

Identificação de relação mineral Caulinita/Gibbsita em solos tropicais, por meio dos dados SWIR do sensor ASTER

Gustavo Macedo de Mello Baptista¹
Rodrigo Studart Corrêa²
Murilo Gomes Torres¹
Edilson de Souza Bias¹
Marcelo Gonçalves Resende¹
Rômulo José da Costa Ribeiro³
Douglas José da Silva¹

¹ Universidade Católica de Brasília - UCB
Q.S. 07, Lote 01, EPCT, Águas Claras - 71966-700 - Taguatinga - DF, Brasil.
gmbaptista@pos.ucb.br; {murilo, edilsonb, marcelo, douglasj}@ucb.br

² Universidade de Brasília - UnB
Caixa Postal 04401 - CEP 70910-900 – Brasília, DF
rodmanga@yahoo.com.br

³ União Pioneira de Integração Social - UPIS Faculdades Integradas
SEPS 712/912, Conj. A - Asa Sul - 70390-125 - Brasília – DF, Brasil.
rjcribeiro@gmail.com

Abstract: The hyperspectral system AVIRIS was used to map and quantify kaolinite / (kaolinite + gibbsite) ratio in tropical soils of Brazil. It can be considered an important step because multispectral systems, as Landsat, permit only to separate iron oxides. The ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) present, by the means of its SWIR (ShortWave InfraRed) subsystem, shows to be able to identify kaolinite and gibbsite as it has a specific band for spectral features. The aim of this paper was to test the SWIR subsystem by the means of RCGb_{scale} spectral index (Baptista et al., 1999), in the knowledge of data from both mineralogical samples and AVIRIS data for a same area.

Palavras-chave: ASTER, AVIRIS, kaolinite, gibbsite, ASTER, AVIRIS, caulinita, gibbsita.

1. Introdução

A presença de classes de solos que possuem variações mineralógicas perceptíveis é comum nos Cerrados. Essas diferenças mineralógicas, todavia, não podem ser separadas com os métodos atualmente adotados nos levantamentos em campo. Um dos fatores mais importantes na compreensão dos ambientes pedológicos é a diferenciação espacial dos diferentes graus de intemperismo dos solos. O conhecimento da variação espacial da mineralogia é importante por diferentes razões: permite elucidar processos de gênese dos solos, auxilia na definição de sistemas de manejo mais apropriados e é fator relevante para a sua classificação e seu mapeamento.

A análise espectral de laboratório e de dados multiespectrais tem sido utilizada para a detecção da ocorrência de alguns dos principais componentes dos solos. Baptista (2001) deu um passo importante para a identificação da relação mineralógica caulinita / (caulinita + gibbsita), quando, por meio dos dados do sensor hiperespectral AVIRIS, desenvolveu o índice espectral RCGb, que permitiu a espacialização e quantificação da relação entre os dois minerais, mesmo em ambiente com elevados teores de magnetita. Antes disso, Baptista et al. (1999) desenvolveram um índice espectral chamado RCGb_{scale}, que visa determinar a relação

entre a caulinita e gibbsita, por meio das imagens *scale* do algoritmo *Spectral Feature Fitting* (Clark et al., 1990).

O presente estudo visa a identificação das feições espectrais desses dois minerais, por meio dos dados do subsistema SWIR (*ShortWave Infrared* – Infravermelho de Ondas Curtas) do sensor ASTER. Além disso, as feições espectrais serão comparadas com os teores dos minerais obtidos por meio de amostras coletadas no campo e comparadas com seus espectros obtidos em laboratório e com os dados AVIRIS para a mesma mancha de solos expostos no município de São João D’Aliança, GO.

