

Comportamento espectral da cultura do feijão, por meio de dados obtidos por espectroradiometria e imagem ASTER, no Distrito Federal

Raíssa de Almeida Papa¹
Marilusa Pinto Coelho Lacerda²
Marina Rolim Bilich²
Patrícia Mauricio Campos³
Rogério Alves Barbosa da Silva⁴

¹Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA
Caixa Postal 4508 – 70043900 – Brasília – DF, Brasil
raissapapa@gmail.com

²Universidade de Brasília – UnB/FAV
Caixa Postal 4508 – 70990916 – Brasília – DF, Brasil
{marina.bilich, marilusa}@unb.br

³Ministério da Pesca e Aquicultura – MPA
Caixa Postal 4508 – 70910970 – Brasília – DF, Brasil
patymauricio@gmail.com

⁴Poliedro – Informática, Consultoria e Serviços Ltda
Caixa Postal 4508 – 70350525 – Brasília – DF, Brasil
rtaguat@gmail.com

Abstract. The use of reflectance data obtained by spectrometer, allows obtaining spectral response patterns of different crops, and make possible the establishment of identification methodology crops in orbital images. The objective of this work was to establish the spectral behavior for the individualization of cultivated areas of the crop beans, with a satellite image of the ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) sensor in the Distrito Federal (DF), through remote sensing techniques. Was selected a representative area of the distribution of bean crop in the DF, for the acquisition of spectral curves of the soil, straw and bean leaves, using spectroradiometer. Then, there was spectral classification of crop beans with a satellite image of the ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) sensor, with Linear Spectral Mixture Model (MLME), using hyperspectral digital processing in Envi 4.5 software. The spectral classification using the MLME allowed the discrimination of areas of common bean from other cultures in the study area, presenting itself as an alternative use for the identification and monitoring of areas under agricultural cultivation of beans in satellite images of the sensor ASTER.

Palavras-chave: spectral signature, classification MLME (Model Linear Spectral Mixture). spectroradiometric, ASTER images, reflectance, assinatura espectral, classificação MLME (Modelo Linear de Mistura Espectral), espectroradiometria, imagens ASTER, reflectância.

1. Introdução

Devido à grande dimensão da agricultura no Brasil, torna-se importante o desenvolvimento de técnicas que auxiliem a identificação e o monitoramento das culturas agrícolas, contribuindo, assim, para a previsão de safras (Pino, 1999). O Brasil precisa de metodologias de previsão de safras que ofereçam dados confiáveis em tempo hábil e que permitam o planejamento e tomada de decisões do setor agropecuário (Adami et al., 2005; Rizzi et al., 2006). No entanto, o monitoramento da produção agrícola é desafiador, devido, principalmente, à grande quantidade de áreas plantadas e seu acesso difícil.

Vários pesquisadores (Rizzi e Rudorff, 2007; Moreira et al., 2004; Crepani et al., 2002) vêm estudando a aplicação de imagens de satélite e técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento como uma ferramenta auxiliar na estimativa de áreas agrícolas plantadas,

determinação da resposta espectral das culturas agrícolas e, conseqüentemente, na discriminação das espécies, de forma a servir como dados de entrada para os modelos atuais de crescimento e produtividade agrícola (Angulo Filho et al., 2001).

As técnicas de análise espectral permitem uma boa estimativa para identificação dos alvos de interesse em produtos de sensoriamento remoto. Inicialmente, esta metodologia foi desenvolvida para análise de imagens geradas a partir de sensores hiperespectrais. No entanto, vários trabalhos vêm demonstrando bons resultados na aplicação dessas técnicas em imagens multiespectrais, como as adquiridas pelo sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) (Carvalho Júnior et al. 2005). As imagens do sensor ASTER são utilizadas, principalmente, no monitoramento ambiental e, também, possuem aplicações em relação ao uso e ocupação das terras (Zhu e Blumberg, 2002).

