

**PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS HIPERESPECTRAIS PELO
MÉTODO *MULTIPLE ENDMEMBER SPECTRAL MIXTURE MODELS* (MESMA)
PARA ANÁLISE DA VEGETAÇÃO**

OSMAR ABÍLIO DE CARVALHO JÚNIOR¹
RICHARD ANDERSON SILVA LOPES²
PAULO HONÓRIO GUIMARÃES²
RENATO FONTES GUIMARÃES²
ANA PAULA FERREIRA DE CARVALHO²
ÉDER DE SOUZA MARTINS³
JOSÉ NAVARRO PEDREÑO

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
osmar@ltid.inpe.br

²UnB - Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte - 70910-900, Brasília, DF, Brasil
{anapaula, renatofg}@unb.br

³Embrapa/CPAC-Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
Caixa Postal 08223, 73301-970, Planaltina, DF, Brasil
eder@cpac.embrapa.br

⁴Universidade Miguel Hernández de Elche – Departamento de Agroquímica y Meio Ambiente
AVDA EL Ferrocarril S/N 03202, Elche, Alicante, Espanha.
jonavar@umh.es

Abstract. This work presents a spectral analysis of targets in the cerrado, using an AVIRIS sensor image (*Airborne Visible/InfraRed Imaging Spectrometer*). The atmospheric correction was performed using ATREM (*Atmosphere Removal Program*) method complemented by EFFORT (*Empirical Flat Field Optical Reflectance Transformation*) method. Endmembers were detected after the atmospheric correction according to the following steps: a) spectral reduction by the *Minimum Noise Fraction* (MNF) transformation, b) spatial reduction by the Pixel Purity Index (PPI) and c) manual identification of the members using the N-dimensional visualizer. For that area, the identified pure members were: vegetation photosynthetically activates, vegetation non photosynthetically activates and soil. The spectral mixture analysis was made by Multiple Endmember Spectral Mixture Models (MESMA) method that defines for the root mean square which is the best association of spectral mixture that describes each pixel. This method was tested and showed excellent results.

Keywords: Spectral Mixture, MESMA, Imaging Spectroscopy.

1. Introdução

A espectroscopia de imageamento caracteriza-se por uma alta resolução espectral com aquisição de imagens com um grande número de bandas espectrais relativos a uns poucos nanômetros do espectro. No presente trabalho é utilizada a imagem do sensor hiperespectral *Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer* (AVIRIS), desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), capaz de adquirir espectros praticamente contínuos ao longo da porção do espectro solar refletido (0,4µm a 2,5 µm) contendo 224 bandas.

O objetivo do trabalho é analisar a mistura espectral da vegetação utilizando o método *Multiple Endmember Spectral Mixture Models* (MESMA) que estabelece para cada pixel o melhor modelo de mistura a partir do menor valor do erro médio quadrático. O procedimento metodológico utilizado neste trabalho pode ser subdividido em três etapas: (a) pré – processamento, (b) detecção dos membros finais, e (c) análise de mistura espectral pelo método MESMA. A área de estudo situa-se no estado de Goiás a leste de Niquelândia.

2. Correção Atmosférica

A correção atmosférica para a imagem em estudo foi realizada pelo método ATREM (Atmosphere REMoval program) desenvolvido para os sensores AVIRIS e HYDICE. Este método utiliza o código 6S de transferência radiativa atmosférica, (Gao et al., 1997 e Gao et al., 1999), conciliado com o modelo espectral Malkmus de banda estreita (Malkmus, 1967). O ATREM considera as variações espaciais e temporais do vapor d'água, com base nas feições de 0,94 μm e 1,14 μm (Gao et al., 1993).

Como tratamento complementar ao da correção atmosférica utilizou-se o método EFFORT (*Empirical Flat Field Optical Reflectance Transformation*), que permite um melhor ajuste da reflectância de superfície aos espectros presentes em campo. Esse algoritmo busca filtrar os erros acumulados das etapas de calibração e correção atmosférica e salientar o sinal da reflectância de superfície utilizando uma estatística de ajuste de todas as bandas através de valores de ganhos (próximos de 1) e *offsets* (próximos de 0) (Boardman, 1998).

