

Utilização de imagem multiespectral do sensor ASTER para identificação de calcita e gipsita na Bacia do Araripe – CE

Hewerton Alves da Silva¹
Márcio Lima Alencar¹
Thais Andressa Carrino¹
José Antonio Barbosa¹
Patricia Fernanda Passos de Oliveira¹

¹ Departamento de Geologia/Centro de Tecnologia e Geociências/Universidade Federal de Pernambuco (DGEO/CTG/UFPE)
Av. da Arquitetura, s/n, 50740-550 – Recife-PE, Brasil
he.wasufpe@gmail.com, mlimaalencar@gmail.com, thais.carrino@gmail.com,
jose.antonio@ufpe.br, patriciapassosoliveira@gmail.com

Abstract. Studies made through the spectral characterization of the constituents of the rocks allow to identify sites favorable to the occurrence of lithologies for the subsequent identification in subsequent field stages. The objective of this work is to evaluate the use of the ASTER sensor image in the shortwave infrared band for the discrimination of calcite and gypsum in a portion of the Araripe Basin. The 6 bands of the ASTER level 1B sensor, positioned in the shortwave infrared band and gypsum and calcite reflectance spectral curves from the USGS spectral library were used. The atmospheric correction was applied and the following classifiers were applied: Principal Components Analysis - ACP; MNF (Minimum Noise Fraction); MTMF (Mixture Tuned Matched Filtering) and SAM (Spectral Angle Mapper). In both ACP and MNF, the results selected for the mapping of the studied minerals were associated to ACP1 and MNF1 in the case of calcite and to ACP5 and MNF5 in the case of gypsum. The SAM classifier showed very similar results for calcite and gypsum. The MTMF classifier showed very similar results in comparison to those resulting from the use of the SAM technique. The results derived from the application of the ACP and MNF techniques were superior to those derived from the use of SAM and MTMF classifiers. In the case of ACP and MNF techniques, gypsum calcite could be separately mapped. However, the results from the use of SAM and MTMF classifiers failed to separate these two mineral classes spectrally.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, geologia, processamento de imagens

1.Introdução

O sensoriamento remoto (SR) é uma ferramenta usada de maneira preliminar ao trabalho de campo, reduzindo custo, tempo e com um bom resultado qualitativo em relação à discriminação litológica. Estudos feitos através da caracterização espectral dos constituintes das rochas permitem identificar locais favoráveis à ocorrência de litologias para a posterior identificação em etapas de campo subsequentes.

Este trabalho consiste da integração de dados de SR e mapeamento geológico de campo visando adicionar informações ao conhecimento geológico atual de uma região da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil.

As rochas de interesse para o mapeamento espectral são os evaporitos (calcário e gipsita) que ocorrem em pedreiras e minas a céu aberto localizadas entre os municípios de Santana do Cariri e Nova Olinda, ao sul do Estado do Ceará (Figura 1). As cavas dessas minas são favoráveis à aplicação de métodos de processamento digital de imagens multiespectrais, por abranger grandes áreas exposta e com pouca vegetação, atenuando as interferências quanto à refletância dos alvos minerais.

A Bacia do Araripe é uma das bacias sedimentares mais importantes do interior do nordeste brasileiro e possui uma grande influência no âmbito da economia local, regional e nacional. Esta bacia desempenha um papel importante no aspecto mineral, com intensa

produção de gipsita e calcário para a construção civil. Também representa um potencial para os estudos de hidrocarbonetos (visto que a bacia é alvo de vários projetos de pesquisa financiados pela PETROBRAS). Desta forma, em função do interesse apresentado a esta bacia pelo setor industrial, se faz necessário o mapeamento geológico de detalhe das unidades que a formam. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a utilização de imagem do sensor ASTER na faixa do infravermelho de ondas curtas para a discriminação de calcita e gipsita em uma porção da Bacia do Araripe.