Segundo Adams et al. (1995), existe uma necessidade de exatidão taxonômica dos diversos tipos vegetacionais, que pode ser alcançada por meio da classificação espectral denominada Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), aplicada a sensores hiperespectrais (espectrometria de imageamento). Mais recentemente, têm-se observado avaliações satisfatórias no emprego desta metodologia, também, mediante sua adaptação a sensores multiespectrais, particularmente o sensor ASTER, principalmente em estudos geológicos (Hubbard e Crowley, 2005), sendo ainda pouco utilizado no mapeamento da vegetação.

O Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) fundamenta-se no pressuposto de que a resposta de um pixel é uma combinação linear da resposta de cada alvo que ocorre em seu interior (Shimabukuro e Smith, 1991).

Um dos princípios do modelo supracitado é a decomposição linear dos dados originais em componentes sombra, solo e vegetação (Alvarenga et al., 2005). Como resultado, obtém-se algo semelhante a uma “classificação suave” para cada componente analisado, onde áreas mais claras ou mais escuras na imagem indicam, respectivamente, uma proporção maior ou menor do alvo em estudo. Pode-se dizer, então, que o MLME representa um novo conceito de análise, ao nível de subpixel, onde é possível estabelecer uma nova regra para mapeamentos, não mais em função de limites rígidos, mas considerando a proporção física do alvo ao longo da área analisada (Silva et al., 2008).

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto e particularmente a utilização de assinaturas espectrais de culturas agrícolas diversificadas, podem contribuir muito para a melhoria dos modelos de desenvolvimento e de produtividade agrícola, servindo como bons indicadores das condições gerais de vigor das culturas. Essa metodologia, no entanto, tem tido pouca aplicação, apesar do seu grande potencial para estudos de monitoramento e mapeamento da ocupação agrícola das terras, cuja demanda é cada vez mais crescente, em função do grande desenvolvimento do setor no Brasil, particularmente na região Centro-Oeste.

Como a utilização de dados de reflectância, obtidos por meio de espectroradiômetros, permite estabelecer padrões de resposta espectral de culturas agrícolas diversificadas, é possível o desenvolvimento de metodologia para levantamentos e monitoramentos dessas áreas em uma dada região. Assim, o objetivo deste trabalho foi estabelecer o comportamento espectral de áreas ocupadas com a cultura do feijão para a sua individualização, em uma área representativa do Distrito Federal, a fim de fornecer dados para levantamentos e monitoramentos dessa cultura agrícola no Distrito Federal, mediante uso de espectroradiometria e imagens de satélite do sensor ASTER.

2. Metodologia de Trabalho

A opção pela seleção de áreas cultivadas com feijão sob pivô central foi em função do imageamento por sensores orbitais, que é melhor na estação seca no Distrito Federal (entre agosto e dezembro), uma vez que o imageamento é muito prejudicado pela presença de

grande porcentagem de nuvens na estação chuvosa. Considerou-se, assim, o vigor vegetativo do feijão sob pivô central similar ao da estação chuvosa.

Caracterização das áreas de estudo

A propriedade rural selecionada localiza-se no Núcleo Rural Jardim, a sudeste do Distrito Federal, denominada Fazenda Santa Tereza (Figura 1).

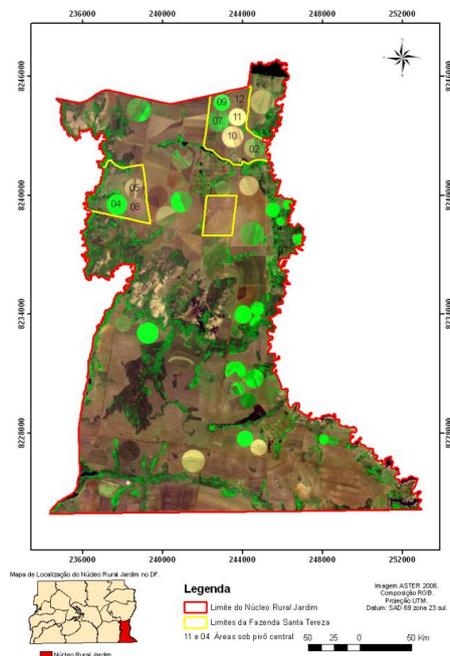


Figura 1. Imagem do sensor ASTER, com a localização da Fazenda Santa Tereza, no Núcleo Rural Jardim, DF, mostrando a distribuição das áreas sob pivô central cultivadas com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).