3. Detecção de membros finais pela geometria do SIMPLEX

O Simplex é uma forma geométrica que dispõe os *pixels* da imagem em um arranjo espacial de maneira a auxiliar o entendimento da relação das misturas dos materiais presentes na imagem (Carvalho Júnior, 2000). Boardman & Kruse (1994) estabeleceram uma metodologia para detecção dos membros finais do SIMPLEX em três etapas: (a) redução da dimensão espectral (MNF); (b) redução da dimensão espacial (índice de pureza do pixel) e identificação (utilizando um visualizador n-dimensional).

Para a redução da dimensão espectral foi empregada a transformação MNF (Green *et al.*, 1988) que é muito eficiente em imagens hiperespectrais devido à sua alta redundância.

Com a finalidade de diminuir a influência de outros materiais no simplex foram separadas por máscaras os seguintes dados: (a) ruídos por degradação que apresentam um comportamento típico no espaço MNF junto às componentes mais ruidosas (Carvalho Júnior et al, 2000), e (b) áreas relativas ao rio pelo emprego de classificadores espectrais (**Figura 1**).

Desta forma, foi aplicado um novo MNF desconsiderando as áreas previamente selecionadas pelas máscaras. A **Figura 2** apresenta as primeiras componentes do MNF e a composição colorida RGB/3^a 6^a 8^a MNF que permite distinguir diferentes tipos de cobertura vegetal (**Figura 2**).

Na redução da dimensão espacial foi empregado o Índice de Pureza do *Pixel* (PPI) (Boardman & Kruse, 1994; Boardman et al., 1995). O procedimento PPI gera uma imagem que apresenta, para cada *pixel*, o valor do número de vezes em que esse foi definido como vértice (**Figura 3**). Quanto maior for o valor do *pixel* na imagem PPI maior é o seu grau de pureza.

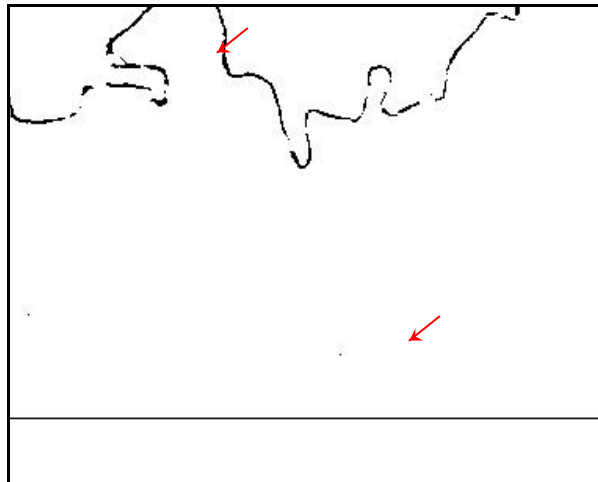


Figura 1. Mostra as máscaras utilizadas para o rio e o ruído.

