

Mapeamento de minerais ao longo da faixa do litoral médio do Rio Grande do Sul com uso de imagens hiperespectrais do sensor Hyperion

André Bilibio Westphalen¹
Dejanira Luderitz Saldanha¹
Deivid Cristian Leal Alves²
Maurício Soares Ortiz²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto - PPGSR
Av. Bento Gonçalves, 9500 - Campus do Vale
CEP: 91501-970 - Porto Alegre - RS - Brasil
awbilibio@hotmail.com
dejanira.saldanha@ufrgs.br

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – IFRS
Câmpus Rio Grande, CEP: 96201-460 Rio Grande – RS, Brasil
dclealalves@gmail.com
mauricio.ortiz@riogrande.ifrs.edu.br

Abstract: This paper determines the identification of titanium (Ti) found along the coastal region of Rio Grande do Sul through the spectral classification of satellite images of the Hyperion sensor. As a contribution, it demonstrates the possibility of building mineral mapping using satellite data for coastal areas without vegetation cover. The methodology steps were: 1) determine from field samples, properly georeferenced, the spectral signatures using a spectroradiometer; 2) obtaining and pre-processing of hyperspectral data from Hyperion sensor for the study area; 3) laboratory chemical analysis to determine the actual concentration (ground truth) of the minerals of interest; 4) reducing the dimensionality of the hyperspectral data analysis in order to avoid redundancy and over-processing; 5) comparing the spectra of laboratory and those present in each pixel of the image using the technique known as spectral comparison of first-derivative; 6) determination of mineral abundance maps for the study area; and 7) comparison between the results and the ground truth. From this method, were constructed thematic images indicating the presumed mineral abundance per pixel, represented in [g.m⁻²] subsequently crossed with field data for validation purposes. The work exposed the use of satellite data as an important tool to support the mapping and mining of mineral resources over large areas and discoveries with the coastal zones.

Palavras chaves: Hyperion, mineral mapping, spectroscopy. Hyperion, mapeamento mineral, espectroscopia.

1. Introdução

A identificação e mapeamento de recursos minerais baseada em dados pode ser utilizada como suporte a exploração mineral ao permitir a cobertura de vastas áreas a baixo custo. No caso específico da porção litorânea gaúcha com interesse mineral (região do distrito do Bojuru, município de São José do Norte), mapeamentos minerais de campo já foram realizados por Tomazelli (1978), Corrêa (1990) e Corrêa et. al. (2006), dando enfoque principal aos depósitos de minerais pesados da plataforma continental sul-brasileira.

No que tange a mineração comercial, os principais focos presentes na área analisada são as *fosforitas*, onde Klein et al. (1992) exibiram a ocorrência de nódulos fosfáticos na margem continental do Rio Grande do Sul, as crostas cobaltíferas, expostas por Tomazelli (1978) e Corrêa et. al. (2006) e, o foco principal deste trabalho, o conjunto de minerais pesados notadamente presentes nas areias praias da região do Bojuru (Tomazelli, 1978; Munaro, 1994; Corrêa et al., 2001; Dillenburg et al., 2004). Estes minerais pesados, em especial aqueles que contem altos teores de titânio, tem grande interesse econômico devido sua esparsa presença mundial e difícil obtenção. Além disto, o fato de ser o titânio um material largamente utilizado em itens de ponta em engenharia e eletrônica faz com que o interesse na mineração desta região seja acentuado.

O Sensor Hyperion, presente junto a plataforma Terra (EO1), foi lançado no ano de 2000, mantendo-se operante até o momento. Este sensor foi desenvolvido visando produzir imageamentos orbitais comparáveis à assinaturas espectrais laboratoriais obtidas por espectrorradiômetro. O sensor Hyperion opera em 242 bandas com 10 nm de resolução espectral, cobrindo uma faixa de 400 a 2400 nm do espectro eletromagnético. Suas imagens possuem uma resolução espacial de 30 m e radiométrica de 12 bits (4096 níveis de cinza por canal. Os dados do sensor Hyperion têm sido utilizados com sucesso em diversos estudos voltados à caracterização de minerais associados a depósitos minerais e mapeamento geológico (Jensen, 2009).

