

## **Desenvolvimento de um Procedimento Simplificado do *Método Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis* (MESMA) para o Tratamento de Imagens Hiperespectrais**

OSMAR ABÍLIO DE CARVALHO JÚNIOR.<sup>1</sup>;

RENATO FONTES GUIMARÃES<sup>1</sup>

PAULO ROBERTO MENESES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geografia - Universidade de Brasília (UnB)- Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF, Brasil

osmana@tba.com.br

<sup>2</sup>Instituto de Geociências - Universidade de Brasília (UnB)- Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF, Brasil

**Abstract** For the analysis of spectral mixture the method of Linear Spectral Unmixing presents many mistakes because it is hard to adjust the endmembers existent in the image with the elements really existent in each pixels. A method proposed to eliminate that source of mistakes is the Multiple Endmember Spectral Mixture Models (MESMA) that defines for the root mean square which is the best association of spectral mixture that describes each pixel. This way, a routine was developed in IDL, which accomplishes that comparison of the models of mixtures defined for each pixel the most appropriate. This method was tested in the Niquelândia mine and showed excellent results being coherent with the field rising.

**Keywords:** Spectral Mixture, MESMA, Imaging Spectroscopy.

### **1 Análise Linear de Mistura (ALM)**

A análise linear de mistura baseia-se no emprego da regressão múltipla para quantificar a proporção dos minerais presentes na imagem. Esse procedimento teve sua origem no tratamento de imagens multiespectrais (Horwitz *et al.*, 1971, 1975; Richardson *et al.*, 1975; Adams & Adams, 1984; Huete, 1986; Huete *et al.*, 1986). Com o advento do sensor Airborne Imaging Spectrometer (AIS) Smith & Adams (1985) transferiram e aprimoraram a metodologia para imagens hiperespectrais, denominando-a de Análise Linear de Mistura (ALM). Dentro dessa concepção foram realizados inúmeros trabalhos (Mustard & Pieters 1986, 1987; Fox *et al.*, 1990; Mustard, 1993; Ustin *et al.*, 1992; Roberts *et al.*, 1993).

Uma visualização da concepção do ALM pode ser obtida por intermédio da geometria do simplex (Boardman, 1993). O êxito da mistura espectral dentro da configuração do simplex possui uma forte dependência da quantidade e qualidade dos membros finais utilizados. Como nesse procedimento há uma forte inter-relação de todos os dados, a existência de qualquer tipo de interferência por parte de um membro final influi em todos os pixels da cena analisada.

Pode-se identificar três principais tipos de erros na ALM provenientes das características dos membros finais inseridos no modelo: a) retirada ou excessiva simplificação dos membros finais; b) inserção de muitos membros para descrever uma cena; e c) presença de espectros que não podem ser modelados a partir dos membros finais.

### 1.1 Retirada ou Excessiva Simplificação dos Membros Finais

Quando um reduzido conjunto de membros finais é usado para descrever uma superfície complexa da imagem adiciona-se algumas incertezas na ALM. Sabol *et al.* (1992a) demonstrou o comportamento desse tipo de erro a partir de uma situação com quatro membros finais: a) granito, b) sombra, c) vegetação tipo 1 e d) vegetação tipo 2. A exclusão da componente da vegetação tipo 2 ocasionou sua redefinição no simplex como sendo uma mistura dos demais elementos e não como um membro final. Desta forma, o pixel puro da vegetação tipo 2 passou a corresponder a uma mistura com aproximadamente a 80% da vegetação 1, 15% do granito e 5% de sombra. Portanto, toda vez que a vegetação tipo 2 estiver presente em um pixel, mesmo em pequenas quantidades, observa-se um deslocamento dos valores percentuais dos demais membros puros, como é indicado pela seta em vermelho (**Figura 1**). Esse exemplo mostra como a retirada de um membro final pode resultar em um expressivo erro de quantificação do elemento dentro do simplex estabelecido.