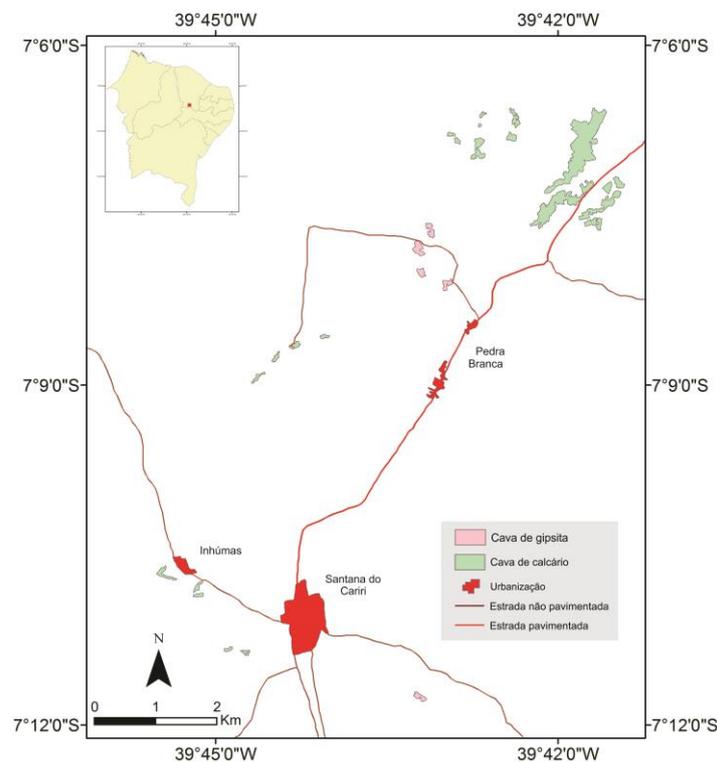


Figura 1. Localização da área de estudo no Estado do Ceará.

1.1 Aspectos Geológicos

Medindo aproximadamente 9000 km², a Bacia do Araripe é a maior bacia do interior do Nordeste e se destaca pelo seu relevo positivo em forma de *cuesta*. A coluna estratigráfica desta bacia apresenta cinco tectonosequências: Beta, Pré-rifte, Rifte, Pós-rifte e Zeta (Neumann e Cabrera, 1999). Na área de estudo, ocorrem duas unidades lacustres da tectonosequência pós-rifte da bacia: Formação Crato e Formação Ipubi. A Formação Crato é constituída por depósitos de idade Aptiano-Albiano, compostos por arenitos, siltitos, argilitos e, principalmente, calcários e margas com alto conteúdo fossilífero (Figura 2A). O empilhamento vertical desta formação começa pela ocorrência de pelitos na base, passando para margas e calcários laminados e depósitos siliciclásticos encerrando o pacote superior. Os calcários e as margas foram classificadas e separadas por Neumann (1999) em unidades que vão desde C1 à C6, onde as unidades C5 e C6 são as mais expostas devido à constante extração nas pedreiras.

A Formação Ipubi (Aptiano-Albiano) é a unidade sobreposta aos carbonatos da Formação Crato. São depósitos de rochas evaporíticas, formadas a partir da precipitação causada por efeitos de altas taxas de evaporação (Warren, 2006). Esses depósitos configuram camadas descontínuas de gipsita e anidrita formando lentes intercaladas com argilitos (Figura 2B). Essas rochas têm duas fácies características, sendo uma com notória ritmicidade, ou seja, bandada, com cores marrons e esbranquiçadas e com presença de rosetas e veios sintaxiais. A fácies com hábito maciço possui cristais médios a finos de coloração branca e cinza escuro. De

maneira análoga à facie rítmica, cristais de gipsita com hábito de roseta e veios sintaxiais são frequentes. A presença de anidrita, na base da sucessão evaporítica ou em corpos localizados dentro da gipsita maciça, indica variações sazonais da temperatura e salinidade no paleolago, conforme a evaporação ia se intensificando.

Na base dos evaporitos, ocorrem folhelhos negros com alto teor de matéria orgânica, ricos em ostracodes. Essa camada é considerada um marco entre as formações Ipubi e Crato.