2. Meio Físico da Área de Estudos

O município de São João D’Aliança (**Figura 1**) é constituído, essencialmente, do embasamento granito-gnáissico e de unidades sedimentares proterozóicas atribuídas ao Grupo Paranoá (Faria, 1995) e a área de estudo encontra-se sobre a litofácies Metassiltito Argiloso (unidade S)

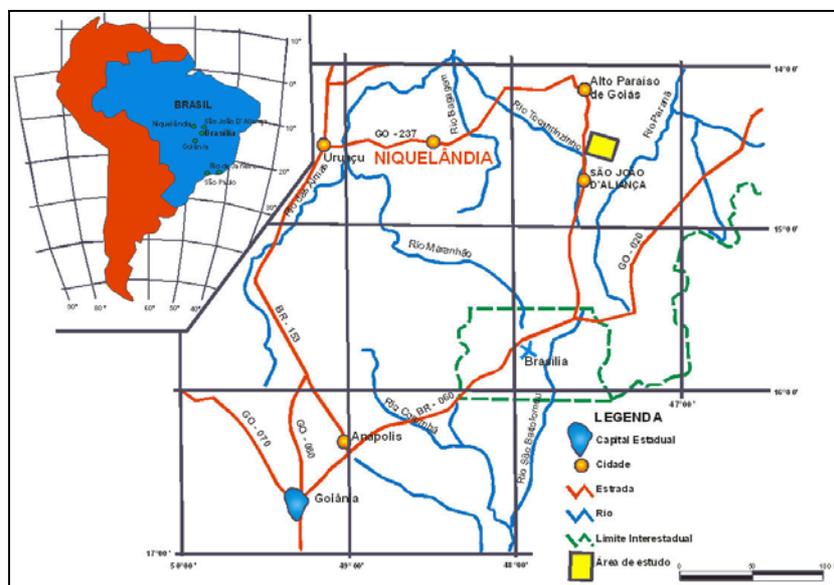


Figura 1 – Localização da área de estudos

A área é representada por uma superfície uniformemente aplainada, com declividade inferior a 3%, apresenta Latossolo vermelho-escuro argiloso (Embrapa, 1999). A porção da imagem investigada caracteriza-se geomorfologicamente como o topo de uma vertente convexa com caimento NW-SE, e a espacialização das relações minerais dos solos tende a acompanhar a topografia, ou seja, nas porções mais conservadas e menos afetadas pela erosão, os solos devem apresentar menor alteração, enquanto as áreas mais intemperizadas devem apresentar uma cobertura de solos mais alterada.

3. Materiais e Métodos

O procedimento adotado baseou-se em quatro etapas: aquisição dos dados de reflectância dos alvos de superfície; reamostragem espectral da biblioteca espectral do JPL; comparação com os dados coletados no campo e com o AVIRIS reamostrado; e aplicação do índice espectral $RCGb_{scale}$ nos dados ASTER.

4. Resultados e Discussão

4.1 Aquisição dos Dados de Reflectância dos Alvos de Superfície

Foi solicitada a cena de 24/10/2001, por apresentar a área de estudo desprovida de restos de cultura e preparada para o cultivo. A **figura 2** apresenta a porção da cena ASTER utilizada neste estudo. Convém salientar que essa mesma área foi estudada por Baptista (2001) por meio dos dados AVIRIS e o polígono destacado na figura foi utilizado para validar os índices espectrais $RCGb_{scale}$ e o $RCGb$, proposto pelo autor.

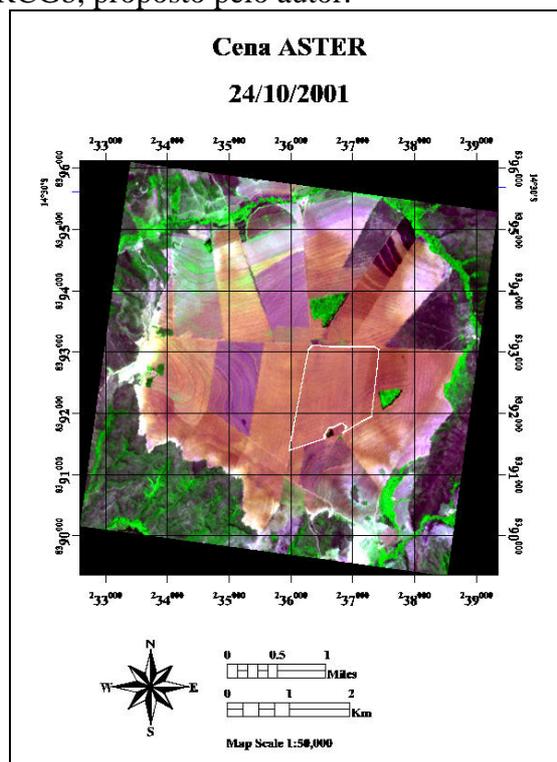


Figura 2 – Cena ASTER apresentando, no polígono branco, a área de estudos.