A Fazenda Santa Tereza localiza-se na Área Isolada 06, Capão dos Porcos, DF 260 - Planaltina-DF, e tem atividades agrícolas desde 1978. A área total pertencente à propriedade rural é de 4.200 ha, sendo 3.750 ha cultiváveis (2.750 ha no DF e 1000 ha em GO) e 450 ha destinados à Reserva Legal.

As áreas sob pivô central com sistema de plantio direto utilizadas no estudo foram as de número 4 e 11 (Figura 1), com cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Pérola, em um espaçamento entre linhas de 0,5 m, sendo as áreas dos pivôs de 80 e 60 ha, respectivamente. No pivô número 04, o feijão (*P. vulgaris* L.) foi plantado no dia 24/06/2006 e colhido no dia 12/10/2006, com uma produtividade de 2.760 kg/ha. No pivô número 11, o plantio foi realizado em dias distintos, sendo metade no dia 24/09/2008 e outra metade no dia 28/09/2008. O início da colheita foi no dia 08/01/2009 com uma produtividade de 3.000 kg/ha.

Os dados de campo foram coletados no pivô de número 11, no período compatível com a realização deste trabalho, uma vez que a cultura do feijão em ambos foi considerada semelhante.

Determinação das curvas espectrais por meio do espectrorradiômetro

Foram coletadas amostras representativas das folhas de feijão, do solo e da palhada do pivô central de número 11, em campo, em estágios fenológicos diferentes, correspondente ao início do desenvolvimento da cultura (dia 28/10/2008 – 34 dias após o plantio) e no estágio de maturação do feijoeiro (dia 09/12/2008 – 72 dias após o plantio). Foram feitas leituras das assinaturas espectrais do feijão, do solo e da palhada por meio do sensor laboratorial hiperespectral, FieldSpec®3, com leitura da radiação eletromagnética refletida no intervalo de comprimento de onda 0,350 a 2,500 μm , (faixas do espectromagnético do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas).

As leituras do comportamento espectral das folhas de feijão, do solo e da palhada foram realizadas imediatamente após a coleta das amostras, com repetição da leitura das folhas de feijão nos três dias subsequentes, objetivando a aquisição de assinaturas espectrais do feijoeiro com vigor vegetativo alto até o estágio de senescência, conforme descrito a seguir:

- Solo (Latosolo Vermelho) – dia 28/10/2008;
- Palhada – dia 28/10/2008;
- Folhas de feijão – dias 28, 29, 30 e 31/10/2008 (34 dias após o plantio do feijão);
- Folhas de feijão – dias 09, 10, 11 e 12/12/2008 – (72 dias após o plantio de feijão).

Como as assinaturas espectrais foram obtidas no espectro eletromagnético contínuo (Figura 2), as mesmas foram reamostradas, por meio de operações disponíveis no software ENVI 4.5 (Spectral Library Resampling), para a resolução espectral do sensor ASTER, utilizando as três bandas do VNIR – faixa do espectro eletromagnético do visível e infravermelho próximo (bandas 1 – 0,52 a 0,60 μm ; 2 – 0,63 a 0,69 μm e 3 – 0,76 a 0,86 μm) e as seis bandas do SWIR – faixa do espectro eletromagnético do infravermelho de ondas curtas (bandas 4 – 1,60 a 1,70 μm ; 5 – 2,14 a 2,18 μm ; 6 – 2,18 a 2,22 μm ; 7 – 2,23 a 2,28 μm ; 8 – 2,29 a 2,36 μm e 9 – 2,36 a 2,43 μm).