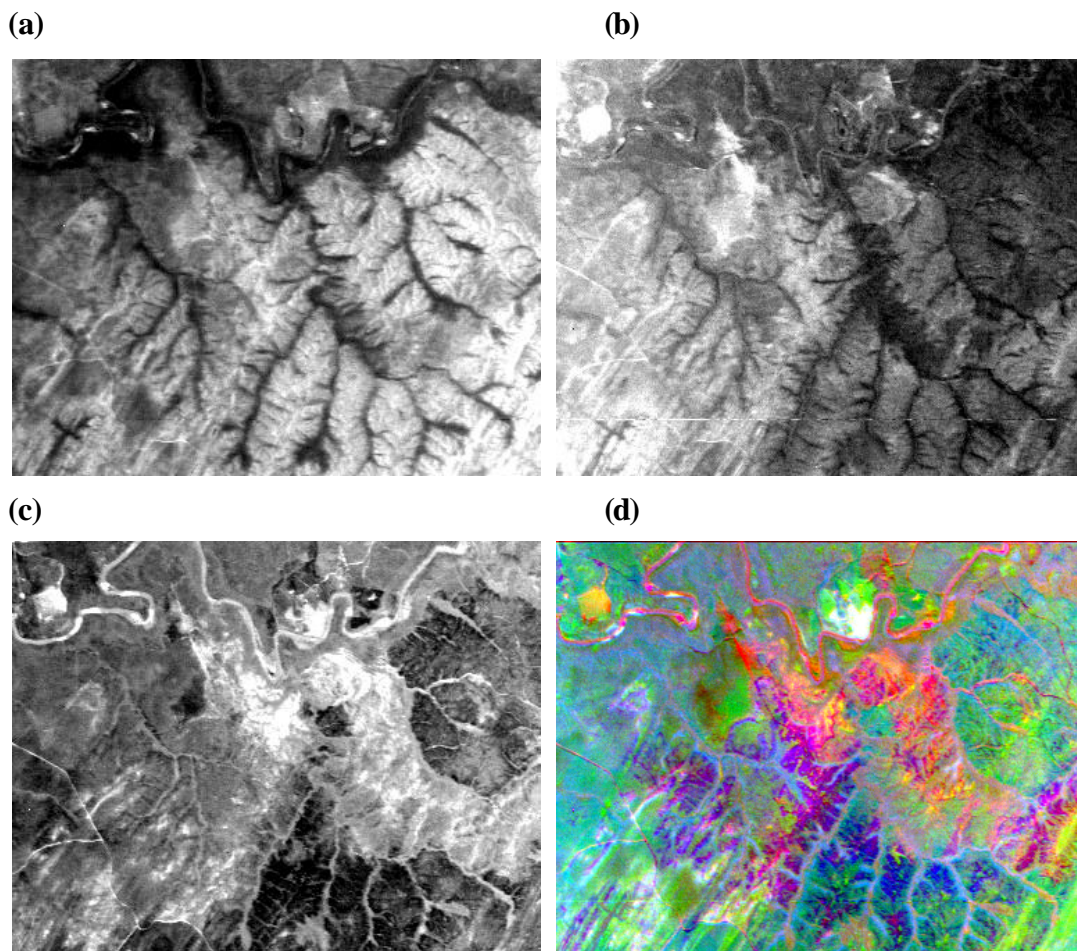


Figura 2. Componentes da transformação MNF: (a) 1ª MNF, (b) 2ª MNF, (c) 3ª MNF, e d) composição colorida relativo as componentes 3ª, 6ª, 8ª MNF

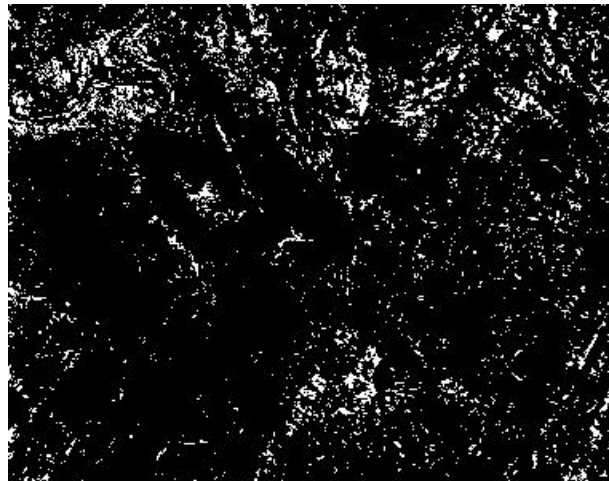


Figura 3. Imagem PPI.

A identificação manual foi feita com o visualizador n-dimensional que gera uma nuvem de pontos referente aos *pixels* em um espaço de atributos n – dimensional definido pelas componentes MNF em análise. Dentro desse módulo pode-se manipular a nuvem de pontos rotacionando-os de forma a obter um posicionamento que melhor discrimine os diferentes grupos de espectros (Boardman & Kruse, 1994). Esse tratamento proporciona uma melhor percepção dos agrupamentos de pontos permitindo uma separação e individualização das nuvens. Essa separação é feita de forma manual por meio de uma ferramenta de desenho interativa em tela. Portanto, esse método consiste em um processo de classificação por identificação onde o analista define as classes.

