

Utilização da análise do erro proveniente da Análise de Mistura Espectrais (AME) na separação de classes de vegetação da Floresta Nacional do Araripe

LUCIANO JOSÉ DE OLIVEIRA ACCIOLY¹
ADMILSON PACHÊCO²
THOMAZ CORRÊA E CASTRO DA COSTA¹
MARIA APARECIDA JOSÉ DE OLIVEIRA¹
OSVALDO FERREIRA LOPES¹

¹EMBRAPA/CNPS/UEP Recife
Rua Antonio Falcão, 402 – Boa Viagem - Recife – PE, Brasil
oaccioly@elogica.com.br

²Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Recife - PE, Brasil
admilpp@npd.ufpe.br

Abstract This paper describes the use of the error analysis from spectral mixture analysis (SMA) to separate vegetation classes from the National Forest of Araripe (FLONA)-Brazil. The other objective of this work was to find “pure” image endmembers from the error analysis of the SMA. There are four classes of vegetation in FLONA’s area: *carrasco*, *cerradao*, *cerrado* and tropical rain forest. Factor analysis was used to reconstruct the original data matrix on the base of the number of factors. The threshold error for this reconstruction was 10% in each band of a Landsat TM imagery. A threshold of 1% was applied to select potential endmember associated to each factor. Four was the dimensionality of the imagery data. Most of the pixels reconstructed on the base of only one factor were on the *cerradao* or *cerrado* vegetation class. Tropical rain forest had dimensionality above one. The spectral behavior of the “pure” pixels associated to each factor was unique and represented the average spectral response for the whole imagery for the first factor but different spectral response were found for the remaining factor.

Keywords: spectral mixture analysis, factor analysis, imagery endmember, Landsat 5 TM

1 Introdução

A AME tem sido utilizada no mapeamento de solos, de classes de vegetação e no estabelecimento da relação entre parâmetros biofísicos da vegetação e a resposta espectral de coberturas vegetais para a condição de subpíxel (Huete & Escadafal, 1991; Accioly et al., 1998; Smith et al., 1990; Dereck et al., 1996). O uso da AME se fundamenta no fato de que um número reduzido de feições espectrais responde pela maior parte da variabilidade espectral de uma dada cena. Normalmente, três a cinco membros finais tem sido utilizados para a modelagem dos dados espectrais usando a AME. Os resultados da aplicação da AME tem se mostrado, em alguns casos, vantajosos em relação a aplicação de técnicas convencionais de realce, como os índices de

vegetação, e de classificação, como a classificação pelo método da máxima verossimilhança (MaxVer). Uma das dificuldades na aplicação da AME está associada à identificação de membros finais “puros” quer sejam extraídos da própria imagem, quer sejam provenientes de curvas espectrais obtidas no campo ou em laboratório. Os objetivos desse trabalho foram: a) Avaliar a viabilidade da utilização da AME na separação de quatro classes de vegetação (carrasco, cerrado, cerradão e mata úmida) existentes na Floresta Nacional do Araripe (FLONA) com base na análise do erro, e b) Utilizar a análise do erro com base na inclusão sucessiva de fatores para identificar membros finais “puros” extraídos da própria imagem da FLONA associados a cada dimensão dos dados.

2 Material e métodos

A FLONA está localizada na extremidade oriental da Chapada do Araripe compreendendo parte do município do Crato, Barbalha e Jardim. A área total é de 38.262 ha. O relevo é plano e a altitude média da área é de 800 m. A precipitação média é de 1.100 mm anuais com temperaturas médias variando entre 15° e 25°C. As seguintes classes de vegetação ocorrem: mata úmida, cerradão, cerrado e carrasco, correspondendo respectivamente a 12, 37, 43 e 7 % da área da FLONA (**Figura 1**).

A área da FLONA foi extraída da cena 217-65 do Landsat 5 TM com passagem sobre essa área em 02/11/94. Essa imagem foi registrada (erro médio de 0,5 pixels) tendo como referência mapas básicos na escala de 1:100.000. Utilizou-se o software ERDAS 8.3.1 no pré-processamento e realce da imagem. Nessa etapa, a imagem foi convertida em radiância com base nos coeficientes de calibração apresentados por Thome et al. (1997) e posteriormente removida a influência de primeira ordem da atmosfera através do método da subtração de alvos escuros. Essas transformações foram necessárias para permitir futuras comparações entre dados multitemporais.