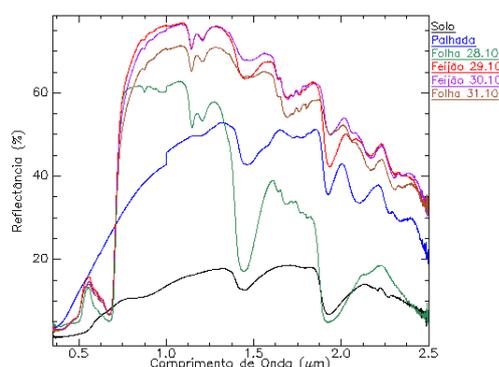


Figura 2. Curvas espectrais do solo, palhada e folhas de feijão, obtidas pelo sensor hiperespectral, FieldSpec®3 a partir do dia 28/10/2008.

Para identificar a cultura do feijão por meio da curva espectral obtida pelo espectroradiômetro utilizou-se uma imagem do sensor ASTER do dia 20/09/2006, cuja cena engloba a região do Núcleo Rural Jardim – Distrito Federal (Figura 1). O pivô central cultivado com feijão utilizado para o estudo na imagem ASTER foi o de número 4. Este pivô foi utilizado, uma vez que no período de aquisição da imagem, o pivô de número 11 estava em estágio de preparação para o cultivo. Pelo histórico agrícola da Fazenda Santa Tereza, o feijão plantado no pivô 11 em 2008 e o plantado no pivô 04 de 2006 são de mesma cultivar e possuem o mesmo sistema de plantio (plantio direto), ambos sob irrigação por pivô central. Desta forma, foi considerada a resposta espectral do feijão semelhante nas duas áreas de pivô central (números 4 e 11).

Pré-Processamento da imagem do sensor ASTER

A imagem do sensor ASTER utilizada corresponde à cena de especificação ASTL1A_20.09.2006 e foi adquirida com correção do efeito atmosférico por meio do módulo Flaash que utiliza o algoritmo Modtran. A correção atmosférica é essencial em estudos de reflectância de alvos, sob análise hiperespectral, pois, resumidamente, remove os efeitos devidos à geometria satélite-sol-terra e às condições atmosféricas.

Na etapa de pré-processamento digital hiperespectral, foi realizada a junção entre as bandas dos sensores VNIR (faixa do espectro eletromagnético do visível e infravermelho próximo: bandas 1, 2 e 3) e SWIR (faixa do espectro eletromagnético do infravermelho de

ondas curtas: bandas 4, 5, 6, 7, 8 e 9). A resolução espacial das bandas deste último sensor (SWIR) foi reamostrada de 30 para 15 m, compatível à resolução espacial do sensor VNIR, permitindo uma análise hiperespectral da imagem ASTER detalhada da área de estudo. Esta etapa foi concluída com a integração das nove bandas em uma única imagem. Tal procedimento foi realizado para viabilizar o processamento das imagens. Sendo todos os processamentos realizados no programa ENVI 4.5

Para determinação dos membros finais (endmembers) do MLME, foram utilizadas as curvas espectrais contínuas obtidas pelo sensor hiperespectral, FieldSpec®3, com leitura da radiação eletromagnética refletida no intervalo de comprimento de onda 0,350 a 2,500 μm . Assim, após individualizar as assinaturas espectrais nas classes de interesse (feijão, solo e palhada), montou-se uma biblioteca espectral, sendo realizada a classificação espectral pelo método MLME (Modelo Linear de Mistura Espectral) a partir dela.

Este processo foi realizado por meio da análise de mistura espectral utilizada para sensores hiperespectrais, adaptada para imagens de menor resolução espectral (multiespectrais), tal como a do sensor ASTER, por intermédio do programa ENVI 4.5.