4.2 Reamostragem Espectral da Biblioteca Espectral do JPL

Uma das vantagens das bibliotecas espectrais é a possibilidade de simulação de sistemas sensores multiespectrais existentes, teste de sistemas que ainda não foram implementados, ou ainda, proposição de novas bandas para sistemas futuros.

Para isso é necessário utilizar-se de um procedimento matemático chamado convolução, que se baseia no algoritmo apresentado na equação 1, em que para cada banda simulada (i) a radiância $[L(i)]$ é o somatório do produto dos pesos das funções de resposta espectral $[wSRF(c)]$ pela radiância medida pelo radiômetro em cada um dos seus canais (Green e Shimada, 1997):

$$L(i) = \sum wSRF(c) \cdot L(c) \quad (1)$$

Os espectros de referência adotados para comparação com os espectros dos *pixels*, por meio da classificação SFF, são da biblioteca espectral do JPL (Grove et al., 1992) e são intitulados *Kaolinite Well-Ordered PS-1A* e *Gibbsite Synthetic OH-3A*. A **figura 3** apresenta os espectros originais e reamostrados para o sensor ASTER para a caulinita (a) e para a gibbsita (b).

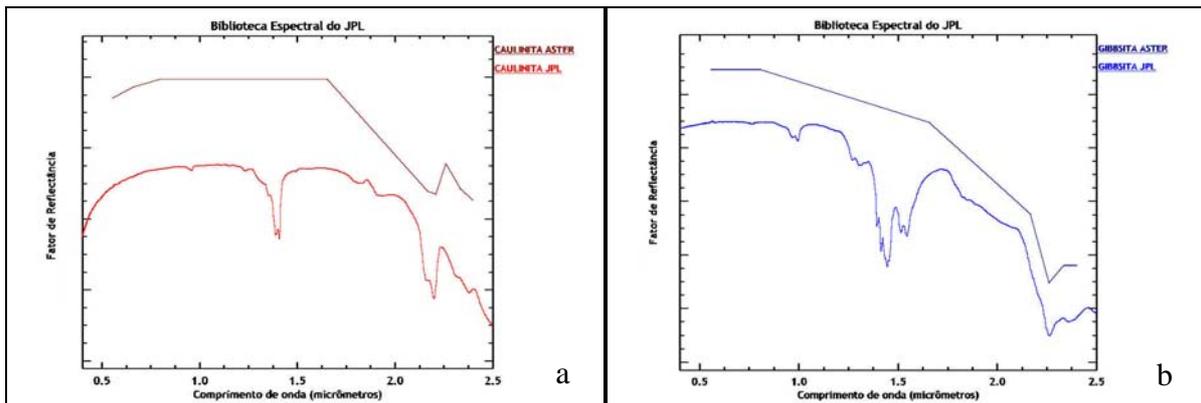


Figura 3 – Espectros de caulinita (a) e de gibbsita (b) da biblioteca espectral do JPL e reamostrados para o ASTER.

4.3 Comparação com os Dados Coletados no Campo e com o AVIRIS Reamostrado

Selecionaram-se três dos treze pontos do transeco amostrado por Baptista (2001), por serem bem representativos na relação caulinita/gibbsita. Estes pontos foram amostrados no campo e os espectros obtidos em laboratório (**figura 4**).

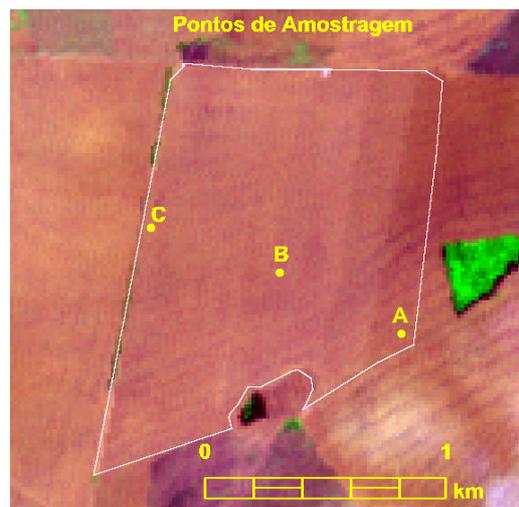


Figura 4 – Pontos de amostragem.