A AME assume que a resposta espectral de um dado píxel na banda c (P_c) corresponde ao somatório das contribuições espectrais dos componentes individuais (membros finais) presentes neste píxel:

$$P_c = \sum_{i=1}^N F_i R_{i,c} + E_c$$

Onde:

F_i é a fração do membro final i , $R_{i,c}$ é a resposta espectral do membro final i na banda c , E_c representa o erro no ajuste do modelo na banda c para um número N de membros finais. As imposições do modelo são as de que o número de membros finais tem que ser igual ou menor do que N e

$$\sum_{i=1}^N F_i = 1$$

Neste trabalho os valores de E_c foram convertidos a valores absolutos e transformados em percentagem.

A AME foi realizada em um programa desenvolvido para pacote estatístico S-Plus 4.5 com imagens convertidas em arquivo do tipo ASCII. A reconstrução da imagem foi testada em duas etapas. Na primeira utilizou-se o modelo de análise fatorial para determinar matematicamente o número de fatores (membros finais) necessários para a reconstrução dos dados originais. Essa etapa é também conhecida como solução matemática ou abstrata da análise fatorial. A análise do erro percentual para cada fator em cada banda foi feita usando-se um limiar de 10% do valor de radiância por banda como admissível. Imagens do erro percentual foram visualizadas através de composições coloridas assinalando-se as cores azul, verde e vermelho, respectivamente para cada uma das composições das bandas 1, 2 e 3 e das bandas 4, 5 e 6 para cada fator. Dessa forma, píxels pretos apresentaram ajuste no modelo com erro menor ou igual a 10%, enquanto píxels com diferentes composições coloridas davam uma idéia da distribuição do erro superior a esse valor nas diferentes bandas. Na segunda etapa imagens da percentagem do erro foram geradas com a adição sucessiva de cada fator eliminando-se os píxels reconstruídos dentro da margem de erro no fator anterior (por exemplo, da imagem do erro referente ao segundo fator foram eliminados os píxels que atenderam o limiar de 10 % para o primeiro fator). Essas imagens funcionaram como “máscaras” para o processamento posterior de dados referentes a cada fator isoladamente.

Para a seleção de píxels “puros” foi aplicado um limiar mais estreito para o erro percentual. Em testes sucessivos foi definido um limiar de 1% como aceitável para a seleção de píxels “puros” dentro de cada fator. Os píxels retidos foram analisados quanto ao comportamento espectral, separando-se aqueles com maior contraste dentro de cada fator como potenciais membros finais (ou seja, aqueles que envolvem a solução abstrata da análise fatorial para uma solução real satisfatória).

O erro foi considerado mínimo e o modelo adequadamente ajustado quando houve coincidência espacial e espectral dos valores obtidos nos modelos matemático e físico (com base nos potenciais membros finais identificados). O erro foi ainda computado com base nas observações das classes de vegetação obtidas no campo e no mapa espectral gerado com a AME.

3 Resultados e discussão

A dimensionalidade dos dados mostrou ser igual a quatro, ou seja, quatro fatores foram necessários para reconstrução dos dados originais dentro de uma margem de erro inferior a 10%. A **Figura 2** apresenta a composição colorida da distribuição do erro para a reconstrução dos dados originais com base no primeiro fator aplicando-se um limiar de 10%. Quando comparado ao mapa da cobertura vegetal da FLONA (**Figura 1**), verifica-se que a maior parte dos píxels reconstruídos com base no primeiro fator e com valores de erro abaixo de 10% em todas as bandas (píxels pretos espacialmente coincidentes em ‘a’ e ‘b’ da **Figura 2**), se encontra em áreas de vegetação de cerrado e cerradão e correspondem a cerca de 15% da área total da FLONA. Ainda, para o primeiro fator, a maior parte do erro superior a 10% se concentra nas áreas de mata úmida para as bandas 3, 4, 5 e 7 do sensor TM indicando que para esse tipo de

vegetação a dimensionalidade dos dados é superior a um. Dessa forma, considerando-se o primeiro fator isoladamente foi possível separar parte da vegetação de cerrado e cerradão das demais (carrasco e mata úmida). Este resultado sugere a possibilidade de tratar fatores isoladamente, reconstituindo-se píxels apenas para um determinado fator.

O mapa do erro para fatores exclusivos (**Figura 3**) indicou que, para os fatores 2, 3 e 4 cerca de 47, 10 e 20% dos píxels da imagem da FLONA foram reconstituídos dentro da margem de erro inferior a 10%, respectivamente. Píxels reconstituídos com base no segundo fator dentro desse limiar de erro se encontram espalhados por toda a imagem, sendo difícil associa-los a classes de vegetação específicas. A vegetação de mata secundária e da parte da mata úmida que ocorre nas bordas da FLONA, menos sujeita à fiscalização, está mais associada aos píxels reconstituídos com base no terceiro fator. A maior parte dos píxels reconstruídos com base no quarto fator estão espacialmente próximos daqueles reconstruídos com base no primeiro fator estando também associados às áreas onde predomina a vegetação de carrasco.