4. Emprego do Algoritmo MESMA

O MESMA é um aprimoramento do método de Análise Linear de Mistura (ALM). No entanto a falha da ALM é considerar todos os *pixels* como mistura de um único conjunto inicial de membros finais. Desta forma, pode-se ter um *pixel* modelado por membros finais que nele sejam inexistentes. Para corrigir essa fonte de erro foi proposto um novo método que estabelece para cada *pixel* o melhor modelo de mistura a partir do menor valor do erro médio quadrático (Smith et al., 1992; Sabol et al., 1992b; Roberts et al., 1992). A evolução dessa proposta deu origem ao modelo de Análise de Mistura Espectral com Múltiplos Membros (*Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis* - MESMA) (Roberts et al., 1998). Desta forma, o MESMA difere do ALM por permitir que o número e o tipo de membros finais variem de *pixel* para *pixel* tanto quanto sua abundância.

O MESMA calcula a fração dos membros finais, a raiz do erro médio quadrático e o seu respectivo residual. Assim, os pesos dos coeficientes do modelo de mistura são determinados como uma combinação linear dos seus membros finais de tal forma que se obtenha o menor erro médio quadrático, quando comparado com a curva espectral do *pixel*. O peso dos coeficientes varia de 1 até 0 e o ajuste é restrito para um limite de erro médio quadrático aceitável. Como passo final, o modelo para cada *pixel* com menor REMQ é identificado (Okin et al., 1998). O MESMA tem sido aplicado no mapeamento de áreas com cobertura de neve (Painter et al., 1998), de vegetação em região de chaparral (Gardner, 1997; Roberts et al., 1998a, 1998b) e de vegetação em regiões semi-áridas (Okin et al., 1998, 1999a). Roberts et al. (1998a) aponta para a necessidade de pesquisas adicionais.

Portanto, o MESMA é um aperfeiçoamento da ALM, mais robusto, que permite amenizar os erros de forma considerável. No entanto, um grande empecilho para a utilização desse método é o tempo computacional. Os trabalhos desenvolvidos com o MESMA em grandes

extensões de áreas tem sido realizados em supercomputadores, o que torna seu uso bastante restrito (Okin et al., 1999b).

Carvalho Júnior et al. (2001a) com intuito de diminuir o tempo operacional realizou uma prévia seleção dos alvos de interesse a partir do Método *Spectral Correlation Mapper- SCM* (Carvalho Júnior & Meneses, 2000). Sobre as áreas pré-selecionadas realizou-se o cálculo de ALM para todas as possíveis combinações de mistura espectral. Esses modelos de ALM são agrupados em uma única imagem e submetidos a um programa desenvolvido pelo autor que analisa *pixel a pixel* o melhor modelo de mistura avaliando o menor valor do RMS igualmente ao programa MESMA. Para a área de estudo o MESMA foi empregado na área utilizando quatro modelos relativos as diferentes combinações de misturas entre vegetação fotossinteticamente ativa (VFA), vegetação não fotossinteticamente ativa (VNFA) e solo.

5. Resultados

Como resultado do processamento foram obtidas três imagens de abundância relativas aos membros finais como também uma imagem do erro padrão (**Figura 4**). A partir das imagens de abundância gerou-se uma composição colorida que realça os diferentes tipos de vegetação presentes na área (**Figura 5**). No programa desenvolvido gera-se também uma imagem relativa aos melhores modelos definidos pelo método MESMA (**Figura 6**). Com a cor verde contém VFA, VNFA e Solos, o azul VFA e VFNA, o amarelo a VFA e Solos e o vermelho não foi detectado nem um dos modelos.