Esses espectros das amostras de solo coletadas no campo foram reamostrados para o ASTER, utilizando-se o mesmo procedimento adotado com a biblioteca espectral do JPL, anteriormente descrita, visando à comparação visual com os espectros dos dados ASTER.

A imagem AVIRIS utilizada por Baptista (2001) foi também reamostrada espectralmente, pelo mesmo procedimento supracitado, para compreensão da potencialidade do ASTER para a discriminação espacial dos minerais estudados. A **figura 5** apresenta a cena AVIRIS de 1995.

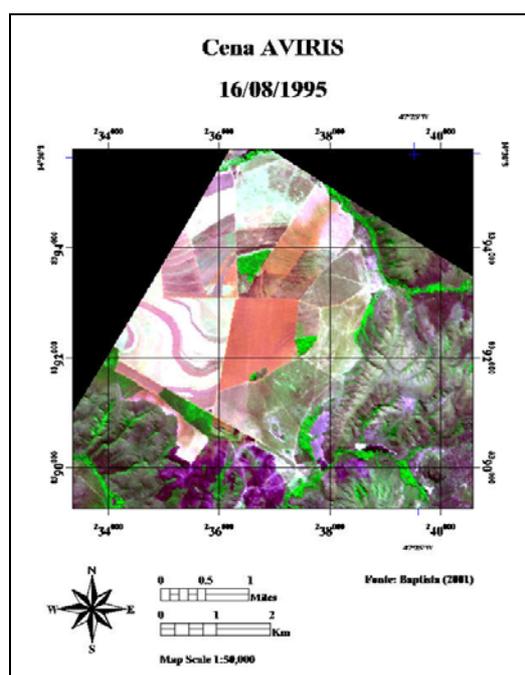


Figura 5 – Cena AVIRIS reamostrada.

Os 3 pontos apresentados na figura 4 apresentam conteúdos diferenciados de caulinita e de gibbsita. A **tabela 1** apresenta os percentuais de cada mineral por ponto.

Tabela 1 – Resultado do ATG para quantificação dos teores de caulinita e de gibbsita.

Amostra	Gibbsita (%)	Caulinita (%)	Caulinita/(Caulinita+Gibbsita)
A	11,7	32,8	0,74
B	14,2	55,6	0,80
C	25,7	55,0	0,68

Fonte: Baptista (2001)

O ponto A apresenta um predomínio de caulinita e o menor teor de gibbsita das três amostras (**figura 6a**).