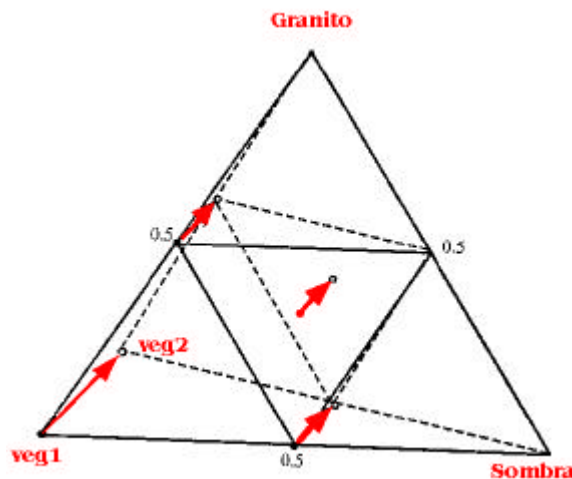


Figura 1 – Demonstração do erro pela não consideração do membro final referente à vegetação tipo 2. As setas vermelhas indicam a alteração quando a vegetação tipo 2 está presente. (Fonte: Sabol, 1992a)

### 1.2 Inserção de Muitos Membros Finais para Descrição de uma Cena

Cada membro final introduz no simplex um grau de erro inerente. Desta forma, na presença de muitos membros finais aumenta-se a nuvem de incerteza para uma estimativa obtida (**Figura 2**). Observa-se que o membro final com maior imprecisão ocasiona um alongamento da nuvem segundo sua direção. Na figura apresentada observa-se que a faixa vermelha possui maior probabilidade de erro que a faixa amarela. Essa imprecisão pode levar a determinar para algum pixel a presença de um material que, na verdade, inexistente.

Portanto, os principais fatores de erro com o aumento de membros finais são: a) aumento da variabilidade do erro; e b) estabelecimento de uma estimativa equivocada.

### 1.3 Presença de espectros que não podem se modelados

Muitos componentes que estão presentes em baixos teores na mistura acabam não sendo passíveis de adequada modelagem como um constituinte do simplex. Esses, quando adicionados no modelo, acabam provocando um aumento do erro. Tais elementos são denominados como

resíduos e devem receber tratamento especial. Como indicativos da presença de erro no procedimento ALM tem-se: a) aumento da incerteza do fracionamento; e b) aumento do residual ou do ruído.

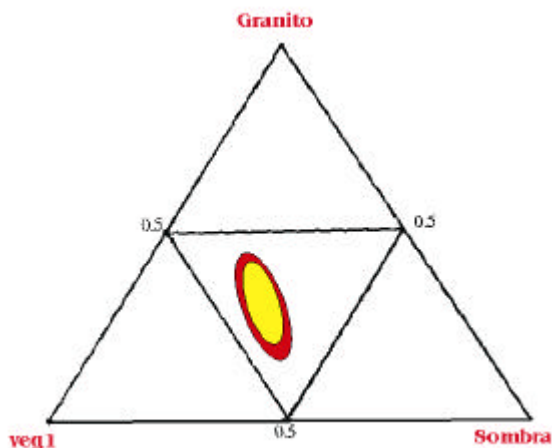


Figura 2 – Demonstração da área de imprecisão referente aos diferentes membros finais (Fonte: Sabol, 1992a).

### **ANÁLISE DOS ERROS E NOVAS PROPOSIÇÕES METODOLÓGICAS**

Observa-se que não deve existir nem insuficiência nem tão pouco excesso de membros finais pois ambas as situações desencadeiam erros na ALM. Desta forma, conclui-se que é necessário que se atinja uma condição ideal de membros finais. A maior probabilidade de sucesso é obtida quando a cena possui poucos membros finais conciliada a um baixo índice de ruído.

No entanto, a utilização do ALM para cenas com uma inerente complexidade acaba recaindo em uma das três fontes de erro anteriormente descritas. Nesses casos, cria-se um impasse, ou seja, tanto a colocação de todos os membros finais quanto sua simplificação geram erros. Desta forma surgem os seguintes métodos: a) Análise do resíduo, b) Análise *Foreground - Background* (AFB), c) Análise Hierárquica do *Foreground - Background* (AHFB) e d) *Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis* (MESMA).

### **MODELO DE ANÁLISE DE MISTURA ESPECTRAL COM MÚLTIPLOS MEMBROS FINAIS (MULTIPLE ENDMEMBER SPECTRAL MIXTURE ANALYSIS - MESMA)**

A Análise Linear de Mistura falha por 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. Considerando-se uma cena descrita pelos membros finais vegetação, solo e sombra, o cálculo da mistura será realizado com base nos três elementos mesmo que para o pixel não haja um dos componentes.