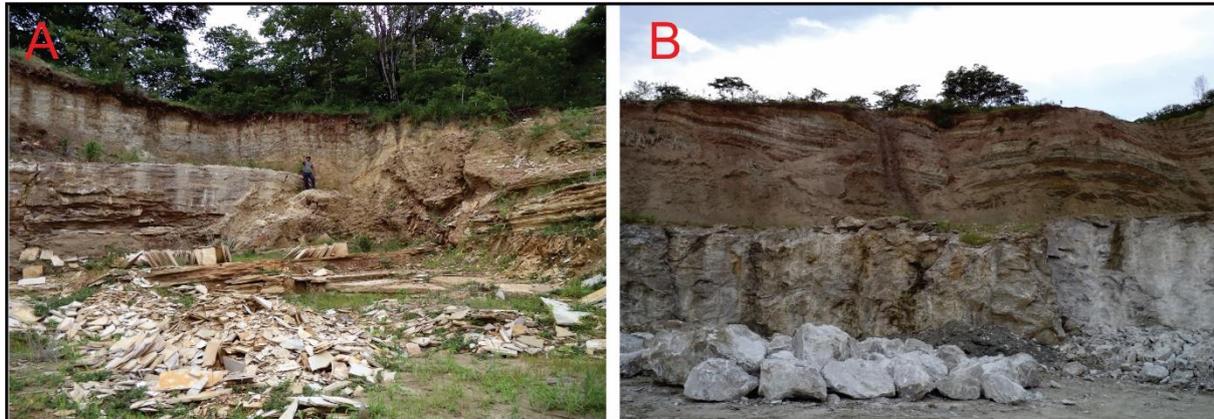


Figura 2. A) imagem de pedreira abandonada dos calcários da Formação Crato e B) mineração de gipsita, Formação Ipubi.

2. Metodologia de trabalho

Foram utilizadas as 6 bandas do sensor ASTER, nível 1B, posicionadas na faixa do infravermelho de ondas curtas para o estudo espectro-mineralógico proposto. Estas bandas (4, 5, 6, 7, 8 e 9) possuem comprimento de onda entre ~ 1.600 a $\sim 2.430 \mu\text{m}$, e resolução espacial de 30 metros. A imagem é do dia 06/13/2002. Curvas espectrais de refletância de gipsita e calcita provenientes da biblioteca espectral do *USGS (United States Geological Survey)* foram usada como referência para entendimento do comportamento espectral destes minerais, incluindo-se as suas respostas reamostradas para a resolução do sensor ASTER (Figura 3).

2.1 Processamento dos dados SWIR do sensor ASTER

2.1.1. Correção Atmosférica

Dados ASTER de nível 1B são fornecidos pela NASA em valores de radiância. A atmosfera contém gases e partículas (especialmente vapor de água, CO_2 e O_2) que provocam absorção e espalhamento da radiação disponível para o sensor remoto. Esses efeitos resultam na diminuição da qualidade da imagem e modificam significativamente a resposta espectral dos alvos (Green et al. 1993).

A correção atmosférica é um passo fundamental para a classificação espectral dos alvos, permitindo comparar valores de refletância dos pixels das imagens com os espectros de refletância medidos na superfície. A correção atmosférica dos dados ASTER foi feita no *software* ENVI 5.3, no modo FLAASH. O método baseia-se nas observações de Kaufman et al. (1997).

2.1.2. Análise de Componentes Principais – ACP

Esta análise pode ser aplicada a um conjunto de N imagens, que não passaram por nenhum tipo de processamento. O resultado gerado, através de transformações algébricas, é um novo conjunto de N imagens descorrelacionadas. Este novo conjunto de imagens apresenta as seguintes características: a primeira componente, denominada de 1ª Componente Principal (CP1), contém as informações que são comuns a todos os conjuntos de dados de entrada, a 2ª Componente Principal (CP2), contém as feições espectrais mais significantes do conjunto de

dados e assim por diante. Portanto, as primeiras componentes irão conter as feições espectrais mais significativas enquanto as CPs de ordens mais altas irão conter as informações menos significativas (Crosta, 1992).

2.1.3. Transformação MNF

A transformação MNF (*Minimum Noise Fraction*) é usada para determinar a dimensionalidade espectral inerente aos dados, segregar o ruído e reduzir os requisitos computacionais para processamento subsequente (Green et al. 1988).

2.1.4. Classificação com MTMF

O MTMF (*Mixture Tuned Matched Filtering*) é uma técnica de classificação hiperespectral que identifica a abundância de *endmembers* na escala de sub-píxel. Esta técnica utiliza um filtro de ajuste (*Matched Filter*) para maximizar a resposta do *endmember* conhecido e suprimir a resposta dos minerais desconhecidos (Boardman, 1998).