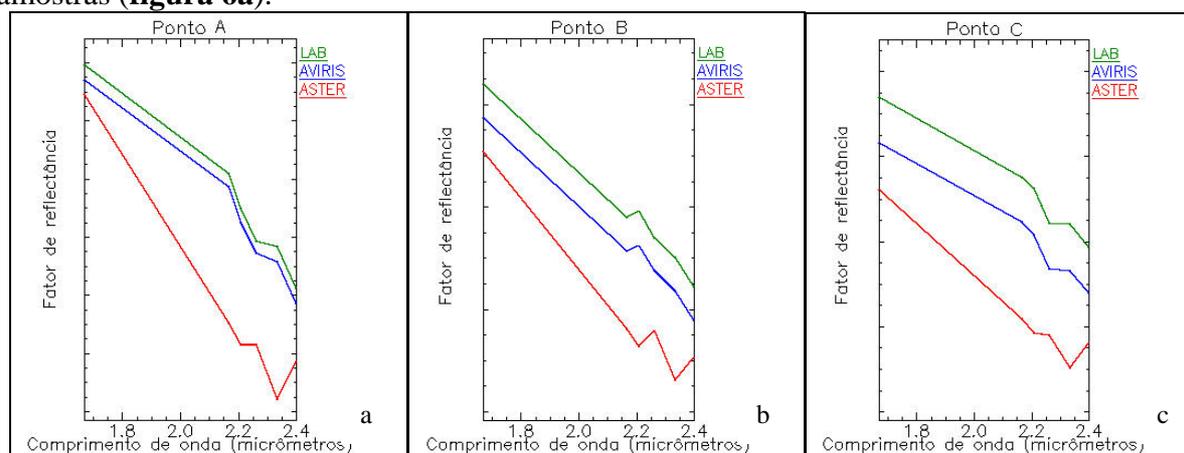


Figura 6 – Espectros obtidos no ASTER, no AVIRIS e no Laboratório (LAB) para os pontos A, B e C.

Os espectros obtidos pelo AVIRIS e LAB apresentam as duas feições e o do ASTER apresenta um deslocamento da porção de 1,6 μm em direção à feição da caulinita, mas a feição centrada a 2,3 μm apresenta maior intensidade. Esse deslocamento pode ser decorrente da ausência de bandas entre o intervalo da banda 4 (1,6 – 1,7 μm) até a banda 5 (2,145 –

2,185 μm) e acaba registrando as feições um pouco deslocadas, mas não há nenhuma referência a esse deslocamento na literatura consultada. Já os espectros de laboratório e do AVIRIS são espectros contíguos, apresentando bandas em toda a faixa analisada. Isso pode ser visualizado na figura 3 e também acontece no trabalho de Godoy et al. (2005).

Conforme salienta Baptista (2001), quanto maior a intensidade da feição espectral, maior será o conteúdo do mineral. Os dois minerais apresentam-se com as posições das feições descritas na literatura nos espectros do AVIRIS e do LAB e apenas a da caulinita apresenta-se centrada a 2,2 μm no ASTER.

O ponto B (**figura 6b**) apresenta o maior valor de caulinita e da relação e isso se reflete nos 3 espectros. Nos espectros do AVIRIS e do LAB é possível perceber a presença da feição espectral da caulinita e a da gibbsita é praticamente encoberta pela da caulinita. Pode-se notar algo interessante ao se analisarem os espectros do AVIRIS e do LAB com a remoção do contínuo espectral: devido a 55,6% de caulinita na amostra, a feição foi deslocada para banda centrada a 2,16 e entre essa feição e da gibbsita, centrada a 2,26 μm , apareceu um pico de máxima reflectância, como no espectro do ASTER. O ASTER apresentou a feição da caulinita centrada a 2,2 μm e uma outra, que, devido à função de ganho dos detectores pode ter sido deslocada para 2,3 μm , poderia ser devido à gibbsita.

O último ponto, o C (**figura 6c**), apresentou também um teor de 55% de caulinita, mas, ao invés do ponto anterior, que apresentou cerca de 15% de gibbsita, o ponto C apresentou o maior teor deste mineral, atingindo um teor superior a 25%. Lembrando que todos os pontos apresentam solos caulíníficos, mas ocorrem entre eles variações nos teores dos minerais. E como resposta espectral, tanto o AVIRIS como o LAB apresentaram apenas uma feição centrada a 2,26 μm , referentes à gibbsita. Já o ASTER apresentou uma fraca feição devido à caulinita e uma maior a 2,3 μm .

4.4 Aplicação do Índice Espectral $\text{RCGb}_{\text{scale}}$ nos Dados ASTER

O método de classificação *Spectral Feature Fitting* (SFF) (Clark et al., 1990) realiza um ajuste por mínimos quadrados entre os espectros de cada pixel da imagem com o espectro de referência da biblioteca espectral.

Como resultado, o método SFF produz duas imagens: uma imagem chamada de *scale*, que deve ser entendida como a medida da intensidade da feição, e uma imagem referente ao erro médio quadrático (*RMS error*). A razão *scale/rms* gera uma imagem chamada *fit image* que pode ser entendida como a possibilidade de os materiais dos espectros de referência, os chamados *endmembers*, existirem na imagem.

