

Sensoriamento Remoto Hiperespectral Aplicado ao Mapeamento de Minerais de Alteração Hidrotermal nos Distritos Mineiros de Bodie e Paramount, Califórnia

ALVARO P. CRÓSTA¹

¹Instituto de Geociências - UNICAMP
Caixa Postal 6152, 13081-970 Campinas, SP, Brasil
alvaro@ige.unicamp.br

Abstract. High spectral resolution sensors are being developed in recent years, which will allow new and more advanced applications of remote sensing data. This paper presents the results obtained using data from one of these sensors for mineral mapping in mining districts of California. The target were hydrothermal alteration minerals, which serve as a guide for mineral exploration, particularly for precious and base metals (gold, silver and copper). Data was generated by AVIRIS (Advanced Visible and Infrared Imaging Spectrometer), a sensor developed and operated by the Jet Propulsion Laboratory at NASA, covering the electromagnetic spectra from 400 to 2,500 nm, in 224 continuous bands. Algorithms for processing these type of hyperspectral data for mineral mapping are examined and compared. An overview of the development of future hyperspectral sensors is also presented.

Keywords: Hyperspectral Remote Sensing, Mineral Mapping, Mineral Exploration, Image Processing, Future Sensors.

1 Introdução

O sensoriamento remoto de alta resolução espectral, ou hiperespectral (SRH), está se tornando uma realidade, após anos de pesquisa decorridos desde a operação do primeiro espectrômetro de imageamento em 1983, o *Airborne Imaging Spectrometer - AIS* (Goetz et al., 1985). Com o aparecimento do *Advanced Visible and Infrared Imaging Spectrometer* (AVIRIS) em 1987 (Vane, 1987), uma série de novas aplicações dessa tecnologia vem sendo demonstradas, incluindo o mapeamento detalhado de minerais e rochas, vegetação, água/neve/gêlo, estudo de gases e partículas atmosféricas, nuvens e diversas outras.

Uma das principais barreiras para a consolidação do SRH diz respeito à disponibilidade ainda restrita de dados à disposição da comunidade científica e de usuários, uma vez que os espectrômetros de imageamento atualmente existentes são aeroportados. Essa barreira tende agora a ser atenuada, não só com a recente entrada em operação de novos sensores desse tipo, tais como o *Hyperspectral Digital Imagery Collection Experiment* (HYDICE) (Basedow et al., 1992), o *Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer* (MIVIS) (Stanich et al., 1994) e o *SWIR Full Spectrum Imager* (SFSI) (Neville & Rowlands,

1994), como também com a migração dos espectrômetros de imageamento para plataformas orbitais. Após o cancelamento pela NASA do sensor HIRIS (*High Resolution Imaging Spectrometer*) (Rockey, 1990), o qual iria compor o conjunto de instrumentos da plataforma Earth Observation System (EOS), espectrômetros de imageamento a bordo de satélites estão programados para serem lançados num futuro bastante próximo, tornando possível a obtenção de dados espectrais de alta resolução em todo o planêta. Nesse sentido, a empresa TRW, em parceria com a NASA, está desenvolvendo o *Hyperspectral Imager* (HSI), com 384 bandas espectrais, a ser lançado operado comercialmente nos próximos anos (Taranik & Crósta, 1994).

No Brasil, dados hiperespectrais foram obtidos pelo sensor AVIRIS, no âmbito do projeto SCAR-B (*Smoke, Clouds and Radiation - Brazil*), executado pela AEB, INPE e NASA entre os meses de agosto e setembro de 1995 em áreas do Distrito Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Rondônia (NASA, 1995). Esses dados estão à disposição da comunidade científica e de usuários e sua utilização futura por pesquisadores brasileiros permitirá uma avaliação das possíveis aplicações e dos benefícios proporcionados pela espectrometria de imageamento na identificação de materiais superficiais, bem como dos condicionantes inerentes às nossas condições fisográficas e climáticas.

A tendência em termos de novas aplicações da espectrometria de imageamento vem sendo impulsionada pelo desenvolvimento recente de técnicas de processamento desses dados, especificamente projetadas para trabalhar com a alta resolução espectral e o enorme volume de dados, típicos do SRH (Crósta et al., 1996). As técnicas de processamento digital de dados de sensoriamento remoto existentes, desenvolvidas para sensores multiespectrais do tipo Landsat MSS e TM, AVHRR, Spot, todos com um número reduzido de bandas espectrais cobrindo intervalos consideravelmente amplos do espectro, muitas vezes não se adequa ao processamento de dados de SRH.