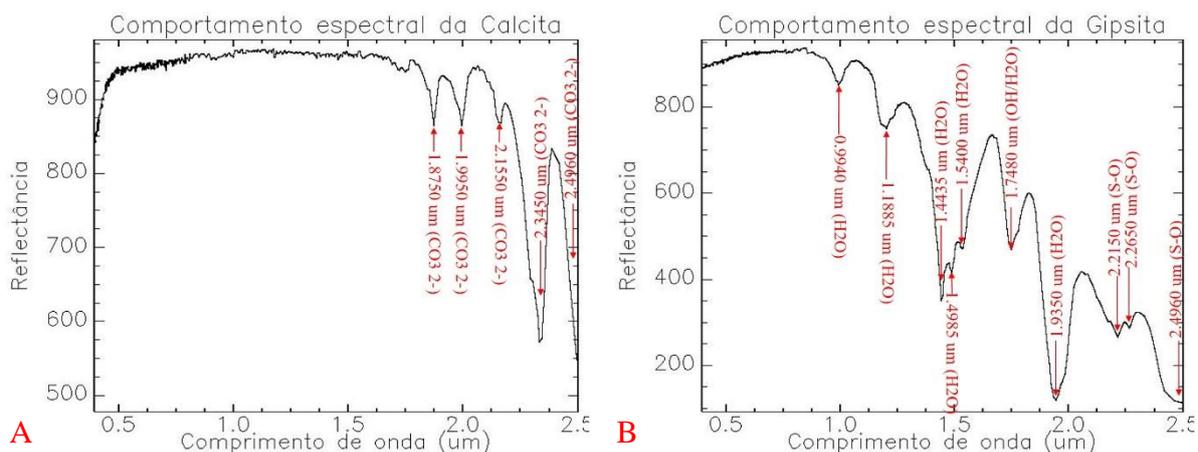
2.1.5. Classificação SAM

O SAM (*Spectral Angle Mapper*) é uma técnica de classificação supervisionada que mede a similaridade entre os *endmembers* e as curvas espectrais de cada píxel da imagem. Quanto menor o ângulo espectral entre os dois espectros, maior a similaridade obtida (Kruse et al., 1993).

3. Resultados e Discussão

Para classificar um mineral através de imagens de sensoriamento remoto, é importante identificar suas feições de absorção e em qual faixa do espectro elas se encontram. Isso ajuda a identificar qual a faixa do espectro utilizar. A Figura 3, mostra as curvas espectrais da calcita e gipsita. A Figura 3A e Figura 3B são as curvas da calcita e gipsita respectivamente da USGS, notamos que a Calcita possui entre ~1.6 a ~2.5 μm , feições de absorção derivada de vibrações de CO_3^{2-} (Hunt, 1997 e Gaffey, 1986). A gipsita possui feições em ~1390, ~1449, ~1488, ~1534 derivadas de vibrações de moléculas de água, assim como feições em cerca de ~1944 e ~1970 μm . Feições em ~1751 e ~1780 μm são decorrentes de combinações de OH/ H_2O e feições em ~2170, 2220 e 2280 μm são derivadas da vibração da ligação S-O (Cloutis et al., 2006).

As curvas espectrais mostradas na Figura 3C e 3D, são as curvas da USGS reamostradas para a resolução espectral do sensor ASTER. Pode-se observar que, para a calcita (Figura 3C), apenas uma feição de absorção em 2333 μm é diagnóstica, enquanto que para a gipsita (Figura 3D), observa-se a permanência de duas feições de absorção em 2207 e 2306 μm .