Classificação espectral da imagem do sensor ASTER pelo método MLME (Modelo Linear de Mistura Espectral)

As curvas espectrais obtidas em laboratório, por meio do sensor hiperespectral FieldSpec®3, foram utilizadas na classificação espectral a partir do método MLME disponível no programa ENVI 4.5, na área de estudo, correspondente ao Núcleo Rural Jardim (DF).

Como não houve diferença entre as curvas espectrais das folhas de feijão obtidas nos dias 28/10/08 e 09/12/08 foram utilizadas as curvas dos dias 28/10/08, 29/10/08, 30/10/08 e 31/10/08. As curvas espectrais (endmembers) utilizadas nesta classificação e as respectivas cores atribuídas foram: solo - vermelho, palhada - amarelo e folhas de feijão dos dias 28, 29, 30 e 31/10/2008 - verde, azul, roxo e ciano, respectivamente.

Após realizar a classificação MLME, fez-se a composição RGB dos alvos, com o intuito de enfatizá-los: Red - solo; Green - palhada e Blue – feijão (curva espectral adquirida no dia 28/10/2008, correspondente a feijoeiro com alto vigor vegetativo). Com isso, os pivôs com cobertura de cultura do feijão com alto vigor vegetativo foram assinalados com a coloração azul. O Modelo Linear de Mistura Espectral reduziu a dimensionalidade dos dados de nove bandas, para uma imagem com seis bandas, assim, realizou-se um novo processamento digital para realçar os alvos de interesse, utilizando-se a classificação automatizada não-supervisionada Isodata, disponível no programa ENVI 4.5.

A classificação Isodata gerou seis classes (cores) para toda a cena, sendo que cinco destas encontram-se no Núcleo Rural Jardim. As classes geradas representam os seguintes dados: cultura de feijão (azul e verde), mata galeria e outras culturas (ciano), solo exposto (magenta) e palhada e outras culturas (amarelo).

No processamento pelo MLME, foi obtida uma imagem erro ou imagem RMSE (Root Mean Square Error), que tem a função principal de indicar a qualidade dos endmembers utilizados no modelo. Utilizaram as imagens erro do Núcleo Rural Jardim para verificar a exatidão da classificação pelo método MLME.

3. Resultados e Discussão

O resultado da classificação pelo método de Modelo Linear de Mistura Espectral - MLME na área do Núcleo Rural Jardim, DF, utilizando as curvas espectrais (endmembers) do solo (em vermelho), palhada (em amarelo) e folhas de feijão dos dias 28, 29, 30 e 31/10/2008 (em verde, azul, roxo e ciano, respectivamente), pode ser observado na imagem classificada apresentada na figura 3. Após fazer a classificação MLME, realizou-se a composição colorida RGB (Figura 3) com a seguinte distribuição: Red - solo; Green - palhada e Blue – feijão (curva espectral obtida em 28/10/2008). Com isso, os pivôs com cobertura de cultura do feijão

com alto vigor vegetativo foram classificados com a coloração azul. Verificou-se que a cultura do feijão no pivô nº 4 obteve esta coloração, tendo sido classificado corretamente por intermédio deste método de classificação.