2 Objetivos

Este trabalho trata da aplicação de dados de espectrometria de imageamento obtidos pelo sensor aeroportado AVIRIS, ao mapeamento de minerais de alteração hidrotermal associados a mineralizações de metais preciosos em uma região do oeste da Califórnia, nos Estados Unidos. O objetivo do trabalho foi o de utilizar e comparar técnicas recentemente desenvolvidas de processamento, específicas para dados desse tipo, na identificação de materiais superficiais com base no seu espectro. Objetivou-se também avaliar os benefícios do uso dessa tecnologia, em preparação à disponibilidade de dados semelhantes sobre regiões do Brasil e à sua eventual aplicação em exploração mineral em nosso país. A escolha da região de Bodie se deu em função da existência de dados do AVIRIS e à existência de alteração hidrotermal associada à mineralização, nunca antes investigada do ponto de vista espectral. Os dados AVIRIS utilizados neste trabalho foram coletados em outubro de 1992.

3 Características do AVIRIS

O AVIRIS foi desenvolvido pelo Jet Propulsion Laboratory, da NASA, e vem sendo continuamente aperfeiçoado desde a sua entrada em operação em 1987. O intervalo do espectro eletromagnético coberto por ele vai de 380 a 2.500 nanômetros, cobrindo portanto as regiões do visível (VIS), infravermelho próximo (NIR), e infravermelho de ondas curtas (SWIR), através de 224 bandas espectrais contínuas, cuja largura varia entre 8,87 e 14,62 nm.

Apesar de ser um sensor aeroportado, a resolução espacial do AVIRIS é fixa em 20 metros, devido à altura de vôo constante de 65.000 pés (pouco menos de 20 km) da plataforma, que é o avião ER-2 (antigo avião-espião U-2 modificado). Essas características de vôo permitem que o AVIRIS imageie faixas com 10,5

km de largura. A partir de 1996 o AVIRIS terá a capacidade de operar a partir de avião C-130, em alturas de vôo variáveis, com uma resolução espacial máxima de 5 metros (largura da faixa de 2,5 km) (R. O. Green, com. pess. ao autor). A relação sinal-ruído do instrumentos, essencial para a obtenção da resposta espectral de materiais superficiais, foi melhorada por um fator de 10 vezes entre 1987 e 1995.

4 Distritos de Bodie e Paramount - Geologia e Mineralizações

O distrito de Bodie foi um importante centro mineiro para metais preciosos (ouro e prata) na segunda metade do século passado, ao passo que o distrito vizinho de Paramount conteve uma mina de mercúrio. Os dois distritos estão situados na região centro-oeste do Estado da Califórnia, Estados Unidos, próximos à divisa com o Estado de Nevada, sendo Bridgeport a cidade mais próxima.

A região de Bodie e Paramount é composta por rochas vulcânicas de idade Terciária (7.8 a 9.4 M.a.), de composição intermediária a básica (lavas, intrusões, tufos e brechas de composição dacítica e andesítica, com porções riolíticas). Em Bodie, as rochas hospedeiras da mineralização são lavas dacíticas, tufos e brechas. A alteração hidrotermal é responsável pela concentração de metais nessas rochas e provavelmente resulta de intensa atividade de fontes termais associadas a falhas geológicas. Várias dessas fontes termais encontram-se ativas atualmente nessa região (Silberman et al., 1995). O ouro está associado a veios e stockworks de calcedônia-quartzo-adulária no centro do distrito, produtos de alteração hidrotermal. Estudos petrográficos indicam a existência de um zoneamento vertical e lateral dessa alteração, sendo a parte central composta predominantemente por silicificação e veios de quartzo, circundado por uma porção intermediária de alteração potássica (K-silicatos), com mudança para alteração argílica e alguma silicificação e sericitização restrita à porção sul do distrito, e finalmente uma zona exterior de alteração propilítica, que parece se estender por baixo da zona principal com veios de quartzo mineralizados (Herrera et al., 1993).