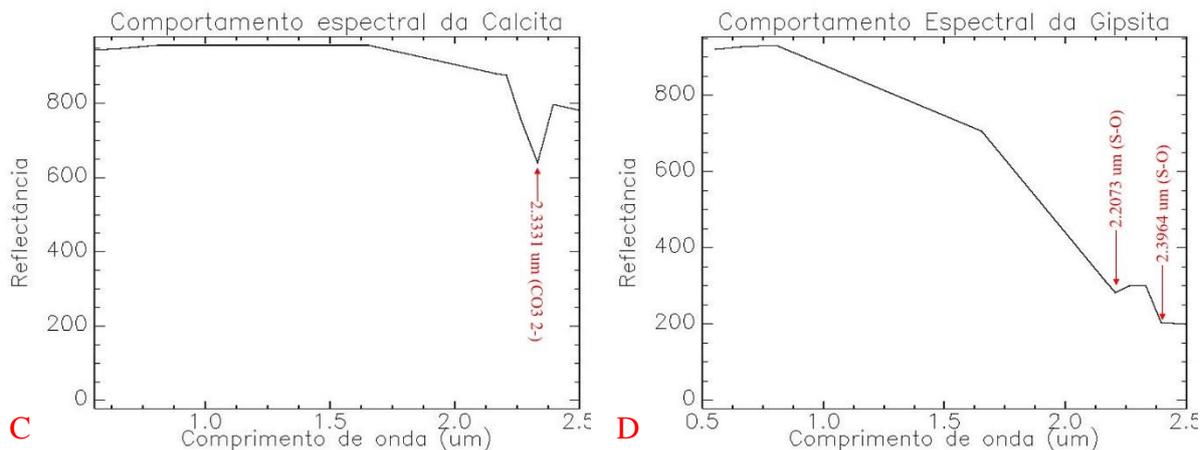


Figura 3. Em A e B, curvas espectrais de calcita e gipsita do USGS; em C e D, curvas reamostradas para a resolução espectral do sensor ASTER.

A Figura 4 mostra a localização das áreas analisadas, na imagem do sensor ASTER em composição colorida falsa-cor do tipo RGB137. Nesta imagem, as áreas ricas em calcita são caracterizadas por coloração branca e estão circundadas por círculo preto. Já as áreas ricas em gipsita aparecem em cores vermelho-amarelada, e estão circundadas por círculos vermelhos.

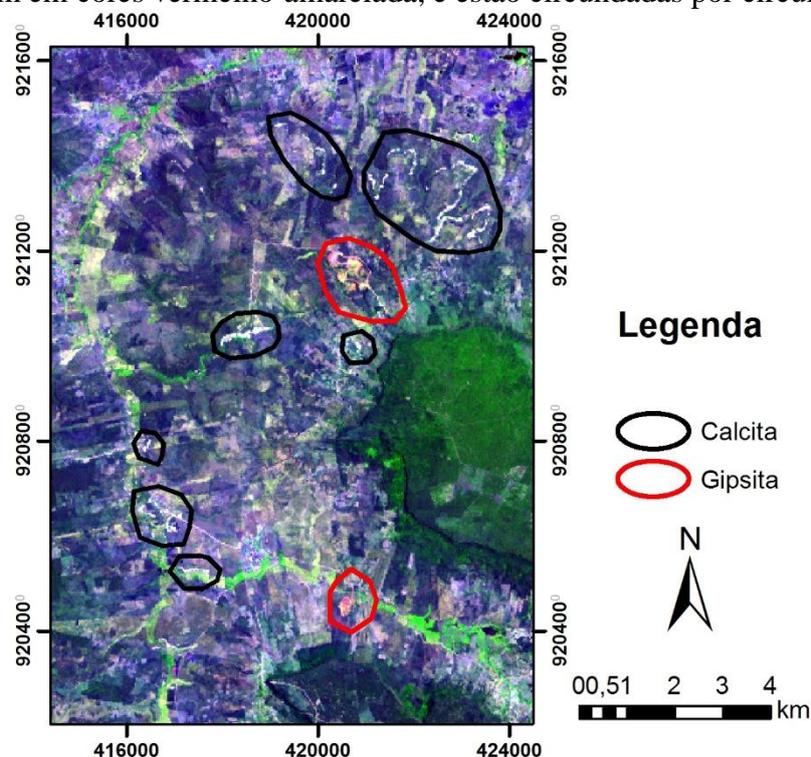


Figura 4: Localização de áreas ricas em calcita (círculos pretos) e em gipsita (círculos vermelhos).

A figura 5 mostra os resultados da aplicação das técnicas ACP e MNF. Tanto na técnica ACP quanto na MNF, os resultados selecionados à cartografia dos minerais estudados se associaram à ACP1 e MNF1, no caso da calcita, e à ACP5 e MNF5, no caso da gipsita. Os resultados mostrado na Figura 4, por sua vez, tiveram os histogramas ajustados manualmente. A Figura 5A mostra que a técnica ACP foi eficaz na discriminação de calcita em detrimento da gipsita, mesmo apresentando alguns postos mapeados fora dos círculos pretos. A Figura 5B

mostra o resultado da ACP para a gipsita, podendo-se observar que a ACP conseguiu distinguir a gipsita da calcita. Contudo, áreas no setor sudeste, que não correspondem à gipsita, foram mapeadas erroneamente por esta técnica.