O processo de aquisição de imagens em centenas de bandas espectrais, de forma a possibilitar que de cada um dos pixels das mesmas seja possível derivar uma curva de reflectância espectral completa, recebe o nome de sensoriamento remoto hiperespectral (*hyperspectral remote sensing*) (Jensen, 2009). Estes espectros extraídos podem ser comparados diretamente com espectros medidos no campo ou em laboratório através de técnicas de comparação multidimensional. Como técnicas mais consolidadas para a interpretação e classificação de dados hiperespectrais podemos citar a análise por componentes principais, a classificação por angulação entre espectros, SAM – Spectral Angle Mapper (Espinoza, 2009; Curran, 1994) e a técnica de comparação por derivadas de espectros (Espinoza, 2009; Curran, 1994). Aspectos de terreno como cobertura vegetal e umidade podem alterar drasticamente o desempenho destes métodos, o que leva a uma melhor aplicação em áreas descobertas como desertos e zonas praias.

Este trabalho objetiva empregar a técnica de classificação hiperespectral de comparação de espectros através da derivada primeira (Espinoza, 2009; Curran, 1994) em um conjunto de imagens multiespectrais do sensor Hyperion para o mapeamento da abundância de minerais pesados (ligados ao titânio) ao longo da faixa litorânea gaúcha.

2. Área de estudo

A área de estudo demonstrada na Figura 1 constitui-se como uma parcela da margem continental do sul do Brasil, conhecida como litoral médio gaúcho. Esta área (com coordenadas centrais de aproximadamente 31° e 51° de latitude sul) está inserida ao território do município de São José do Norte/RS, e tem como principais atividades a agricultura e a pecuária.

Nesta região, a planície costeira varia entre 20 e 80 km extensão, responsável por depositar grandes cargas minerais junto as areias praias ao longo do tempo (Munaro, 1994). O clima local possui com temperaturas médias de 26° no verão e 12° no inverno, com precipitações oscilando entre 1000 e 1500 mm, sendo uniformemente distribuídas por todo o ano (Munaro, op cit).

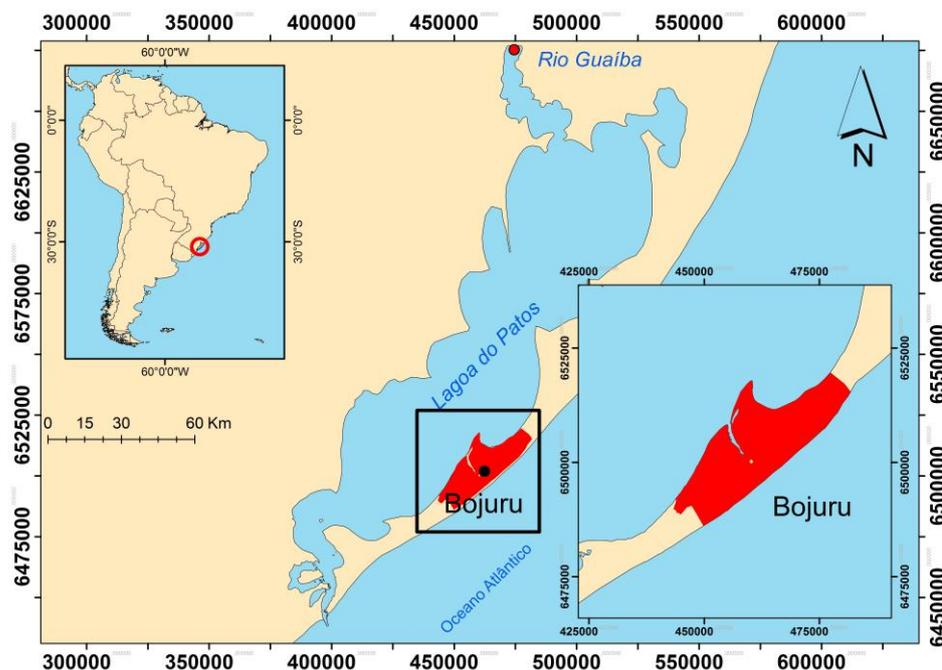


Figura 1 – Localização da área de estudo.