O distrito de Paramount localiza-se a 8 km a noroeste de Bodie e possui características geológicas bastante semelhantes, com os mesmos tipos de rochas vulcânicas de idade Terciária. Pela inexistência de mineralizações de importância em Paramount, não existem detalhes sobre a geologia desse distrito na literatura. Sabe-se apenas que a alteração hidrotermal é também produto de intensa atividade de fontes termais, numa situação bastante similar à do distrito vizinho de Bodie (Silberman et al., op. cit.).

5 Calibração dos dados AVIRIS

O SRH possibilita a caracterização quantitativa de materiais da superfície terrestre, ao amostrar de modo contínuo todo o espectro eletromagnético entre 400 e 2.500 nm em bandas estreitas (~10 nm), ao contrário do sensoriamento remoto multiespectral (sensores do tipo Landsat MSS ou TM, SPOT, etc.), que sub-amostram algumas regiões do espectro, através de bandas espectrais largas (tipicamente entre 60 e 300 nm de largura, dependendo do sensor). Desse modo, cada pixel de uma imagem de SRH possui um espectro contínuo associado, o qual representa a assinatura espectral do material superficial ou mistura de materiais que compõem esse pixel, podendo portanto ser utilizado para identificá-lo.

Para tornar possível a utilização de dados de SRH na análise espectral de materiais, é necessário que a radiância detectada pelo sensor seja transformada para reflectância aparente da superfície. Essa transformação, denominada calibração, envolve a remoção dos componentes relativos à resposta do instrumento, da irradiância solar, da transmitância e do espalhamento atmosféricos, dos valores de radiância registrados pelo sensor.

Portanto, o processamento desses dados tem que ser iniciado por uma etapa prévia de calibração, a qual pode ser feita por vários métodos. Esses métodos são agrupados em duas categorias: (i) os que requerem o uso de dados externos, geralmente coletados no campo com espectrorradiômetros e de preferência simultaneamente ao imageamento; (ii) os que se utilizam de parâmetros da própria imagem e efemérides do voo. Essa última categoria possui a vantagem de poder ser utilizado em áreas nas quais a coleta de dados simultâneos no campo não é possível e certamente é a mais interessante para aplicações em exploração mineral, conduzidas muitas vezes em locais de difícil acesso. Uma terceira categoria de calibração, a qual fornece a maior precisão entre todas, combina as duas anteriores, num método híbrido (Clark et al., 1995).

O método utilizado neste trabalho, desenvolvido por R.O. Green, do Jet Propulsion Laboratory, pertence à primeira categoria. Ele se utiliza, numa primeira etapa, de dados de radiância do sensor AVIRIS obtidos em laboratório, em conjunto com resultados de calibração do AVIRIS em voo e o programa MODTRAN (para modelagem atmosférica, do tipo *radiative transfer*). A aplicação conjunta dos mesmos permite que se derive uma imagem de reflectância aparente para a cena, bem como uma imagem representando a estimativa da

quantidade de vapor d'água na atmosfera, pixel a pixel. Dentre os métodos que não requerem o emprêgo de dados coletados em campo, este é o que fornece os melhores resultados na calibração de imagens de SRH (Clark et al., 1995). Uma das desvantagens é que ele ainda está em desenvolvimento e não se encontra em domínio público, o que está previsto para ocorrer em breve (R.O. Green, comun. pess. ao autor).

6 Processamento dos dados AVIRIS para o mapeamento de minerais

Foram utilizados nesta etapa da pesquisa duas técnicas de processamento de imagens de SRH que permitem o mapeamento de materiais superficiais, principalmente minerais. Um deles, denominado SAM (*Spectral Angle Mapper*) é disponível em versões recentes de pacotes comerciais de processamento de imagens, ao passo que o outro, denominado *Tricorder*, encontra-se ainda em desenvolvimento pelo USGS, devendo ser colocado brevemente em domínio público. Ambas as técnicas possuem uma abordagem semelhante quanto à identificação de materiais superficiais, baseando-se na comparação entre o espectro dos pixels que compõem a imagem sendo analisada e bibliotecas espectrais de referência, contendo espectros de reflectância de materiais geralmente puros. Utilizou-se para ambas as técnicas a biblioteca espectral do USGS (Clark et al. 1993), que contém a mais completa caracterização espectral de minerais dentre as várias existentes, além de incluir também alguns tipos de vegetação, água, gelo, neve e outros materiais superficiais.