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.*, 1998a). 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.*, 1996, 1998a, 1998b), 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 tem sido realizados em supercomputadores, o que torna seu uso bastante restrito (Okin *et al.*, 1999b).

Uma simplificação do modelo MESMA é proposta neste trabalho. A partir da identificação espacial dos membros finais, segundo os métodos de análise espacial, pode-se identificar os modelos presentes para um determinado ambiente de mistura e assim realizar a regressão linear com os dados mais adequados.

### **O Desenvolvimento de Um Método Análogo ao MESMA**

Para a área da mina com exposição do perfil intempérico utilizou-se um procedimento análogo ao MESMA. No entanto, com intuito de diminuir o tempo operacional realizou-se uma prévia seleção do posicionamento dos minerais de interesse (pimelita, saponita, goethita, hematita e caulinita) a partir do Método Spectral Correlation Mapper (Carvalho & 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 REMQ. Os modelos de mistura com a existência de algum valor negativo é desconsiderado pelo programa.

Melhores modelos de mistura foram obtidos restringido-se a faixa espectral para as feições de absorção dos minerais analisados (0,43 $\mu$ m a 0,75  $\mu$ m e 2,09  $\mu$ m a 2,38  $\mu$ m). A **Figura 3** apresenta as imagens resultantes para cada mineral onde as áreas mais claras correspondem a maior porcentagem do mineral.

As imagens relativas aos minerais são concordantes com os resultados observados no campo. Uma topossequência a partir da base da cava da mina para o topo é bem caracterizada pela imagem. A base do perfil é constituída por pimelita e goethita e, à medida que dirige-se para o topo, observa-se um aumento da quantidade de hematita e caulinita. Quanto à pimelita e à saponita observa-se uma predominância da pimelita na mina e da saponita na pilha. A imagem da raiz do erro médio quadrático mostra que as áreas com garnierita foram as que apresentaram os maiores valores de erro, provavelmente devido à dificuldade de ajuste na porção do visível.

No programa desenvolvido gera-se também uma imagem relativa aos melhores modelos definidos pelo método MESMA. A **Figura 4** mostra que apenas sete modelos foram selecionados para configurar na imagem final, sendo os demais desprezados. Os modelos para a cava da mina apresentam-se coerentes. Observa-se que alguns pixels apresentam modelos inadequados, como por exemplo os presentes na parte periférica da área da mina, descritos pelos

modelos 2 e 3 que apontam a presença da pimelita. No entanto, esses apresentam valores extremamente baixos de pimelita, o que não compromete a metodologia. De mesma forma no modelo 7 os valores de hematita são bem baixos.