A Figura 5C e 5D apresenta os resultados da MNF para a calcita e gipsita. Na Figura 5C, a calcita ficou bem delimitada nas áreas de ocorrências já conhecidas, sem haver mistura com a gipsita. Todavia, no setor oeste-noroeste, foram cartografadas áreas que, na realidade, não correspondem à calcita. Na Figura 5D, a gipsita apresentou um significativo destaque no círculo vermelho mais centralizado, porém, nas áreas com ocorrências conhecidas de calcita e em outros setores foram cartografados erroneamente como a classe gipsita.

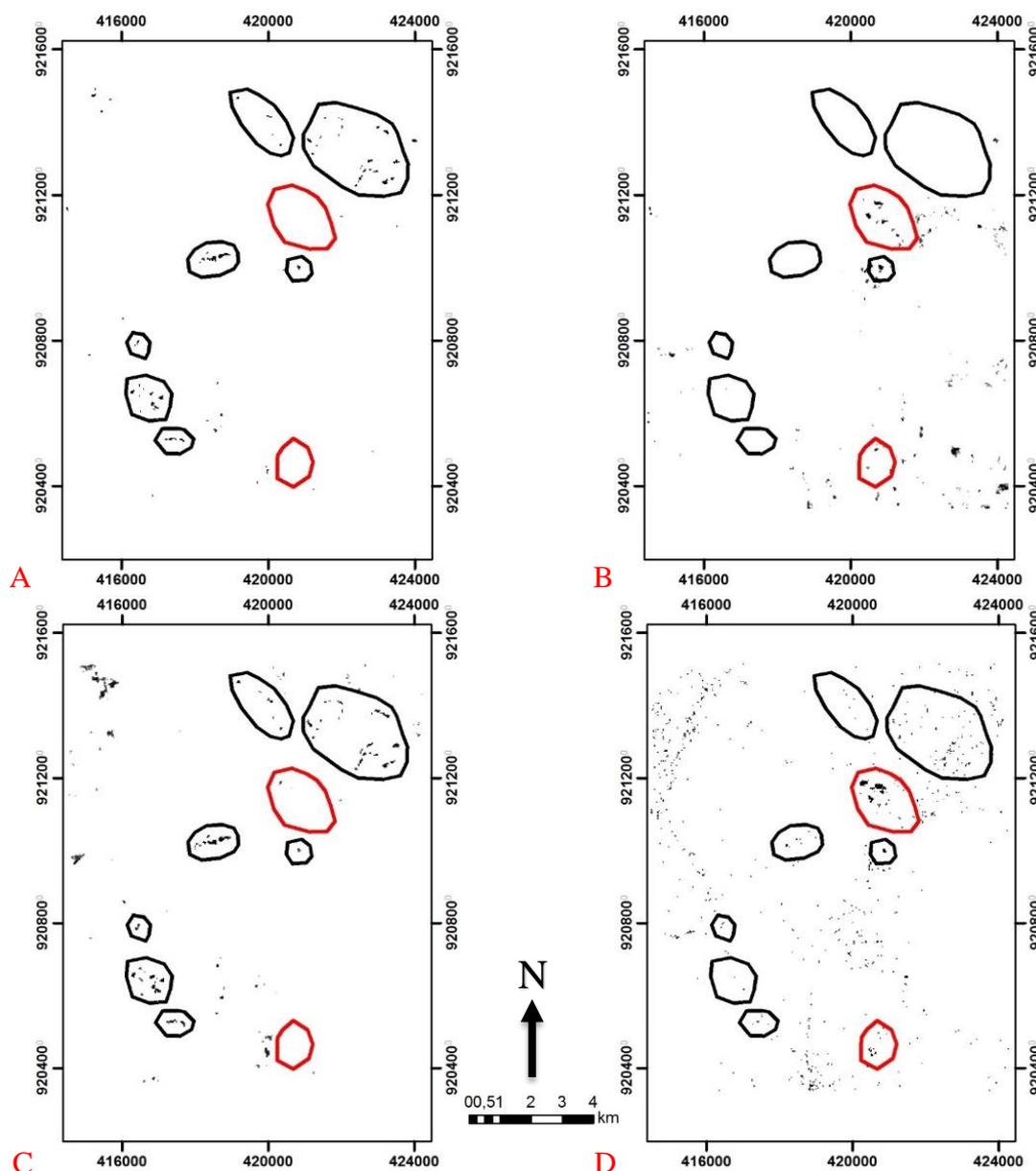


Figura 5. Resultados do mapeamento da calcita e gipsita: em A e B, estão os resultados da ACP para a calcita (A) e gipsita (B). Em C e D são os resultados da técnica MNF para calcita (C) e gipsita (D).