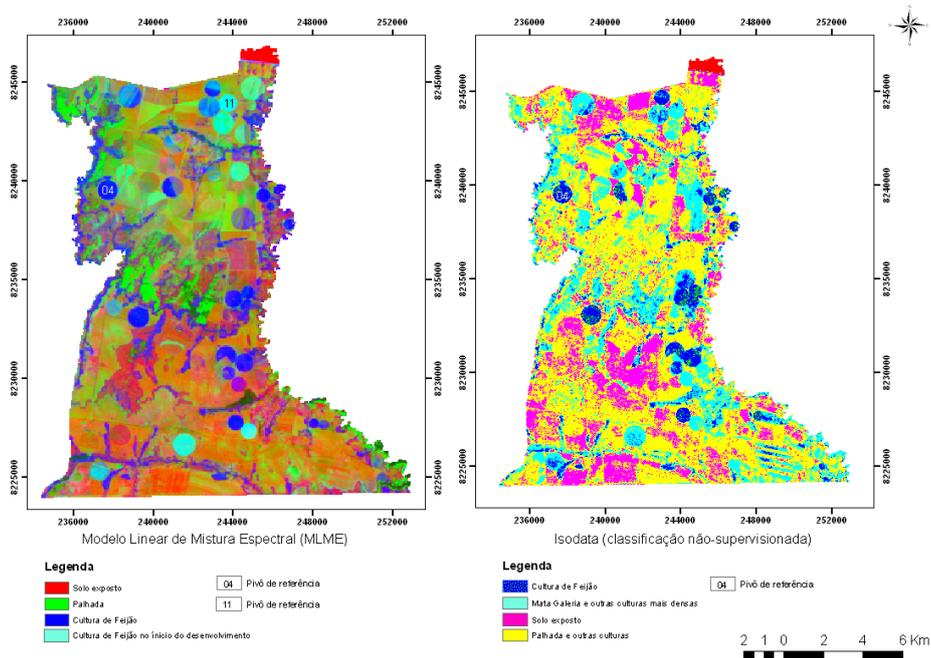


Figura 3. Imagem classificada pelo Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) e Isodata (classificação não-supervisionada) do Núcleo Rural Jardim – DF.

Pelo fato do modelo linear representar as variações encontradas nas assinaturas espectrais de diversos materiais e com isso realizar a proporção dos endmembers contidos em cada pixel da imagem, o resultado da classificação contém uma mistura da composição colorida realizada (Detchmendy e Pace, 1972 e Aguiar et al. 1999). Assim, os pivôs classificados com a coloração ciano (azul + verde, isto é, feijão + palhada), foram aqueles que estavam no início da cultura, porém, com maior proporção de interferência da palhada na resposta espectral, tal como o pivô de nº 11.

Observou-se, que prevaleceu a coloração verde na metade superior do Núcleo Rural Jardim na área, representando áreas cultiváveis sob sistema de plantio direto. Já na parte inferior do Núcleo Rural Jardim, ocorre maior presença de solo exposto, correspondente a uma coloração mais avermelhada da área, indicando ocorrência de áreas cultiváveis sob sistema de plantio convencional.

A distinção entre alvos agrícolas por meio de bandas convencionais dos sensores orbitais ópticos é difícil. Assim, a aplicação do MLME apresenta-se como alternativa na realização de tal discriminação, concordando com Mello et al. (2009), que discriminaram as fitofisionomias do Cerrado no Parque Nacional de Brasília, DF, por meio da classificação MLME, buscando definir meios de facilitar a discriminação das mesmas utilizando ferramentas de sensoriamento remoto. O trabalho realizado por Ferreira et al. (2003), que pesquisou a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral para discriminação das principais fitofisionomias do Parque Nacional de Brasília (bioma Cerrado), também, mostra o potencial de aplicação dessa metodologia, utilizando dados obtidos pelo sensor Landsat ETM+. Percebe-se, assim, que este método de classificação apresenta um bom desempenho na distinção de alvos devido à análise de forma “suave” e precisa na escala de subpixel.

Também na figura 3 está representada a classificação não-supervisionada Isodata feita a partir do processamento da classificação MLME. A classificação Isodata gerou cinco

classes no Núcleo Rural Jardim, DF: cultura de feijão (azul e verde), mata galeria e outras culturas (ciano), solo exposto (magenta) e palhada e outras culturas (amarelo).