A análise do comportamento espectral de píxels retidos como potenciais membros finais (margem de erro inferior a 1%) revelou disparidade nas curvas espectrais dentro de um mesmo fator e, em alguns casos, semelhanças entre curvas espectrais provenientes de fatores diferentes (**Figura 4**). Para o primeiro fator apenas quatro píxels foram retidos para um limiar de 1% do erro. As curvas espectrais desses quatro píxels representam (dentro de uma margem de erro que para efeitos práticos pode ser assumida como zero) a curva construída com base na média da resposta espectral em cada banda de todos os píxels presentes na imagem da FLONA. Esse resultado era esperado na medida que os píxels que melhor representam o primeiro fator são aqueles que mais se aproximam da média. Esses píxels estão localizados em áreas mapeadas como cerrado e cerradão.

Píxels associados ao segundo fator são aqueles que apresentam maior grau de ortogonalidade em relação ao vetor definido pelo primeiro fator. Dentro do critério de 1% de erro cerca de 167 píxels foram identificados como potenciais membros finais para o segundo fator. As curvas espectrais dentro deste limiar de erro, no entanto, podem ser tão diferentes quanto aquelas apresentadas na **Figura 4** (curvas Fator 2a e Fator 2b). A distribuição espacial desses píxels indicou que eles podem pertencer a qualquer das classes de vegetação existente na FLONA.

Para o terceiro e quarto fatores mais de duzentos píxels satisfazem o limiar de menos de 1% de erro em todas bandas e, assim como para o segundo fator, houve grandes diferenças no comportamento espectral das mesmas (**Figura 4**). Essa situação indica um número crescente de alternativas de combinações de potenciais membros finais para a transformação da solução matemática em real o que torna extremamente difícil a decisão de escolher a melhor combinação de membros finais. Além disso, é provável que, dentro dessa imensa constelação de combinações mais de uma apresente resultados satisfatórios na reconstrução da matriz de dados originais.

Tendo-se em mente as restrições apontadas, algumas combinações para reconstrução da imagem original foram testadas a partir das curvas espectrais apresentadas na **Figura 4** No entanto a margem de erro ainda foi elevada, mesmo quando foram utilizadas as curvas com maior contraste entre si (curvas legendadas por Fator 1, Fator 2b, Fator 3b e Fator 4b na **Figura 4**).

4 Conclusões

Foi necessária a inclusão de quatro fatores para a representação dos dados originais do Landsat 5 TM relativos à vegetação da FLONA.

A análise de erro mostrou a possibilidade de separar parte do cerrado e cerradão das classes de vegetação mata úmida e carrasco com base no primeiro fator, e mata secundária das demais classes de vegetação com base no terceiro fator.

A seleção de membros finais associados a cada fator é direta e inequívoca para o primeiro fator mas apresenta dificuldades crescentes à medida que a dimensionalidade dos dados aumenta.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração da UFRPE e do IBAMA/PNUD/FAO pelos mapas cedidos.

Referências

- Accioly, L. de O.; Huete, A.R.; Batchily, K. Using mixture analysis for soil information extraction from na AVIRIS scene at the Walnut Gulch Experimental Watershed - Arizona. **Anais do IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Santos – SP, 1998. Cd-rom.
- Dereck, R.P.; Hall, G.H.; Ellsworth, F.L. A comparison of NDVI and spectral mixture analysis for estimating biophysical properties in boreal forest terrain. **Proceedings of IGARSS**, Lincoln, Neb., 1996. pp. 230-232.
- Huete, A.R.; Escadafal, R. Assessment of biophysical soil properties through spectral decomposition techniques. **Remote Sen. Environ** 35:149-159. 1991.
- Smith, M.O.; Ustin, S.L.; Adams, J.B.; Gillespie, A.R. Vegetation in Deserts: I A regional measure of abundance from multispectral images. **Remote Sen. Environ** 31:1-26. 1990.
- Thome, K.J.; Markham, B.; Barker, J.; Slater, P.N.; Biggar, S.F. Radiometric calibration of Landsat. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 63:853-858, 1997.
- Toniolo, E.R.; Kazmierczak, M.L. Mapeamento da Floresta Nacional do Araripe. Relatório Técnico MMA-IBAMA, 1998. 12p.