O classificador SAM mostrou resultados bastante semelhantes para a calcita (Figura 6A) e para a gipsita (Figura 6B). Todavia, ainda foi possível observar, por exemplo, contornos de cavas de calcita que ficam no sopé de encostas, e melhor delimitação de alvos já conhecidos de

gipsita, como já observados na Figura 4. O classificador MTMF mostrou resultados bastante parecidos em comparação àqueles resultantes do uso da técnica SAM, não sendo possível fazer uma boa discriminação entre a calcita (Figura 6C) e a gipsita (Figura 6D).

Esse problema apresentado pelos classificadores hiperespectrais pode estar ligado à falta de coletas espectrais nos locais analisados, pois foram utilizadas curvas espectrais de minerais puros da biblioteca espectral do USGS. Outros típicos fatores, compreendem o emprego de imagem de sensor multiespectral e a relação escala *versus* resolução espacial da imagem.

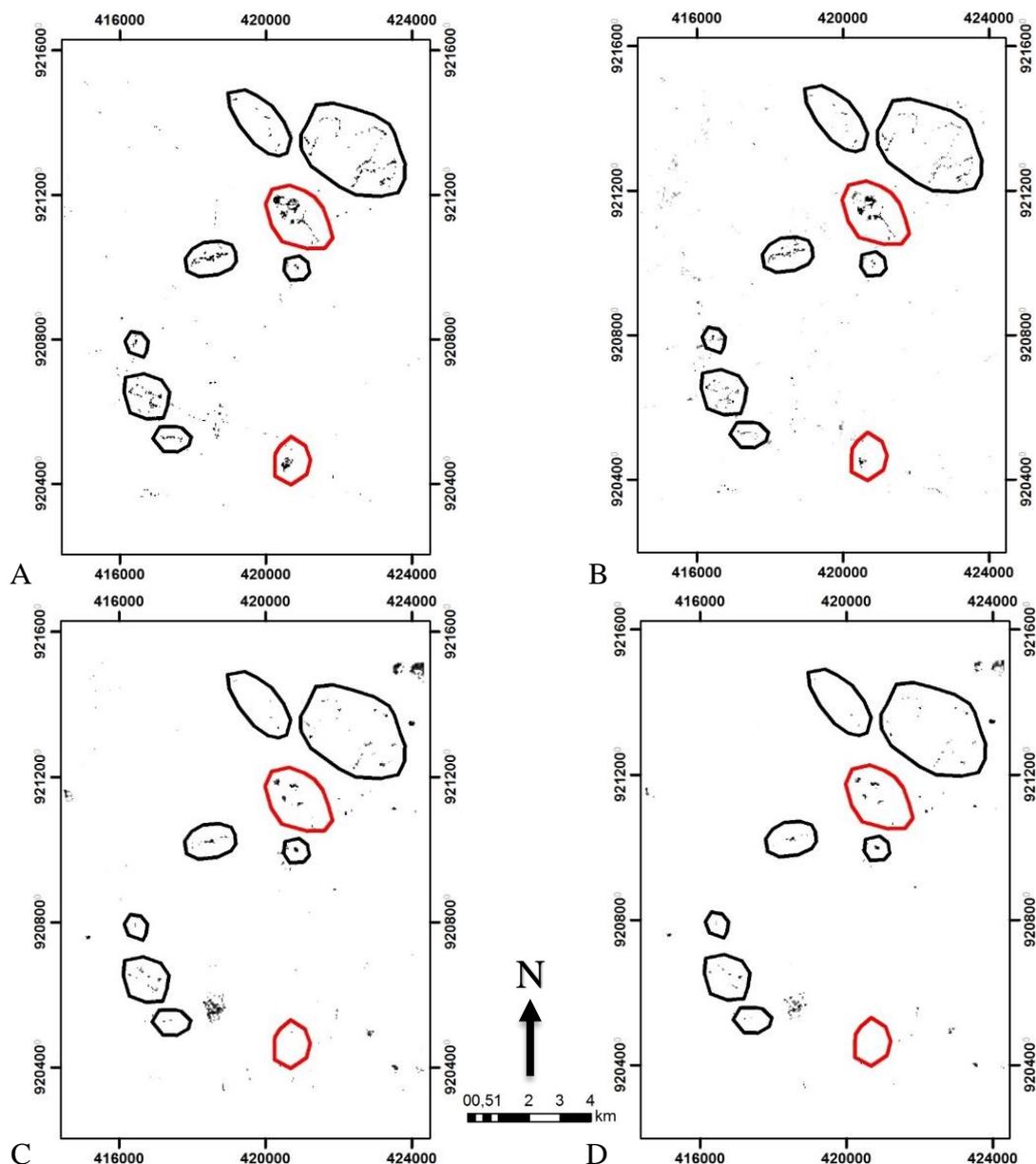


Figura 6: Resultados do mapeamento da calcita e gipsita: em A e B, estão mostrados os resultados do classificador SAM para calcita (A) gipsita (B). Em C e D, estão apresentados os resultados do classificador MTMF para a calcita (C) e gipsita (D).

4. Conclusões

Trabalhos de mapeamento geológico integrados com informações geradas a partir do processamento digital de imagens de sensores remotos mostram resultados muito eficazes, o que reitera a importância deste tipo de abordagem em estudos geológicos. Os resultados

apresentados nas Figuras 5 e 6 mostram a potencialidade das imagens ASTER, posicionadas na faixa do infravermelho de ondas curtas para o mapeamento de calcita e gipsita, apesar da resolução espacial de 30 metros e número limitado de bandas espectrais (6).

Particularmente, os resultados derivados da aplicação das técnicas ACP e MNF foram superiores àqueles derivados do uso dos classificadores SAM e MTMF. No caso das técnicas ACP e MNF, foi possível cartografar, separadamente, a calcita da gipsita. Já os resultados advindos do emprego dos classificadores SAM e MTMF não conseguiram separar, espectralmente, estas duas classes minerais, tornando ambígua a distinção espacial dos mesmos.

