

Identificação de sesquióxidos de ferro da fração argila de solos tropicais por meio de decomposição espectral linear dos dados do sensor AVNIR-2 do sistema ALOS

Gustavo Macedo de Mello Baptista^{1,2}
Paulo Roberto Meneses²

¹ Universidade Católica de Brasília - UCB
SGAN 916 Norte, Av. W5 - 70790-160 - Brasília - DF, Brasil
gmbaptista@pos.ucb.br

² Universidade de Brasília - IGUnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte - 70910-900 - Brasília - DF, Brasil
pmeneses@unb.br

Abstract. The aim of this study is to investigate the possibilities of separating hematite and goethite contents in oxidized tropical soils using the AVNIR-2 sensor of ALOS satellite. For this purpose were selected six soil sites in the Cerrado region and it was applying to the AVNIR-2 images the linear spectral unmixing method. The results yielded an image where the contents of hematite and goethite are unmixed. This results were exported for the n-dimensional visualizer and found pure pixel in the two cluster, one for goethite e the other for hematite. Finally we used the abundance images of the two mineral to determine the percentage of each endmember contained in the pixel.

Palavras-chave: ALOS, AVNIR-2, hematite, goethite, Linear Spectral Unmixing, hematita, goethita, decomposição espectral linear.

1. Introdução

A cada dia novos sistemas sensores surgem e as necessidades de investigação das suas potencialidades tornam-se evidentes. Os novos paradigmas que o sensoriamento remoto experimenta ampliam ainda mais essas necessidades. Sensores hiperespectrais, hiperespectrais, hiperradiométricos e hipertemporais povoam os trabalhos e ampliam em muito o espectro de investigação.

Dentre essas novidades, lançado pela Agência de Exploração Aeroespacial Japonesa JAXA, o sistema ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) considerado como o sucessor dos sistemas JERS-1 (*Japanese Earth Resources Satellite-1*) e ADEOS (*Advanced Earth Observing Satellite*) foi colocado em órbita em 24 de janeiro de 2006, contendo, em sua carga útil três sistemas sensores: o PALSAR, o PRISM e o AVNIR-2 (JAXA, 2007).

O PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) é o sistema de radar do ALOS operando em banda L com resoluções espaciais de 10 no modo fine a 100 metros no ScanSAR (JAXA, 2007).

O PRISM (*Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping*) é um sistema sensor que por meio de três telescópios pancromáticos (0,52 a 0,77 μm), sendo um de visada nadiral e um dianteira e outro traseira, de resolução espacial de 2,5 metros e radiométrica de 8 bits, que possibilita gerar pares estereoscópicos, bem como modelos tridimensionais. Existem nove modos de observação (JAXA, 2007).

O AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2*) é o sucessor do AVNIR que compõe a carga útil do ADEOS e obtém, em quatro bandas multiespectrais que cobrem o intervalo de 0,4 a 0,9 μm , informações sobre a superfície do planeta, com resoluções espacial de 10 metros e radiométrica de 8 bits (JAXA, 2007).

O presente estudo visa identificar os sesquióxidos de ferro da fração argila dos solos tropicais por meio da técnica de decomposição espectral linear dos dados do sensor AVNIR-2 do sistema ALOS.

1.1 Comportamento Espectral dos Sesquióxidos de Ferro

Goethita (FeOOH) e hematita (Fe₂O₃) são as mais frequentes ocorrências de minerais de ferro férrico (Fe³⁺) encontrados em solos tropicais. Eles resultam da oxidação do ferro presente como Fe²⁺ em minerais primários nos processos de formação de solos.

A predominância de um ou outro desses minerais está relacionada a fatores pedoclimáticos, e a compreensão de sua ocorrência é de grande importância nos estudos de solos tropicais, principalmente para se inferir o caráter pedohídrico da cobertura.

Esses sesquióxidos de ferro tornam-se diferenciados por suas feições espectrais, principalmente nos comprimentos de onda do visível e do infravermelho próximo. Conforme a tabela 1, de acordo com Sherman e Waite (1985) as principais transições eletrônicas da hematita e goethita na faixa do visível e do infravermelho próximo são do tipo campo cristalino e responsáveis pelas cores desses minerais.

Tabela 1 - Atribuição e localização das transições eletrônicas de hematita e goethita. Adaptado de Sherman e Waite, 1985.

Mineral	Transições Eletrônicas			
	${}^6A_1 \Rightarrow {}^4T_1$	${}^6A_1 \Rightarrow {}^4T_2$	$2({}^6A_1) \Rightarrow 2({}^4T_1)$	${}^6A_1 \Rightarrow {}^4E, {}^4A_1$
Hematita	0,885 μm	0,65 μm	0,53 μm	0,445 μm
Goethita	0,917 μm	0,65 μm	0,48 μm	0,435 μm

A figura 1 apresenta os espectros de reflectância difusa de uma amostra de goethita (a) e de uma de hematita (b). A amostra de goethita (WS222 - da biblioteca espectral do USGS, Clark *et al.*, 1993) é de Superior Mines, Marquette, Michigan, enquanto o espectro de hematita (GDS27 - USGS, Clark *et al.*, 1993), é uma amostra sintética (Baker Analyzed Reagent).