As duas técnicas diferem nos algoritmos utilizados para comparar a assinatura espectral dos pixels da imagem com a dos materiais da biblioteca espectral. Elas são também bastante diferentes com relação à interação com o usuário e ao *input* a ser dado para a identificação de minerais em uma imagem hiperespectral.

Spectral Angle Mapper (SAM)

O SAM utiliza o ângulo entre os dois espectros sendo comparados (o espectro-teste e o espectro-referência) (Kruse et al. 1993), considerando-os como vetores num espaço de atributos. Esse espaço de atributos tem dimensionalidade igual ao número de bandas da imagem hiperespectral sendo processada, que pode chegar a centenas. Uma vez definidos pelo usuário quais os espectros de referência da biblioteca espectral a serem utilizados, o algoritmo procede ao cálculo dos ângulos espectrais. Finalmente, os pixels da imagem são atribuídos aos materiais de referência, com base nos menores ângulos entre o vetor-espectro teste (imagem) e o vetor-espectro referência (biblioteca), obedecendo a

limiares pré-definidos, num processo semelhante ao da classificação multiespectral. O SAM produz como resultados uma imagem com a classificação da similaridade espectral e uma imagem para cada um dos espectros de referência selecionados, denominadas *rule images*, que representam em tons de cinza a similaridade entre cada um dos pixels em relação aos materiais de referência.

Tricorder

O algoritmo Tricorder (Clark et al., 1995) encontra-se ainda em desenvolvimento pelo Spectral Laboratory do USGS, em Denver, e foi projetado para trabalhar especificamente com a biblioteca espectral do próprio USGS, devido à grande precisão e ao grau de pureza das amostras que a compõem. Ele se utiliza do método de ajuste por mínimos quadrados (*least square fit*) para comparar o espectro de um pixel da imagem com os espectros dos quase 500 materiais que compõem a referida biblioteca. O algoritmo tem a capacidade de lidar simultaneamente com múltiplas feições de absorção para cada material e também com múltiplos materiais, o que lhe confere uma grande flexibilidade.

Na implementação utilizada para processar a cena relativa à área de estudo, foram utilizados 114 materiais, em 3 grupos diferentes: (i) minerais com feições diagnósticas entre 400 e 1.300 nm (VIS e NIR), incluindo óxidos, hidróxidos, sulfatos de ferro, e outros; (ii) minerais com feições entre 2.000 e 2.500 nm (SWIR), incluindo minerais contendo a molécula hidroxila, carbonatos, clorita, etc.; (iii) tipos de vegetação com feições diagnósticas entre 500 e 800 nm (VIS e NIR). Para cada um dos 114 materiais, as principais feições de absorção, pré-definidas com base na biblioteca espectral, foram analisadas pelo Tricorder, através da comparação entre os espectros de referência e o espectro de cada pixel da imagem.

Para o mineral caolinita, por exemplo, as feições diagnósticas utilizadas são aquelas centradas em 2.078, 2.108, 2.237 e 2.267 nm, sendo analisados todos os pontos que compõem a feição, o que permite comparar o formato integral da feição de absorção. Essa comparação determina o nível de ajuste das principais feições diagnósticas entre o material de referência e o pixel, sendo escolhido o material que apresentou o melhor ajuste ponderado de todas as feições diagnósticas.

Como a análise é feita em separado para os 3 grupos acima referidos, o Tricorder permite que um mesmo pixel seja atribuído, por exemplo, aos materiais hematita (do grupo 1), caolinita (do grupo 2) e grama (do grupo 3), desde que as principais feições espectrais desses materiais coexistam no espectro desse pixel,

configurando uma mistura de materiais a nível de sub-pixel. O resultado final do Tricorder é uma série de imagens em tons de cinza, contendo apenas os pixels classificados, com os demais atribuídos a zero, representando os materiais que foram identificados. Essas imagens podem então ser combinadas na forma de mapas temáticos, que neste caso foram mapas de diferentes minerais e tipos de vegetação, com a opção de utilizar apenas aquelas que apresentaram um ajuste (*best fit*) elevado e descartando-se os de ajuste mais duvidoso.

7. Resultados

Os resultados obtidos no mapeamento de minerais da região de Bodie com ambos os algoritmos foram altamente positivos. As duas técnicas apresentaram resultados em geral semelhantes, mas as características individuais das mesmas apontam para uma utilização diferenciada no mapeamento de minerais. Esses resultados incluem o mapeamento de diversos minerais relacionados à alteração hidrotermal, incluindo variedades de caolinita, montmorilonita, goetita, hematita e jarosita. Um zoneamento mineralógico pode ser configurado no distrito de Paramount, baseado na composição diferenciada dos minerais de alteração. Vários tipos indicativos de vegetação foram também mapeados.