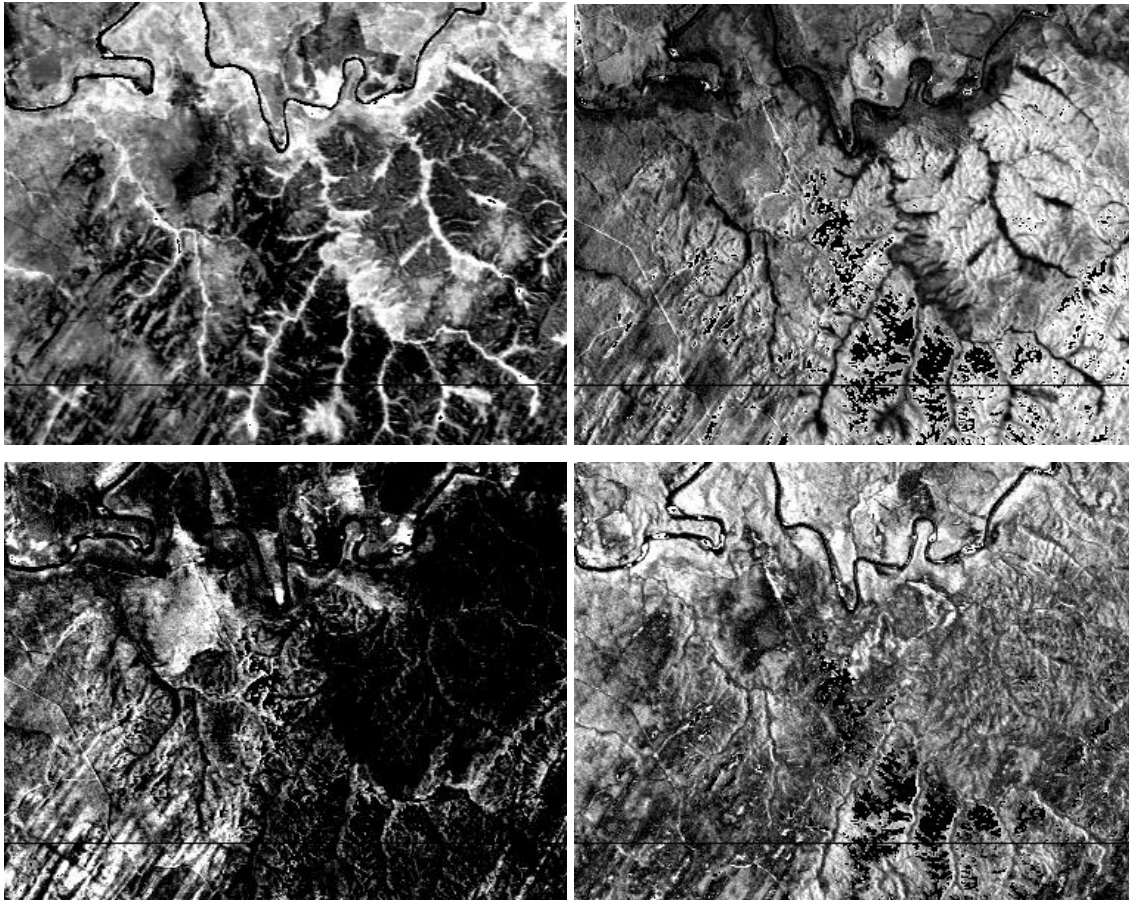


Figura 4 – Imagens dos membros finais: (a) VFA, (b) VNFA, (c) solo, (d) RMS.