Referências Bibliográficas

Neumann, V. H. & Cabrera, L. 1999. *Una Nueva Propuesta Estratigráfica para la Tectonosecuencia Post-Rifte de la Cuenca de Araripe, Noreste de Brasil*. In: Bol. 5º Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil e 1º Simpósio Sobre el Cretácico de América del Sur. Serra Negra-SP. UNESP, Rio Claro. Pg. 279-285.

Neumann, V. H. 1999. **Estratigrafia, sedimentologia, geoquímica y diagenesis de los sistemas lacustres Aptiense-Albienses de la Cuenca de Araripe**. Tese de Doutorado. 244p.

Warren, J.K., 2006. **Evaporites e Sediments, Resources and Hydrocarbons**. Springer Berlin-Heidelberg, New York.

E. Cloutis, F. Hawthorne, S. Mertzman, K. Krenn, M. Craig, D. Marcino, M. Methot, J. Strong, J. Mustard, D. Blaney **Detection and discrimination of sulfate minerals using reflectance spectroscopy** *Icarus*, 184 (1) (2006), pp. 121–157

Hunt, G. R. (1977), Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near- infrared, **Geophysics**, 42, No 3, 501-513.

Gaffey, S.J., Spectral reflectance of carbonate minerals in the visible and near infrared (0.35-2.55 μm): Calcite, aragonite and dolomite, **Am. Mineral.** 71, 151-162, 1986.

Kaufman, Y. J., Tanre, D., Nakajima, T., Lenoble, J., Frouin, R., Grassl, H., et al., 1997. Passive remote sensing of tropospheric aerosol and atmospheric correction for the aerosol effect. **Journal of Geophysical Research**, 102, 16815–16830.

Green, A.A.; Berman, M.; Switzer, P.; Craig, M.D. A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 26 (1), p. 65- 74, 1988.

Boardman, J.W. Leveraging the High Dimensionality of AVIRIS Data for Improved Sub-Pixel Target Unmixing and Rejection of False Positives: Mixture Tuned Matched Filtering. **AVIRIS Proceedings JPL Publication 1998.** v. 97, Part 21.

Kruse, F. A.; Lefkoff, A. B.; Boardman, J. B.; Heidebrecht, K.B.; Shapiro, A. T.; Barloon, P.J.; Goetz, A. F.H. The Spectral Image Processing Systems (SIPS) – Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data. **Remote Sensing of Environment**, v. 44, p. 145-163, 1993.

Crosta, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. IG/UNICAMP, Campinas, SP, 170p. 1992.