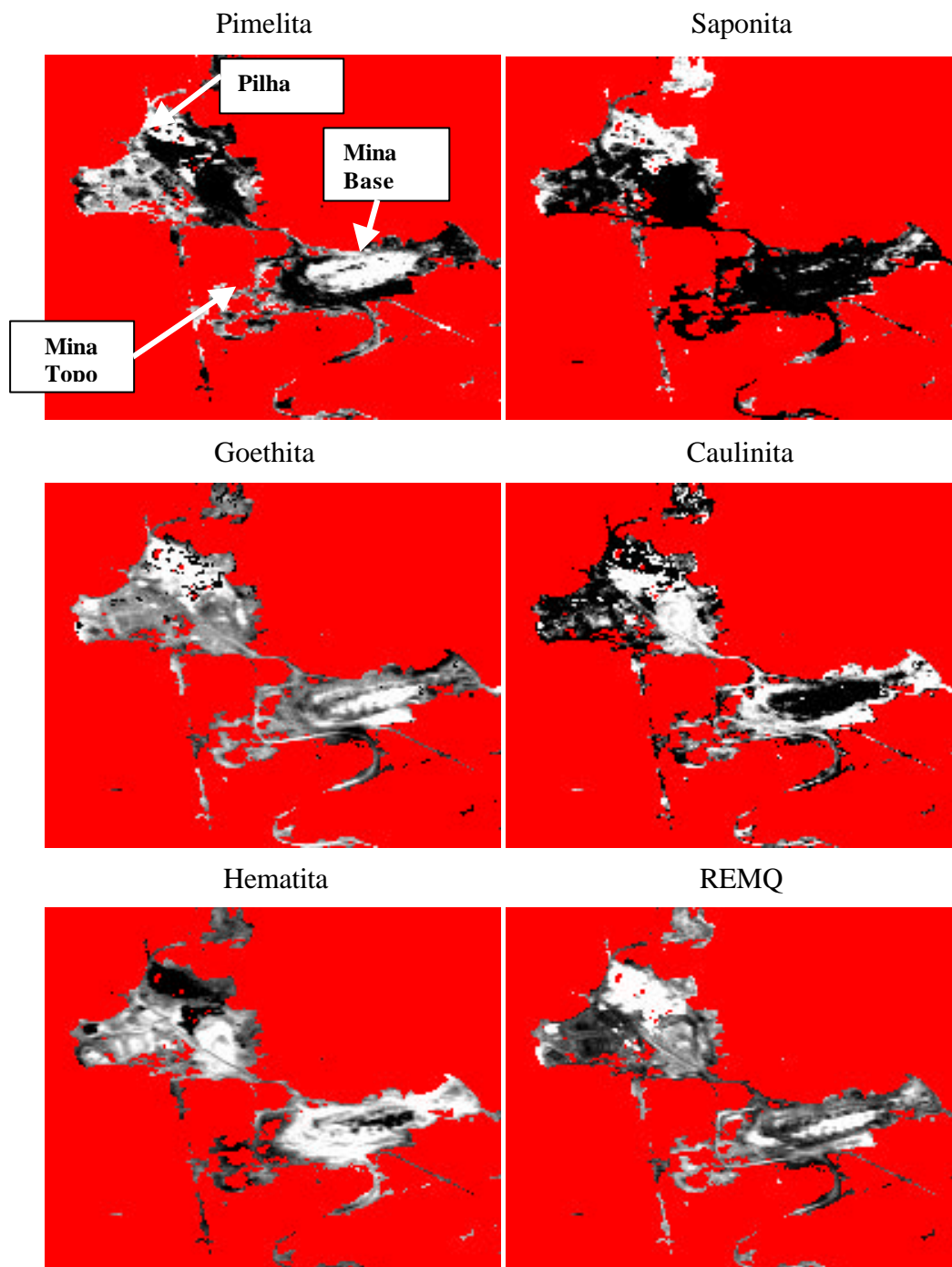


Figura 3 – Imagens do método MESMA para os minerais: a) pimelita, b) saponita, c) goethita, d)caulinita, e) hematita e f) raiz do erro médio quadrático.

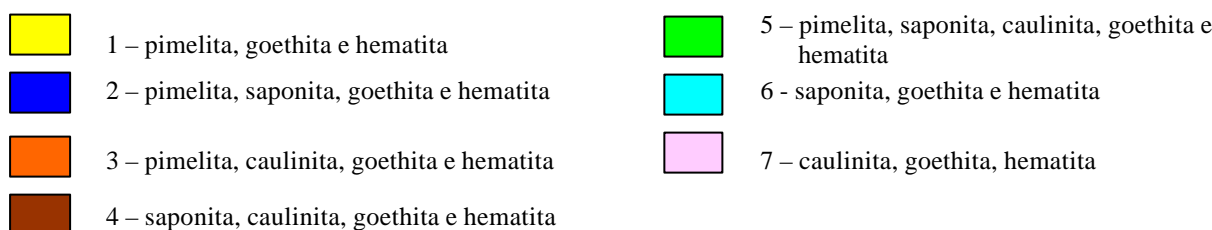
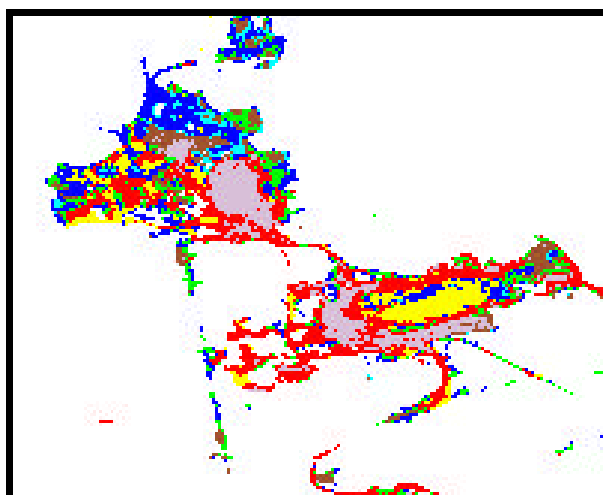


Figura 4 – Imagem temática com os modelos selecionados pelo MESMA.