Uma comparação dos resultados mostra que aqueles obtidos com a técnica SAM são mais simplificados do que com o Tricorder, visto que ela se utiliza de um único parâmetro, o ângulo espectral, para comparar o espectro de um pixel com os espectros de referência, e atribuir o pixel a um determinado material. Assim, o número e a variedade de minerais mapeados em Bodie e Paramount foi menor com o SAM do que com o Tricorder. Por outro lado, a técnica SAM é de uso bastante mais simplificado, já que está incorporada a pacotes comerciais de processamento de imagens, sendo operada através de interface gráfica (GUI). Ela apresenta também a vantagem de ser relativamente rápida, levando por exemplo apenas alguns minutos para computar as 40 bandas do SWIR de uma cena típica do AVIRIS (614 x 512 pixels), para um número reduzido (< 10) de minerais, em uma estação de trabalho Unix de pequeno porte.

Já o Tricorder apresentou resultados bastante mais detalhados no mapeamento de minerais da área de estudo, em função do fato de que o algoritmo considera diversos parâmetros para a análise espectral: formato integral das feições diagnósticas e diversas feições simultâneas analisadas em paralelo, com um resultado final ponderado entre as mesmas. Com isso, o Tricorder

foi capaz de identificar diferentes variedades do mesmo mineral, tais como caolinita e montmorilonita, com base na cristalinidade e pureza, parâmetros que possuem reflexos na assinatura espectral. Outra grande vantagem do Tricorder é que ele analisa automaticamente cada pixel para uma grande variedade de minerais, sem necessidade de qualquer conhecimento *a priori* das características geológicas e mineralógicas da área de estudo, ao passo que para o SAM o usuário tem que especificar os minerais desejados - no caso de um mineral existente na área ter sido deixado de fora da análise, o pixel pode ser erroneamente atribuído a outro mineral, cuja similaridade em termos do ângulo espectral seja mais próxima. A desvantagem do Tricorder sobre o SAM é que, mesmo após a sua liberação para uso em domínio público, a interação com o usuário não é simples e irá requerer treinamento específico. Além disso, o Tricorder requer o uso de recursos computacionais de porte, mesmo assim demorando até 4 horas para analisar uma cena típica do AVIRIS.

8. Conclusões

Os avanços que vem ocorrendo no desenvolvimento de sensores hiperespectrais e de técnicas de processamento de dados por eles gerados apontam para o uso operacional dessa tecnologia no mapeamento de minerais e para o seu uso em exploração mineral, em um futuro bastante próximo. Os resultados obtidos no mapeamento de minerais de alteração hidrotermal relacionados a mineralizações metálicas na região de Bodie e Paramount confirmam esse potencial, tendo sido possível o mapeamento de diversos minerais e variedades de minerais com o emprego de dados AVIRIS e duas técnicas de processamento de dados hiperespectrais, SAM e Tricorder. Uma comparação das mesmas indica que a técnica SAM, mais simples de se implementar e mais rápida, pode ser utilizada para uma primeira abordagem, utilizando alguns minerais geralmente encontrados em zonas de alteração hidrotermal com potencial para metais preciosos. Já a técnica Tricorder, mas sofisticada e demorada, poderia ser usada para uma melhor caracterização mineralógica dessa alteração e para definição de possíveis zonas onde as condições de pressão e temperatura, refletidas pelos minerais aí identificados nas imagens hiperespectrais, sejam mais favoráveis à deposição desses metais.

Resta agora proceder a uma avaliação semelhante, utilizando as imagens AVIRIS disponíveis para áreas no Brasil, onde sejam levadas em conta as condições geológicas, fisiográficas e climáticas de regiões brasileiras. Com isso, poder-se-á estabelecer o potencial do uso de dados de SRH para mapeamento geológico e

exploração mineral em nosso país, a exemplo do que já em sendo feito para outras regiões do mundo, principalmente em condições de clima mais seco.

9. Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido junto ao Desert Research Institute, University of Nevada System, em Reno, Nevada, EUA. Agradecimentos são devidos ao Dr. Robert O. Green e sua equipe do projeto AVIRIS no Jet Propulsion Laboratory/NASA, onde foi feita a calibração atmosférica dos dados AVIRIS, ao Dr. Roger N. Clark do USGS Spectral Laboratory, onde foi realizado o treinamento para aplicação do algoritmo Tricorder, e aos Drs. James V. Taranik e Charles Sabine, do DRI, pela colaboração e discussão durante a realização da pesquisa. O autor agradece ainda o suporte da UNICAMP, FAPESP e CNPq.

Referências

- R. Basedow, P. Silverglate, W. Rappoport, R. Rockwell, D. Rosenberg, K. Shu, R. Whittlesey, E. Zalewski, The HYDICE instrument design. In: International Symposium on Spectral Sensing Research, Nov. 1992. *Proceedings*, 1992, v.1 pp. 430-445.
- R.N. Clark, G.A. Swayze, A. Gallagher, T.V.V. King, W.M. Calvin, *The USGS Digital Spectral Reference Library, Version 1.0: 0.2 to 3.0 μm*. USGS, Open File Report 93-592 (1993) (em formato digital).
- R.N. Clark, G.A. Swayze, Mapping minerals, amorphous materials, environmental materials, vegetation, water, ice, snow and other materials: the USGS Tricorder algorithm. In: Summaries of the Fifth Annual JPL Airborne Earth Science Workshop, Pasadena, Jan 23-26, 1995. *Proceedings*, Pasadena, JPL Publication 95-1, 1995, v. 1 pp. 39-40.
- R.N. Clark, G.A. Swayze, K. Heidebrecht, R.O. Green, A.F.H. Goetz, Calibration to surface reflectance of terrestrial imaging spectrometry data: comparison of methods. In: Summaries of the Fifth Annual JPL Airborne Earth Science Workshop, Pasadena, Jan 23-26, 1995. *Proceedings*, Pasadena, JPL Publication 95-1, 1995, v. 1 pp. 41-42.
- A.P. Crósta, C. Sabine, J.V. Taranik, High-spectral resolution remote sensing for mineral mapping in the Bodie and Paramount mining districts, California. In: XVIII International Congress for Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna, July 9-19, 1996. *Proceedings*, Vienna, ISPRS, 1996 (no prelo).

- A.F.H. Goetz, G. Vane, J.E. Solomon, B.N. Rock, "Imaging spectrometry for Earth remote sensing", *Science* v. 228 n. 4704 (1985), 1147-1152.
- P.A. Herrera, L.G. Closs, M.L. Silberman, "Alteration and geochemical zoning in Bodie Bluff, Bodie mining district, eastern California. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 48 (1993), p. 259-275.
- F.A. Kruse, A.B. Lefkoff, J.W. Boardman, K.B. Heidebrecht, A.T. Shapiro, P.J. Barloon, A.F.H. Goetz, "The Spectral Image Processing System (SIPS) - interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data". *Remote Sensing of Environment*, v. 44 (1993), p. 145-163.
- NASA, *Smoke, Cloud and Radiation - Brazil: Mission Plan*. NASA, Hampton, July 1995.
- B. Neville, N. Rowlands, "SWIR Full Spectrum Imager". *Remote Sensing in Canada*. v. 22 (1994), n. 1, p. 9.
- D.E. Rockey, "High Resolution Imaging Spectrometer (HIRIS) - a major advance in imaging spectrometry". *SPIE*, v. 1298 (1990), p. 93-104.
- M.L. Silberman, F. Breit, E.F. Lawrence, *Geology and Ore Deposits of Bodie Hills, Northern Mono Basin Region*. Geological Society of Nevada, Special Publ. 22 (1995), 49 p.
- C.G. Stanich, F.G. Osterwisch, Advanced operational hyperspectral scanners: MIVIS and AHS. In: First International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, Strasbourg, 11-15 Sept.1994. *Proceedings*, Strasbourg, ERIM, 1994, v. II pp. 191-204.
- J.V. Taranik, A. P. Crósta, "Recent developments in aerospace remote sensing for geology and mineral resources". *Cadernos SELPER*, v. 10 (Set.-Dec. 1994), n. 3-4, p. 53-59.
- G. Vane, "First results from the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS)". In: *AVIRIS: A description of the sensor, ground data processing facility, laboratory calibration and first results*. JPL Publ. 87-38 (1987), p. 89-97.