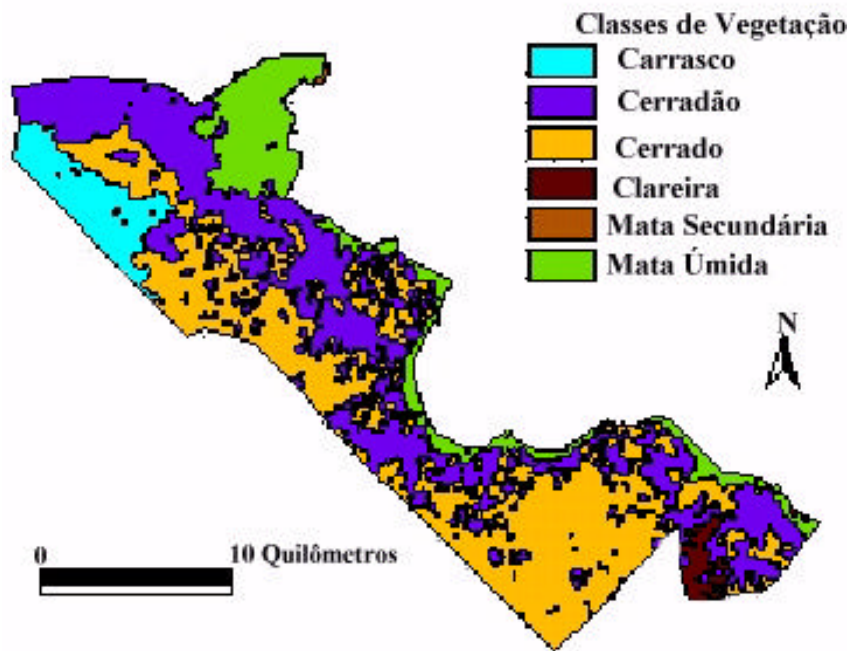


Figura 1 – Mapa da cobertura vegetal da Floresta Nacional do Araripe (FLONA). Fonte: Toniolo & Kazmierczak, 1998

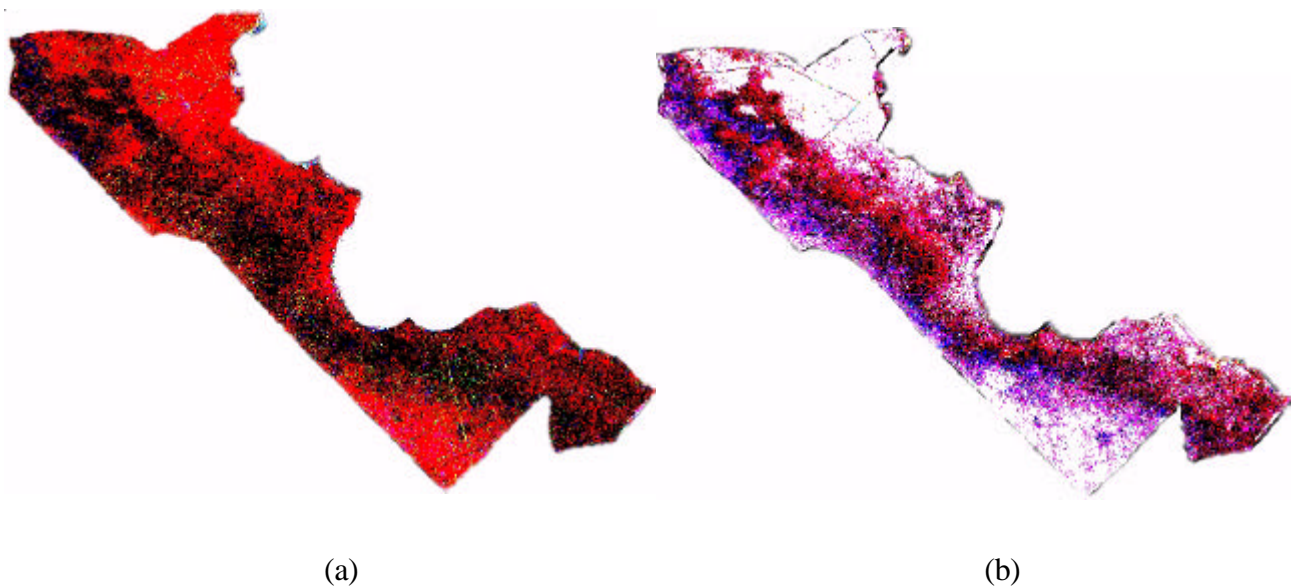


Figura 2 - Imagem do erro encontrado na reconstituição dos dados espectrais com base no primeiro fator. Na composição colorida foram assinaladas as cores azul, verde e vermelho às bandas 1, 2 e 3 (a) e 4, 5 e 7 (b).