Porém, as *fit images* não podem ser comparadas com o valor K_i dos solos, tendo em vista que são propostas diferenciadas entre si. Enquanto o K_i visa à quantificação da relação molecular sílica-alumina, as *fit images* apresentam a probabilidade de se ter aquele *endmember* na cena. O índice espectral $\text{RCGb}_{\text{scale}}$ (Baptista, 2001) foi desenvolvido para solucionar essa não-similaridade dos resultados.

O índice espectral $\text{RCGb}_{\text{scale}}$ foi obtido a partir da modelagem sobre as imagens *scale* obtidas por meio da classificação SFF, apresentada na expressão 2.

$$\frac{\text{scale kaolinite}}{(\text{scale kaolinite} + \text{scale gibbsite})} \quad (2)$$

Para os latossolos intemperizados, esse índice pode ser utilizado como proporcional à relação molecular sílica-alumina, ou simplesmente K_i . O índice $\text{RCGb}_{\text{scale}}$ (**figura 7**) apresentou uma tendência bem parecida com a *fit image* de caulinita, pois nessa área os solos são predominantemente caulíníficos.

Um outro aspecto a ser salientado é que, mesmo sendo um índice proporcional ao valor K_i dos solos, os valores obtidos com o $RCGb_{scale}$ apresentaram-se bem próximos aos dos pontos coletados no campo e quantificados por ATG. O primeiro ponto sai da área verde, que possui um teor intermediário de gibbsita e apresenta, na amostra um valor da relação caulinita/(caulinita+gibbsita) de 0,74 (**tabela 1**) e na imagem $RCGb_{scale}$, 0,78; o segundo, atinge a classe azul, pois apresenta o maior valor de caulinita, provavelmente um área mais preservada e menos intemperizada ou mesmo neo-formada. Apresenta, na amostra um valor da relação caulinita/(caulinita+gibbsita) de 0,80 (**tabela 1**) e na imagem $RCGb_{scale}$, 0,80 também; e, finalmente o terceiro atinge uma depressão erodida do terreno que se apresenta mais intemperizada que os demais, representada pela classe vermelha e apresenta, na amostra um valor da relação caulinita/(caulinita+gibbsita) de 0,71 (**tabela 1**) e na imagem $RCGb_{scale}$, 0,68.

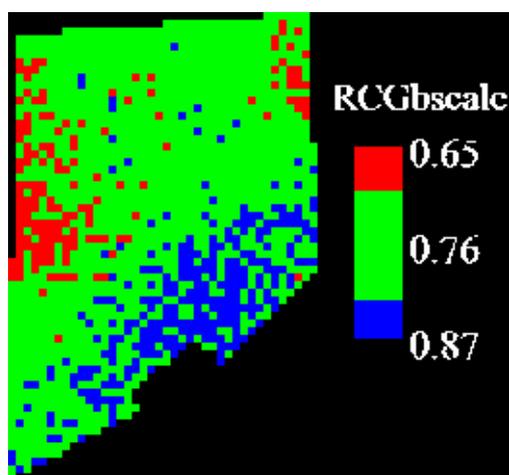


Figura 7 – $RCGb_{scale}$.

Os resultados obtidos com o ASTER apresentam a mesma tendência apresentada por Baptista et al. (1999) para os dados hiperespectral do sensor AVIRIS.

5 Conclusão

Pode-se concluir que mesmo sendo um sensor multiespectral, o ASTER em seu subsistema SWIR permite a determinação de zonas com variabilidade espacial dos conteúdos de caulinita e de gibbsita, minerais representativos do processo de intemperismo dos solos tropicais.

Verificou-se que, apesar dos espectros obtidos pelo subsistema SWIR do sensor ASTER não serem idênticos aos obtidos pelo AVIRIS e pelo LAB, eles representam as feições espectrais da caulinita e da gibbsita. Isso já era esperado, pois tanto o AVIRIS como o LAB são sensores hiperespectrais, sendo que o primeiro apresenta 224 bandas para recobrir a faixa de 0,4 a 2,5 μm e o segundo é um radiômetro GER-MARK V, que apresenta 862 medidas para a mesma faixa. O ASTER recobre a mesma faixa espectral com nove bandas.