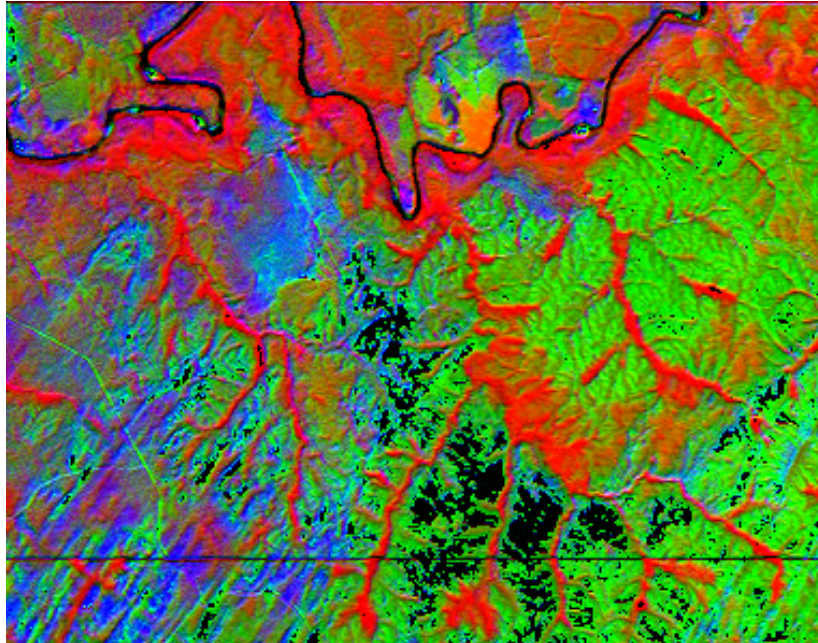
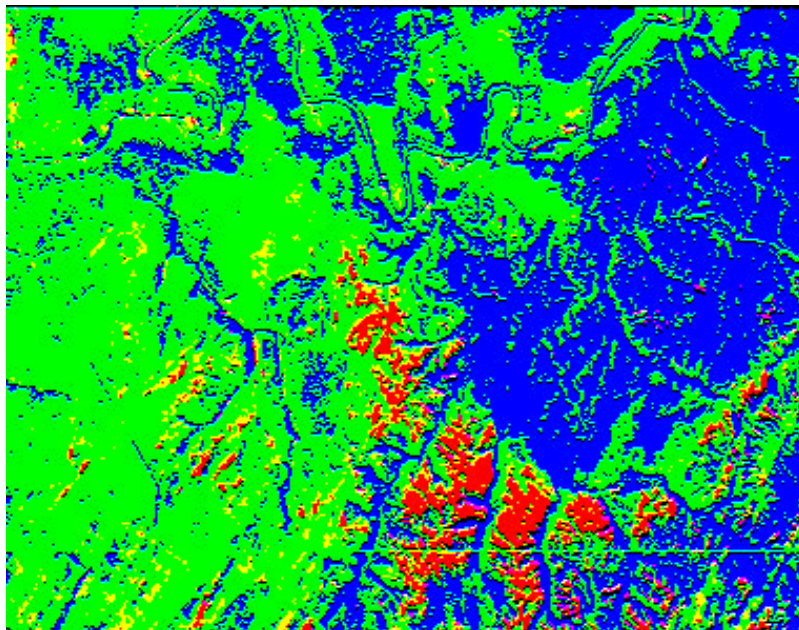


Figura 5 – Composição colorida relativa às imagens de VFA, VNFA e solo.



■ VFA/VNFA/Solos ■ VFA/VNFA ■ VFA/Solos ■ Sem modelo

Figura 6. Imagem referente aos modelos de misturas.

6. Conclusão

O método proposto para o processamento digital das imagens hiperespectrais permitiu detectar e analisar os principais sistemas de mistura espectral e os seus respectivos membros finais. A metodologia empregada para detecção dos membros finais permitiu identificar espectros puros para o emprego do MESMA possibilitando realçar a abundância relativa entre os membros finais identificando diferenciações na vegetação.