3. Metodologia

O presente trabalho empregou em seu desenvolvimento um conjunto de técnicas conhecidas como análise de espectros através da Decomposição de Curvas por meio da Derivada Primera (DCDP). De forma geral, esta técnica de classificação hiperespectral se baseia na análise da similaridade entre os espectros de um conjunto de materiais de referência, ou *endmembers*, e as curvas espectrais correspondentes a cada pixel da imagem. A metodologia do processamento hiperespectral utilizada foi proposta por Curran (1994) e implantada em trabalhos por Espinoza (2006), Boardman et al. (1995) e Kruse et al. (1996), aqui aplicada através do software Matlab ®:

- a) correção atmosférica e transformação para reflectância dos dados Hyperion através do Aplicativo FLAASH do software ENVI;
- b) Redução da dimensionalidade dos dados Hyperion por meio da técnica de componentes principais (PCA);
- c) caracterização espectral de amostras de campo e análise química em laboratório, com o objetivo de criar uma biblioteca espectral de referencia e dados de campo sobre a concentração mineral de interesse (concentração de titânio);
- d) mapeamento espacial pela técnica DCDP e estimativa da abundância para o mineral de interesse, representada em quilo-gramas por metro-quadrado (g/m²).

Os dados Hyperion foram obtidos a partir do repositório público de dados do serviço geológico americano (USGS), conhecido como EarthExplorer. Os dados são obtidos em contadores

digitais e trazem consigo um conjunto de informações presentes em um arquivo auxiliar que permite a transformação dos dados para radiância (calibração dos dados). A coluna atmosférica que separa o sensor do alvo provoca uma série de processos de interação com o fluxo radiante (i.e., absorção e espalhamento da radiação), ocasionando distorção nos dados coletados pelo sensor orbital. (JENSEN, 2009).

Para a correção dos dados do Hyperion foi utilizado o aplicativo FLAASH presente junto ao software ENVI. Este aplicativo oferece uma série de estratégias para a correção atmosférica de imagens orbitais, considerando as condições atmosféricas locais através de dados auxiliares obtidos pelo sensor orbital MODIS. Após a correção atmosférica, tem-se os dados representados em reflectância, necessário para comparação entre as imagens e os espectros de laboratório.

3.1. DCDP

A técnica de Decomposição de Curvas por meio da Derivada Primera (DCDP). A técnica DCDP seguiu os passos sequenciais descritos no fluxograma da Figura 2. A imagem processada constituiu de uma cena, compreendendo a região do Bojuru e suas adjacências, perfazendo as áreas constituintes dos pontos de apoio de campo onde foram coletadas as amostras para radiometria.