Um comportamento foi notado nos três pontos coletados: quando houve o aumento do conteúdo de caulinita (ponto B), a feição centrada a 2,2 μm foi registrada na banda de 2,16 μm e com o aumento de 10% do teor de gibbsita a feição voltou a ser registrada a 2,2 μm . Em todos os espectros do ASTER registrou-se um ponto de máxima reflectância entre as bandas centradas a 2,2 e 2,3 μm , localizado a 2,26 μm , onde teoricamente deveria ser apresentada a feição da gibbsita. Não existe nenhum relato sobre tal característica na literatura.

Mesmo com essas variações de posição da feição de absorção, o ajuste de mínimos quadrados promovido pelo algoritmo *Spectral Feature Fitting* permitiu a espacialização das principais minerais envolvidos no processo de intemperismo.

Os resultados obtidos com o ASTER apresentam a mesma tendência apresentada por Baptista et al. (1999) para os dados hiperespectral do sensor AVIRIS.

Um outro aspecto a ser salientado é que, mesmo sendo um índice proporcional ao valor K_i dos solos, os valores obtidos com o $RCGb_{scale}$ apresentaram-se bem próximos aos dos pontos coletados no campo e quantificados por ATG. O primeiro ponto sai da área verde, que possui um teor intermediário de gibbsita e apresenta, na amostra um valor da relação caulinita/(caulinita+gibbsita) de 0,74 (**tabela 1**) e na imagem $RCGb_{scale}$, 0,78; o segundo, atinge a classe azul, pois apresenta o maior valor de caulinita, provavelmente um área mais preservada e menos intemperizada ou mesmo neo-formada. Apresenta, na amostra um valor da relação caulinita/(caulinita+gibbsita) de 0,80 (**tabela 1**) e na imagem $RCGb_{scale}$, 0,80 também; e, finalmente o terceiro atinge uma depressão erodida do terreno que se apresenta mais intemperizada que os demais, representada pela classe vermelha e apresenta, na amostra um valor da relação caulinita/(caulinita+gibbsita) de 0,71 (**tabela 1**) e na imagem $RCGb_{scale}$, 0,68.

Porém, mais pontos e outros contextos devem ser estudados para analisar melhor a potencialidade do algoritmo $RCGb_{scale}$ nos dados ASTER. Para o sensor AVIRIS, Baptista et al. (1999) e Baptista (2001) mostraram essa eficiência.

Referências Bibliográficas

- Baptista, G.M.M. (2001). **Mapeamento e Quantificação da Relação Mineralógica Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) de Solos Tropicais, por meio dos Dados do Sensor Hiperespectral AVIRIS (JPL/NASA)**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Baptista, G.M.M.; Madeira Netto, J.S.; Carvalho Jr., O.A.; Meneses, P.R. (1999). Mapping kaolinite and gibbsite of Brazilian tropical soils using imaging spectrometry data (AVIRIS). *The AVIRIS Earth Science and Applications Workshop*. **JPL Publications 99-17**, 267-274.
- Clark, R.N.; Swayze, G.A.; Gallagher, A.; King, T.V.V.; Calvin, W.M. (1993). The U.S. Geological Survey Digital Spectral Library: Version 1: 0.2 to 3.0 μ m. **U.S.G.S. Open File Report 93-592**, 1340 pp.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1999). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Embrapa-CNPq, Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ) 412p.
- Faria, A. (1995). **Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança - Alto Paraíso de Goiás**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, UnB, Brasília.
- Godoy, S.E.C.; Ueda, K.; Marín, G.; Leanza, H.A.; Hermann, C.; Nakashima, K.; Di Tommasi, I.; Marquetti, C. Identificación de arcillas con datos ASTER en un sector de la cuenca Neuquina, Argentina. **Selper**, 22:5-15, 2005.
- Green, R.O.; Shimada, M. (1997). On-orbit calibration of a multispectral satellite sensor using a high altitude airborne imaging spectrometer. **Adv. Space Res.**, 19:1387-1398.
- Grove, C. I.; Hook, S. J.; Paylor II, E. D. (1992). Laboratory reflectance spectra of 160 minerals, 0.4 to 2.5 micrometers: **JPL Publications 92-2**.