Referências

- Boardman, J. W. & Kruse, F. A. Automated spectral analysis: A geologic example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada: in *Proceedings, ERIM Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Environmental Research Institute of Michigan*, Ann Arbor, MI, I: 407-418. 1994.
- Boardman, J. W. Post-ATREM polishing of AVIRIS apparent reflectance data using EFFORT: a lesson in accuracy versus precision. In: *Summaries of the Seventh JPL Airborne Earth Science Workshop*, Vol.1 p.53. 1998.
- Boardman, J. W.; Kruse, F. A. & Green, R. O., 1995, Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data: In: *Summaries of the 5th Annual JPL Airborne Geoscience Workshop*, JPL Publication 95-1 Vol.1, pp. 23-26.
- Carvalho Júnior, O. A. Avaliação e Desenvolvimento de Imagens de Métodos de Processamento digital de Imagens Hiperespectrais - Análise em depósito de Níquel (Niquelândia, GO), tese de Doutorado, Universidade de Brasília. 2000
- Carvalho Júnior, O. A. & Menezes, P. R. Spectral Correlation Mapper (SCM): an Improving Spectral Angle Mapper. Presented in the *Ninth JPL Airborne Earth Science Workshop*. Pasadena, CA. JPL Publication 00-18. pp. 65-74. 2000.
- Carvalho Júnior, O. A.; Carvalho, A. P. F. & Menezes, P. R., Sequential MNF Employment: an Approach to Noise's Elimination. In: *Ninth JPL Airborne Earth Science Workshop*. Pasadena, CA. JPL Publication 00-18. pp. 85-92. 2000.
- Carvalho Júnior, O. A.; Carvalho, A. P. F.; Menezes, P. R.; Guimarães, R. F. Análise do Posicionamento da Banda de Absorção: Novo Método Para O Tratamento De Imagens Hiperespectrais In: CD-Room do X Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu (PR). 2001.
- Gao, B.-C.; Goetz A. F. H. & Zamudio, J. A. Removing Atmospheric effects from AVIRIS Data for Reflectance Retrievals, In: *Proceeding of the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop*, JPL Public 93-26. pp. 80-86. 1993.
- Gao, B.-C.; Hiedebrecht, K. B., & Goetz, A. F. H. Atmosphere Removal Program (ATREM) User's Guide version 3.0 pp.21. 1997.
- Gao, B.-C.; Hiedebrecht, K. B., & Goetz, A. F. H. Atmosphere Removal Program (ATREM) User's Guide version 3.1 pp.101. 1999.
- Gardner, M. Mapping Chaparral with AVIRIS Using Advanced Remote Sensing Techniques, Master of Arts thesis: Department of Geography, University of California, Santa Barbara, CA. 1997.
- Green, A. A.; Berman, M.; Switzer, P. & Craig, M. D., A transformation for ordering multispectral data in terms of images quality with implications for noise removal: *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, Vol. 26, No.1, pp. 65-74. 1988.
- Malkmus, W. Random Lorentz band model with exponential-tailed S line intensity distribution function, *J. Opt. Soc. Am.*, 57, 323-329. 1967.
- Okin, G. S.; Okin, W. J.; Roberts, D. A.; Murray, B. Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis: Application to an Arid/Semi-arid Landscape *Summaries of the 7th JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication 97-21 v.1, p.291-299. 1998.
- Okin, W. J.; Okin, G. S.; Roberts, D. A.; Murray B., Multiple Endmember spectral Mixture Analysis: Endmember Choice in an Arid Shrubland, *Summaries of the 8th JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication 99-17 v.1, p.323-331. 1999a.
- Okin, G. S.; Siegel, H.; Collier, J.; Miller, G. D., Okin, W. J.; Roberts, D. A., Murray B., Curkendall, D. W.; Painter, T. H. The Supercomputing Visualization Workbench for Analysis and Classification of Imaging Spectrometer Data. *Summaries of the 8th JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication 99-17 v.1, p.317-322. 1999b.
- Painter, T. H., Roberts, D. A.; Green, R. O. & Dozier J. The effect of grain size on spectral mixture analysis of snow – covered area from AVIRIS data. *Remote Sens. Environ.* 65:320-332. 1998.

Roberts, D. A., Smith, M. O., Sabol, D. E., Adams, J. B. & Ustin, S. Mapping the Spectral variability in photosynthetic and non-photosynthetic vegetation, soils and shade using AVIRIS, In *Summaries 3rd Annual JPL Airborne Geoscience Workshop* , JPL Publ. 92-14, v.1, p.38-40. 1992.

Roberts, D. A.; Gardner, M.; Church R., Ustin, S. Scheer, G. & Green, R. O. Mapping Chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models. *Remote Sens. Environ.* 65:267-279. 1998a.

Roberts, D. A.; Gardner, M.; Regelbrugge, J.; Pedreros, D.; Ustin, S. L. Mapping the Distribution of Wildfire Fuels Using AVIRIS in the Santa Monica Mountains *Summaries of the 7th JPL Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop* , JPL Publication 97-21 v.1, p.345-352. 1998b.

Sabol, D. E. Jr., Roberts, D. A., Smith, M. O. & Adams, J. B. Temporal variation in spectral detection thresholds of substrate and vegetation in AVIRIS images, In *Summaries of the 3rd Annual JPL Airborne Geoscience Workshop* , JPL Publication 92-14, v.1, p.132-134. 1992.

Smith, M. O., Adams J. B., Ustin S. L. & Roberts, D. A., , Using endmembers in AVIRIS images to estimate changes in vegetative biomass. *Summaries of the 4th Annual JPL Airborne Geoscience Workshop* , JPL Publication 92-14, v.1, p.69-71. 1992.