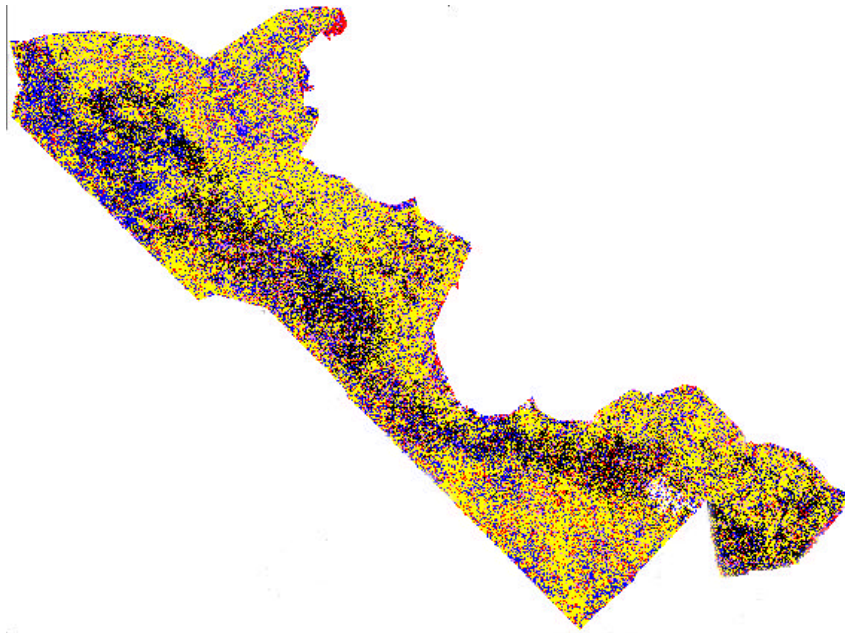


Figura 3 – Imagem do erro obtido na reconstituição progressiva dos dados originais da FLONA. As cores preta, amarelo, vermelho e azul representam os pixels reconstituídos com base no primeiro, segundo, terceiro e quarto fator, respectivamente.

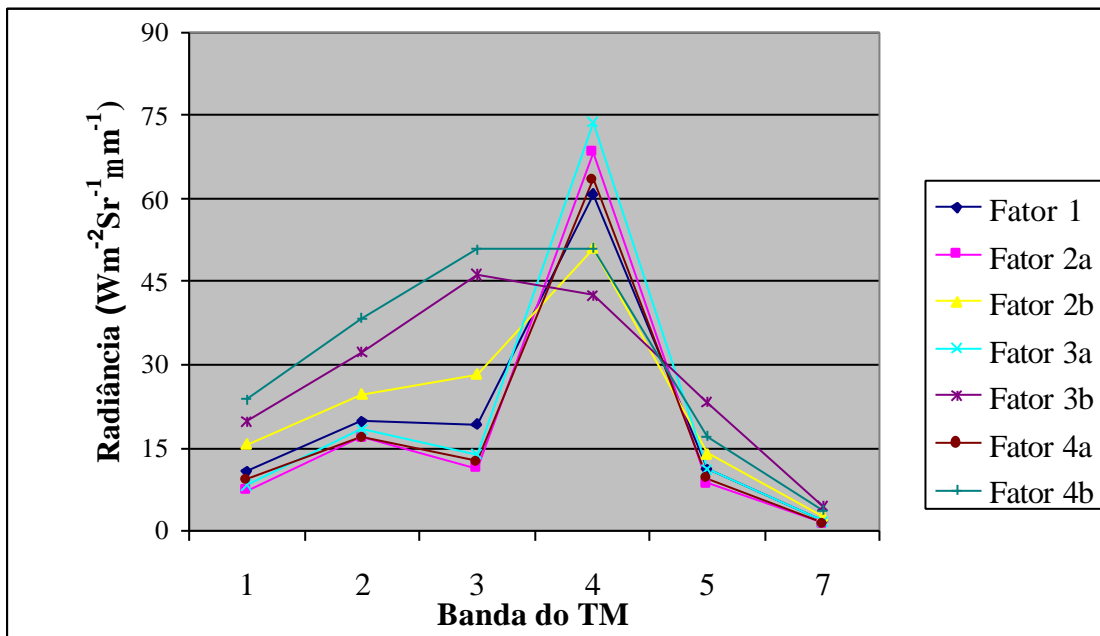


Figura 4 – Curvas espectrais de potenciais membros finais associados a cada fator.