### Conclusão

O método MESMA é um aperfeiçoamento do método ALM que possibilita identificar o modelo de mistura existente para cada pixel. O método necessita de muito tempo operacional, uma forma para torna-lo mais ágil é o emprego de uma prévia seleção das áreas de interesse utilizando um classificador espectral como o SCM. No emprego do SCM não deve-se preocupar-se com os limites exatos podendo inclusive superestimar a área de abrangências pois o MESMA encarrega-se de definir o melhor modelo. O MESMA obtêm melhores resultados quando são utilizados apenas as faixas relativas as feições de absorção existentes nos minerais analisados. O MESMA ele é um método completo pois tanto permite identificar as áreas de ocorrência de minerais como permite quantificar a porcentagem dentro da concepção de uma mistura macroscópica.

### Referências

- Adams, J. B. & Adams J. 1984. Geologic mapping using Landsat MSS and TM images: Removing vegetation by modeling spectral mixtures. *Third Thematic Conf. Remote Sens. for Expl. Geol. ERIM* 2:615-622.
- Boardman, J. W., 1993, Automated spectral unmixing of AVIRIS data using convex geometry concepts: In: *Summaries of the 4<sup>th</sup> Annual JPL Airborne Geoscience Workshop* , JPL Publication 93-26, Vol. 1, pp.11-14.
- Carvalho Jr., O. A. & Menezes, P. R., 2000, Spectral Correlation Mapper (SCM): na Improving Spectral Angle Mapper. Presented in the *Nineth JPL Airborne Earth Science Workshop*. February. URL: <http://makalu.jpl.nasa.gov/docs/workshops/toc.htm>

- Fox, L.; Fischer, A. F.; Gillespie, A. R. & Smith, M. R., 1990, Using Spectral Mixture Analysis of AVIRIS High Dimensional Data for Distinguishing Soil Chronosequences. In: *Summaries of the 2<sup>nd</sup> Annual JPL Airborne Visible / Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop*, JPL 90-54, URL: <http://makalu.jpl.nasa.gov/docs/workshops/toc.htm>
- Gardner, M., 1997, Mapping Chaparral with AVIRIS Using Advanced Remote Sensing Techniques, Master of Arts thesis: Department of Geography, University of California, Santa Barbara, CA.
- Horwitz, H. M., Lewis J. T. & Pentland, A. P., 1975, Estimating proportions of objects from multispectral scanner data. Final Report, NSAS Contract NAS9-14123, NASA-CR-141862, 108p.
- Horwitz, H. M., Nalepka, R. F., Hyde, P. D., & Morgenstern, J. P. 1971. Estimating the proportions of objects within a single resolution element of a multispectral scanner. *Proc. Seventh Int'l Symp. Remote Sens. Environ. Ann Arbor, MI*, p. 1307-1320.
- Huete, A. R., 1986, Separation of soil-plant spectral mixture by factor analysis. *Remote Sens. Environ.* 19:237-251.
- Huete, A. R.; Jackson, R. D. & Post, D. F., 1986, Spectral response of plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sens. Environ.*, 17:37-53.
- Mustard J. F. & Pieters C. M. 1987. Abundance and distribution of ultramafic microbreccia in Moses Rock dike: Quantitative application mapping spectroscopy. *J. Geophys. Res.* 92:10376-10390.
- Mustard, J. F., & Pieters, C. M. 1986. Quantitative abundance estimates from bidirectional reflectance measurements. *J. Geophys. Res.* pp. E617-E626.
- Mustard, J. F., 1993, Relationships of soil, grass, and bedrock over the Kaweah Serpentinite Melange through spectral mixture analysis of AVIRIS data. *Remote Sens. Environ.*, Vol. 44, pp. 293-308.
- Okin, G. S.; Okin, W. J.; Roberts, D. A.; Murray, B., 1998, Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis: Application to an Arid/Semi-arid Landscape *Summaries of the 7<sup>th</sup> JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication 97-21 v.1, p.291-299.
- Okin, G. S.; Siegel, H.; Collier, J.; Miller, G. D., Okin, W. J.; Roberts, D. A., Murray B., Curkendall, D. W.; Painter, T. H., 1999b, The Supercomputing Visualization Workbench for Analysis and Classification of Imaging Spectrometer Data. *Summaries of the 8<sup>th</sup> JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication 99-17 v.1, p.317-322.
- Okin, W. J.; Okin, G. S.; Roberts, D. A.; Murray B., 1999a, Multiple Endmember spectral Mixture Analysis: Endmember Choice in an Arid Shrubland, *Summaries of the 8<sup>th</sup> JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication 99-17 v.1, p.323-331.
- Painter, T. H., Roberts, D. A.; Dozier J.; Green, R. O., 1998a, *Automated subpixel snow parameter mapping with AVIRIS data* In: *Summaries of the 7<sup>th</sup> JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication 97-21 v.1, p.301-307.