Observou-se, visualmente, que o alvo da cultura do feijão foi classificado corretamente. Os demais alvos tiveram confusões de classificação, pois alvos completamente diferentes foram agrupados em uma mesma classe; como por exemplo a mata galeria e alguns pivôs com culturas mais densas foram classificados com a cor ciano. Devido a estas confusões, a classificação não supervisionada Isodata apresentou bons resultados apenas na individualização dos pivôs com cultura de feijão, não sendo satisfatória para os demais alvos.

Na figura 4 está apresentada a imagem erro ou imagem RMSE (Root Mean Square Error) do Núcleo Rural Jardim, DF. Segundo Silva et al. (2008), pixels escuros indicam baixo valor de erro, ou seja, pixels modelados corretamente, enquanto que pixels claros/brilhantes demonstram um valor mais alto de erro. Observou-se que os pixels do pivô de feijão n° 4 do Núcleo Rural Jardim estão escuros, indicando que foram classificados corretamente.

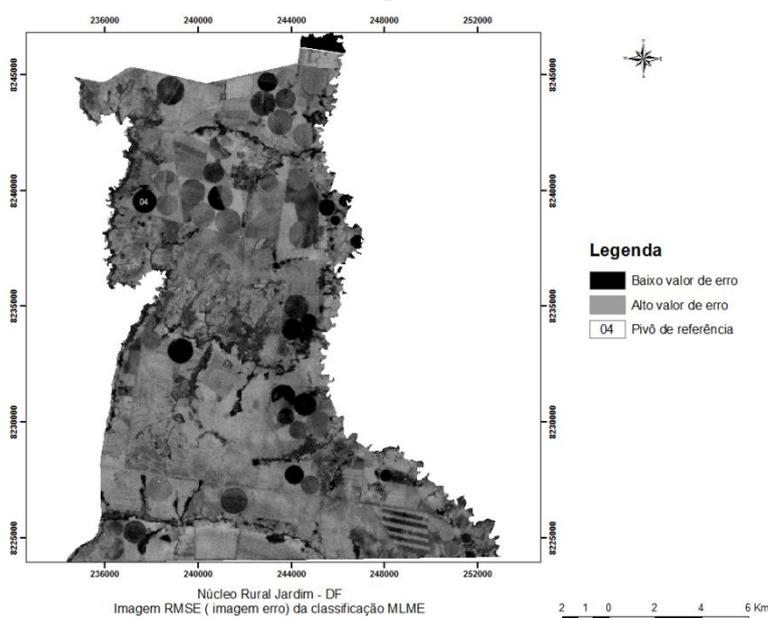


Figura 4. Imagem RMSE (imagem erro) do Núcleo Rural Jardim – DF, mostrando valor baixo de erro no pivô n° 4.

Com isso, a classificação por meio do Modelo Linear de Mistura Espectral apresentou resultados bastante satisfatórios, contribuindo para distinguir com uma boa precisão os pivôs com cultura de feijão das demais culturas, concordando com Maas (2000), já que a estimativa das áreas de plantio e de sua respectiva produtividade torna-se mais confiável. Considera-se a metodologia uma alternativa de uso para levantamentos e monitoramentos de áreas sob cultivo agrícola de feijão em imagens de satélite do sensor ASTER.

4. Conclusões

1. A classificação espectral por meio do Modelo Linear de Mistura Espectral - MLME possibilitou a discriminação dos pivôs de cultura de feijão das demais culturas, apresentando-se como uma alternativa de uso para levantamentos e monitoramentos de áreas sob cultivo agrícola de feijão em imagens de satélite do sensor ASTER.

5. Referências Bibliográficas

Adami, M.; Moreira, M. A.; Rudorff, B. F. T.; Freitas, C. C. e Faria, R. T. Expansão direta na estimativa de culturas agrícolas por meio de segmentos regulares. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.57, p.22-27, 2005.

Adams, J. B.; Sabol, D. E.; Kapos, V.; Almeida Filho, R.; Roberts, A.; Smith, M. O. e Gillespie, A. R. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: application to land-cover change in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v. 52, p. 137-154, 1995.