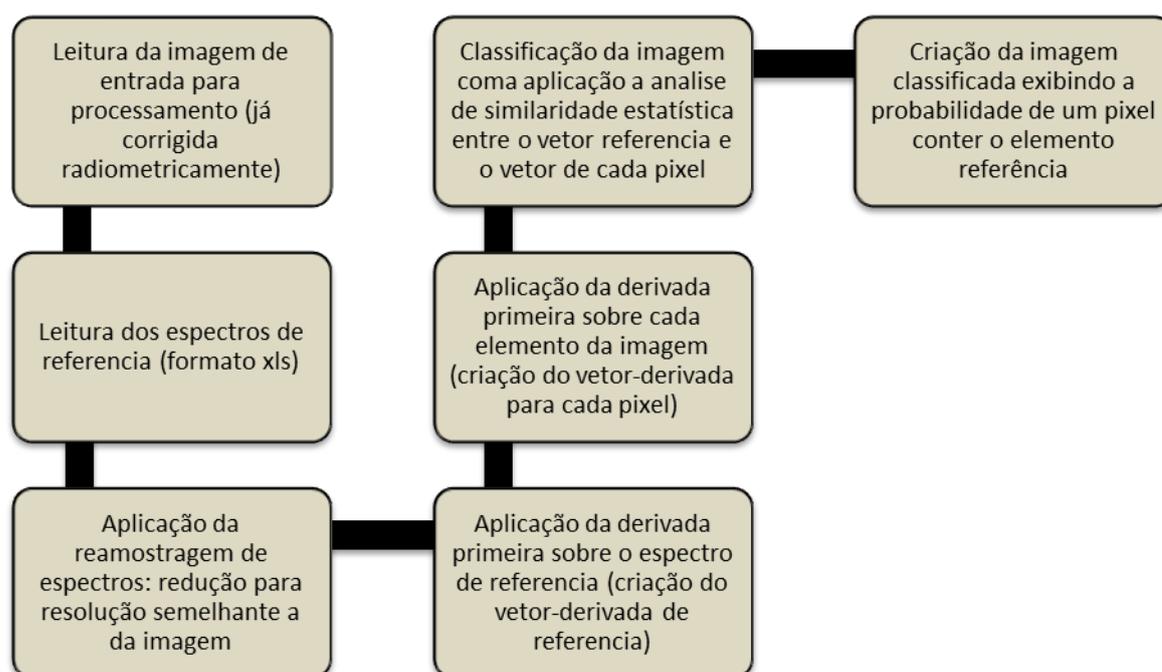


Figura 2 – Fluxograma da sequência de processos para a aplicação do DCDP.

A técnica empregada pode ser cuidadosamente avaliada e implementada a partir da bibliografia correspondente, publicada por Curran (1994) e Espinoza (2006) onde se expressam detalhadamente os passos para o método DCDP. Esta técnica traz como vantagens o fato de evitar erros de escala entre os espectros comparados por conta de distintas iluminações. Isto ocorre porque e ao efetuar o cálculo das derivadas, a técnica compara os espectros através dos sinais das derivadas e não através de seus valores, o que significa comparar a forma dos espectros ao invés de comparar seus valores.

Um conjunto de aproximadamente 50 espectros de reflectância, adquiridos de amostras coletadas ao longo da área de estudo, permitindo uma espacialização da variabilidade natural da

distribuição mineral local. Os espectros foram obtidos em laboratório usando um espectroradiômetro FieldSpecPro®. Para a análise espectral foram utilizados os programas SpecView® e ENVI.

Os resultados obtidos da análise espectral permitiram a identificação da presença e concentração de titânio ao longo da área de estudo.

Uma análise comparativa entre os espectros reamostrados para a resolução espectral do Hyperion após a seleção de bandas por análise por componentes principais (PCA) mostra que a coincidência entre os espectros associados a cada pixel das imagens e os espectros de laboratório possui alta correlação para áreas com alta densidade de titânio ($R^2 = 91,36\%$). Estes dados de espectroscopia de reflectância de campo em conjunto com as análises laboratoriais constituíram arquivos de verdade de campo utilizados posteriormente para validar os resultados obtidos com a classificação espectral.

4. Resultados e discussões

A comparação entre o mapeamento de titânio (Fig. 3) obtido pela técnica DCDP e da de campo, exibiu forte correlação, com um índice de acurácia kappa (k) de 96% e um índice de significância R^2 da ordem de 94%. O mapeamento mineral de minerais pesados, em especial do titânio com dados Hyperion foi satisfatório com relação à identificação geral das concentrações observadas em campo, ficando exposta a limitação da prospecção em áreas vegetadas e/ou cobertas por água (áreas não classificadas).