- Painter, T. H., Roberts, D. A.; Green, R. O. & Dozier J.; 1998b, The effect of grain size on spectral mixture analysis of snow – covered area from AVIRIS data. *Remote Sens. Environ.* 65:320-332.
- Painter, T. H., Roberts, D. A.; Green, R. O., Dozier J.; 1996, Subpixel snow-covered area and snow grain size from mixture analysis with AVIRIS data, In: *Summaries of the 6<sup>th</sup> JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication v.1, p.
- Richardson, A. J. Wiegand, C. L., Gausman, H. W., Cuellar, J. A. & Genermann, A. H., 1975. Plant, soil and Shadow reflectance components of row crops. *Photogramm. Engr. Remote Sens.* 41:1401-1407.
- Roberts, D. A., Smith, M. O., Sabol, D. E., Adams, J. B. & Ustin, S., 1992, Mapping the Spectral variability in photosynthetic and non-photosynthetic vegetation, soils and shade using AVIRIS, In *Summaries 3<sup>rd</sup> Annual JPL Airborne Geoscience Workshop* , JPL Publ. 92-14, v.1, p.38-40.
- Roberts, D. A.; Green, R. O.; Sabol, D. E.; Adams, J. B., 1993, Temporal Changes I Endmember Abundances, Liquid Water and Water Vapor Over Vegetation at Jasper Ridge *Summaries of the 4<sup>th</sup> Annual JPL Geoscience Workshop*, JPL Publ. 93-96, vol.1., p. 153-156
- Roberts, D. A.; Gardner, M.; Church R., Ustin, S. Scheer, G. & Green, R. O., 1998a, Mapping Chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models. *Remote Sens. Environ.* 65:267-279.
- Roberts, D. A.; Gardner, M.; Regelbrugge, J.; Pedreros, D.; Ustin, S. L., 1998b, Mapping the Distribution of Wildfire Fuels Using AVIRIS in the Santa Monica Mountains *Summaries of the 7<sup>th</sup> JPL Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop* , JPL Publication 97-21 v.1, p.345-352
- Sabol D. E. Jr., Adams J. B. & Smith M. O. 1992a, Quantitative Subpixel Spectral of Targets in Multispectral Images, *J. Geophys. Res.*, 97, 2.659-2.672.
- Sabol, D. E. Jr., Roberts, D. A., Smith, M. O. & Adams, J. B., 1992b, Temporal variation in spectral detection thresholds of substrate and vegetation in AVIRIS images, In *Summaries of the 3<sup>rd</sup> Annual JPL Airborne Geoscience Workshop* , JPL Publication 92-14, v.1, p.132-134.
- Smith, M. O. & Adams, J. B. 1985. Interpretation of AIS images of Cuprite, Nevada, using constraints of spectral mixtures. In: *Proc. Airborne Imaging Spectrometer Data Analysis Workshop* JPL Publ. 85-41, p. 62-68.
- Smith, M. O., Adams J. B., Ustin S. L. & Roberts, D. A., 1992, Using endmembers in AVIRIS images to estimate changes in vegetative biomass. *Summaries of the 4<sup>th</sup> Annual JPL Airborne Geoscience Workshop* , JPL Publication 92-14, v.1, p.69-71.
- Ustin S. L., Smith, M. O. & Adams, J. B., 1992, Multitemporal diurnal AVIRIS images of a forested ecosystem. In *Summaries of the 4<sup>th</sup> Annual JPL Airborne Geoscience Workshop* , JPL Publication 92-14