Aguiar, A. P. D.; Shimabukuro, Y. E.; Mascarenhas, N. D. A. Use of synthetic bands derived from mixing models in the multispectral classification of remote sensing images. **International Journal of Remote Sensing**, Londres, v. 20, n. 4, p. 647-657, 1999.

Alvarenga, B. S.; D'Arco, E.; Moreira, M. M.; Rudorff, B. F. T. Avaliação de técnicas de processamento digital de imagens para a estimativa de áreas de arroz irrigado: um estudo de caso no município de Santa Vitória do Palmar/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 3961-3966, 2005.

Ângulo Filho, R.; Cunha, C. A. H.; Rudorff, B. F. T.; Moreira, M. A. Comportamento espectral da cultura do feijão (IAC-Carioca 80) irrigado com diferentes lâminas de água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001.

Carvalho Junior, O. A.; Guimarães, R. F.; Martins, E. S.; Carvalho, A. P. F.; Gomes, R. A. T. Aplicação do método de identificação espectral para imagens do sensor ASTER em ambiente de Cerrado. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, vol. 23, n. 2, 2005.

Crepani, E.; Duarte, V.; Shimabukuro, Y. E.; Fidalgo, E. C. C. Sensoriamento remoto e geoprocessamento no mapeamento regional da cobertura e uso atual da terra. **Geografia**, v.27, p.119-135, 2002.

Detchmendy, D. M.; Pace, W. H. A model for spectral signature variability for mixtures. In: SHAHROKHI, F. (Ed.). **Remote Sensing of Earth Resources**. Tullahoma: University of Tennessee, v. 1, p. 596-620, 1972.

Ferreira, M. E.; Sano, E. E. e Ferreira, L. G. Atualização do Mapa de Vegetação do Parque Nacional de Brasília (Bioma Cerrado) por meio de Imagens Orbitais. **Revista Geo UERJ**, p. 1268-1273, 2003.

Hubbard, B. E.; Crowley, J. K. Mineral mapping on the Chilean-Bolivian Altiplano using co-orbital ALI, ASTER and Hyperion imagery: data dimensionality issues e solutions. **Remote Sensing of Environment**, v. 99, p. 173-186, 2005.

Maas, S. J. Linear mixture modeling approach for estimating cotton canopy ground cover using satellite multispectral imagery. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 72, p. 304-308, 2000.

Mello, M. P. de; Prado, B. R. do; Silva, G. B. S.; Shimabukuro, Y. E.; Sano, E. E. Comportamento espectral de fitofisionomias do Cerrado e desenvolvimento de índices utilizando bandas sintéticas derivadas de Modelos Lineares de Mistura Espectral aplicados na discriminação de fitofisionomias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 2839-2846, 2009.

Moreira, M. M.; Adami, M. e Rudorff, B. F. T. Análise espectral e temporal da cultura do café em imagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 3, 2004.

Pio, F.A. Estatísticas agrícolas para o século XXI. **Agricultura em São Paulo**, v. 46, n. 2, p. 71-105, 1999.

Rizzi, R.; Rudorff, B. F. T. e Adami, M. Estimativa da área de soja no Estado do Rio Grande do Sul por um método de amostragem. **Ciência Rural**, v.36, p.30-35, 2006.

Rizzi, R. e Rudorff, B. F. T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo agrônomo para estimar a produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 1, 2007.

Shimabukuro, Y. E. e Smith, J. A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 29, n. 1, 1991.

Silva, G. B. S.; Betiol, G. M. e Sano, E. E. Análise comparativa de quatro métodos de classificação supervisionada para a discriminação de fitofisionomias de Cerrado. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 12, n. 1, p. 3935-3947, 2008.

Zhu, G. B; Blumberg, D. G. Classification using ASTER data and SVM algorithms: the case study of Beer Sheva, Israel. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.80, p.233-240, 2002.