Figura 3 - Imagem classificada do mapeamento de titânio – apenas com as áreas de titânio acima do background

A classificação da imagem *Hyperion* local, a partir das assinaturas espectrais das amostras coletadas em campo com a técnica proposta neste trabalho. As zonas de maior coincidência entre o vetor referência e o vetor de cada pixel representam-se como áreas de maior coincidência estatística, exibindo maior valores para o índice R^2 . A exemplo, zonas com coincidência entre as inflexões das derivadas do vetor de referência e o vetor de um pixels acima de 90% determina este pixel como um elemento com 90% ou mais de probabilidade de pertencer a classe correspondente a o vetor de referência.

5. Conclusões

Os resultados encontrados no trabalho apontam o uso concomitante de imagens *Hyperion* e da técnica DCDP como uma forma robusta de mapeamento mineral em áreas expostas, apresentando valores expressivos com acertos acima de 90% para área analisada. Considerando as características do elemento químico analisado neste trabalho, fica evidente a possibilidade da caracterização espectral das mesmas e o posterior emprego dessa caracterização para classificação de imagens orbitais *Hyperion* como forma de apoio ao trabalho geológico de campo. Resultados diferenciados devem ser esperados quando consideramos a dinâmica da refletância áreas com cobertura vegetal pronunciada, devido a influência da vegetação e problemas como o sombreamento diferenciado em função da variação do ângulo de incidência solar, como por exemplo, a determinação do grau de pureza dos pixels classificados na imagem, tentando evitar conflitos de classificação como a sobreposição rocha/sombras e os falso-positivos na classificação. Para tanto sugere-se como alternativa de refinamento à técnica DCDP, a aplicação da técnica DCDP sobre imagens-fração em uma análise sub-pixel.

Referências Bibliográficas

- CORRÊA, I.C.S. 1990. **Analyse morphostructurale et evolution paleogeographique de la plateforme continentale atlantique sud-bresilienne** (Rio Grande do Sul-Brasil). Tese de Doutorado. Université de Bordeaux I. Talence-França. 314p.
- CORRÊA, I.C.S.; ZOUAIN, R.N.A.; WESCHENFELDER, J. TOMAZELLI, L.J. 2006. Heavy minerals from south Brazilian continental shelf to North Argentina: distribution and provenance. In: **Congreso Latinoamericano de Sedimentologia, 4. San Carlos de Bariloche**, Rio Negro-Argentina. *Resúmenes...*, p.79.
- CURRAN, P.J. 1994. Imaging spectrometry - its present and future role in ENVI@ronmental resarch. In J. Hill and J. Megier (ed.) **Imaging spectrometry - a tool for ENVI@ronmental observations**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. *Remote Sensing of Environment*,39, pp. 153-166
- DILLENBURG S.R., TOMAZELLI L.J., BARBOZA E.G. 2004. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. **Mar. Geol.**, 203:43-56.
- FLAASH "User's Guide". Disponível no site: <http://www.rsinc.com/ENVI@/>, Disponível em: Agosto. de 2005.
- ESPINOZA, J.M.A. 2006. **Caracterização espectral das rochas constituintes dos rejeitos de garimpo de pedra ametista - região de Ametista do Sul, Rio Grande do Sul**. 126p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)- Pós-Graduação em sensoriamento remoto, UFRGS, Porto Alegre.
- KLEIN ET AL. 1992. Concentrações fosfáticas no terraço do Rio Grande. In: **Congresso Brasileiro de Geologia, 37.**, São Paulo. *Resumos expandidos...*, São Paulo: [s.n.] p.202-203.
- MUNARO, P. 1994. **Geologia e mineralogia dos depósitos de minerais pesados de Bojurú**. 1994. 90f. Dissertação (Mestrado em Geociências)-Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre.
- TOMAZELLI, L. J. 1978. Minerais pesados da plataforma continental do Rio Grande do Sul. **Acta Geológica Leopoldensia**, estudos Tecnológicos-UNISINOS, São Leopoldo-RS, Brasil, 2(5):103-159.