboratório são ligeiramente inferiores ao do trigo. Entretanto, ao se compararem todas as outras bandas, os resultados de laboratório são concordantes com os observados no TM/Landsat-5. Deve ser salientado que nessas comparações entre dados de satélite e resultados de medições em laboratório não se consideram os valores absolutos obtidos por um método ou por outro, mesmo porque num trata-se com a cultura, noutro com as folhas apenas. As comparações devem ser feitas entre as culturas, observando-se os métodos isoladamente.

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. Admite-se 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 poderia não ocorrer em laboratório com as folhas individuais. Outro fator que poderia influenciar seria a estrutura de dossel, a qual é diferente para as duas culturas. Desse modo, tanto a estrutura do dossel como a água poderiam ser fatores de decréscimo na reflectância do trigo em relação ao feijão, quando se comparadas 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.

Embora a banda TM4 não tenha apresentado bom desempenho na discriminação entre trigo e feijão, essa banda tem alto valor no sen

soriamento remoto agrícola, principalmente na relação com parâmetros indicadores de desenvolvimento da cultura (Epiphanyo & Formaggio, 1988), 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 foram as TM7 no infravermelho e TM2 no visível.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, mostrou-se que 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 mostrou-se mais propício que o reprodutivo para tal discriminação.

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

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASE, J.K. & SIDDOWAY, F.H. Determining winter wheat stand densities using spectral reflectance measurements. Agron. J., 72(1): 149-152, 1980.
- 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, 8-11 sept. 1981. Monfavet, INRA, p. 261-272, 1981.
- BUNNIK, N.J.J. The multispectral reflectance of shortwave radiation by agricultural crops in relation with their morphological and optical properties. Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen 78-1, 1978, 176p.

- CLEVERS, J.G.P.W. The application of the weighted near-infrared-red vegetation index for estimating LAI at the vegetative and generative stage of cereals. IN: 16th INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. Kyoto, Japan, ISPRS, 1988. p.98-107.
- 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 de 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: 16th INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. Kyoto, Japan, ISPRS, 1988. p.658-666.
- HEILMAN, J.L.; HEILMAN, W.E. & MOORE, D.G. Remote sensing of canopy temperature at incomplete cover. Agron. J.,73(3): 403-406, 1976.
- HUETE, A.R. Reconstruction of vegetation spectra from soil plant canopies. IN: PROCEEDINGS OF THE 3rd INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON SPECTRAL SIGNATURES OF OBJECTS IN REMOTE SENSING. Les Arcs, France, 16-20 Dec. 1985. p.179-182. (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 Jr, 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: PROCEEDINGS OF THE 3rd INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON SPECTRAL SIGNATURES OF OBJECTS IN REMOTE SENSING. Les Arcs, France, 16-20 Dec. 1985. 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.