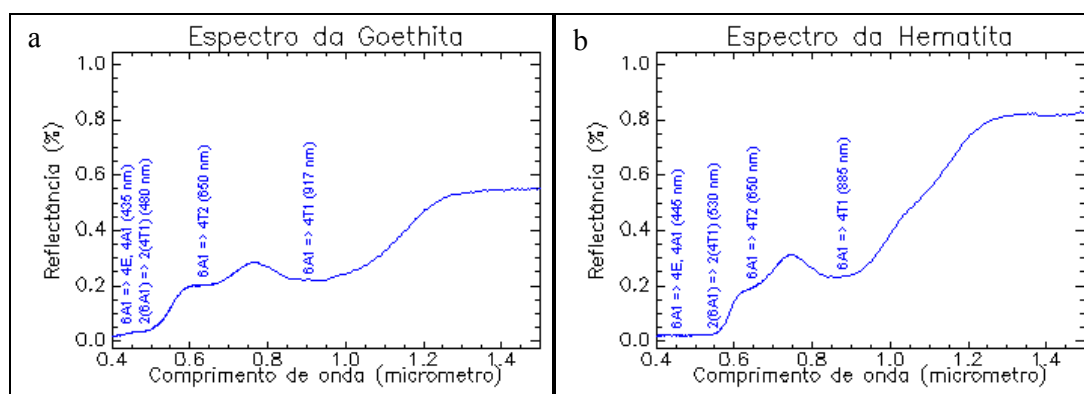


Figura 1 - Espectros de reflectância difusa de goethita (a) (WS222 - da biblioteca espectral do USGS, Clark *et al.*, 1993) e de hematita (b) (GDS27 - USGS, Clark *et al.*, 1993).

Sherman e Waite (1985) mostraram que a diferença entre as cores de dois minerais, a goethita e a hematita, é determinada pela posição dessa transição eletrônica de efeito de campo cristalino $2({}^6A_1) \Rightarrow 2({}^4T_1)$, que ocorre em 0,48 μm para goethita e 0,53 μm para hematita. A figura 2 apresenta em detalhe a posição dessa transição para os dois minerais.

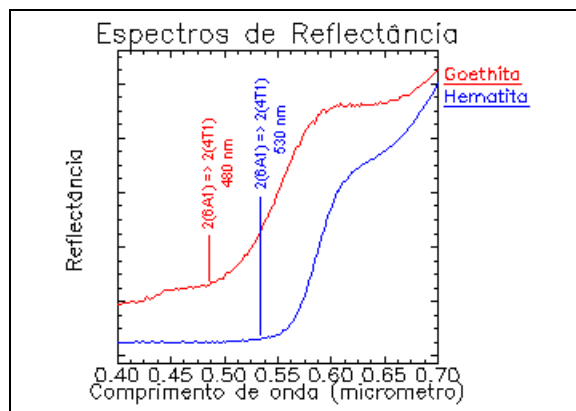


Figura 2 - Posicionamento das transições eletrônicas nos espectros de hematita e goethita, determinante das cores dos minerais (adaptado de Sherman e Waite, 1985).

2. Material e Métodos

Para a realização do presente estudo foram utilizadas duas cenas datadas de 22 de julho de 2007 do sensor AVNIR-2 do sistema ALOS e para o tratamento das imagens o software Envi 4.3. Nessas cenas foram selecionados seis sítios que, além de se apresentarem com manchas de solos expostos, apresentava visualmente variação de coloração compatível com a mineralogia a ser investigada.

Para realizar a decomposição espectral linear adotou-se como referências os espectros *Hematite O-1A* e *Goethite OH-2A* da biblioteca espectral do *Jet Propulsion Laboratory* – JPL (Grove *et al.*, 1992), que foram reamostrados por meio dos valores centrais espectrais das bandas do AVNIR-2, assumindo-se que as mesmas apresentam função de ganho dos detectores seguindo uma tendência de distribuição normal.

A decomposição espectral linear foi realizada por meio do módulo *Linear Spectral Unmixing*, que visa determinar a abundância relativa de materiais que são imageados pelos sensores multi ou hiperespectrais.

Neste caso, conceitualmente a reflectância de cada pixel é entendida como sendo uma combinação linear da reflectância de cada material (ou *endmember*) presente e a decomposição espectral linear tende a separar os percentuais de cada *endmember* na composição do pixel.

Deve-se salientar que não se pode adotar um número de *endmembers* maior que o número de bandas do sensor. No caso do AVNIR-2, com quatro bandas, o número de *endmembers* investigados pode ser no máximo quatro. No presente estudo foram investigados apenas dois *endmembers*, hematita e goethita.

O resultado do método *Linear Spectral Unmixing* apresenta uma banda para cada *endmember* e o erro médio quadrático da decomposição. Para os seis sítios foram realizadas composições coloridas colocando a imagem de goethita no canal vermelho, a da hematita no verde e o RMS no azul.

Visando verificar a eficiência dessa decomposição, foi selecionado o sítio 3 por ter sido o que melhor representa a relação dos minerais hematita e goethita. Para tal, adotou-se toda a área do sítio (400x400 pixels) e por meio do módulo *n-dimensional vizualizer* gerou-se um scattergrama bidimensional com as imagens goethita e hematita, e que nas suas extremidades mostram a presença de pixels puros.

Finalmente, como o resultado do processamento do método *Linear Spectral Unmixing* os valores dos pixels indicam a fração que contém cada *endmembers*. Por exemplo, se um pixel da imagem de goethita apresenta abundância com um valor de 0,5, isso significa que 50% do

pixel contém o *endmember* goethita. Para as imagens de abundância de goethita e de hematita foram investigados a porcentagem de cada *endmember* compunha os pixels.

3. Resultados e Discussão

Os sítios selecionados nas cenas AVNIR-2 do ALOS foram agrupadas para facilitar a visualização, conforme pode ser verificado na figura 3. As setas indicam as áreas de solo exposto que apresentam gradações de solos mais avermelhados com predomínio de hematita e solos mais amarelados, nos quais predominam a goethita.

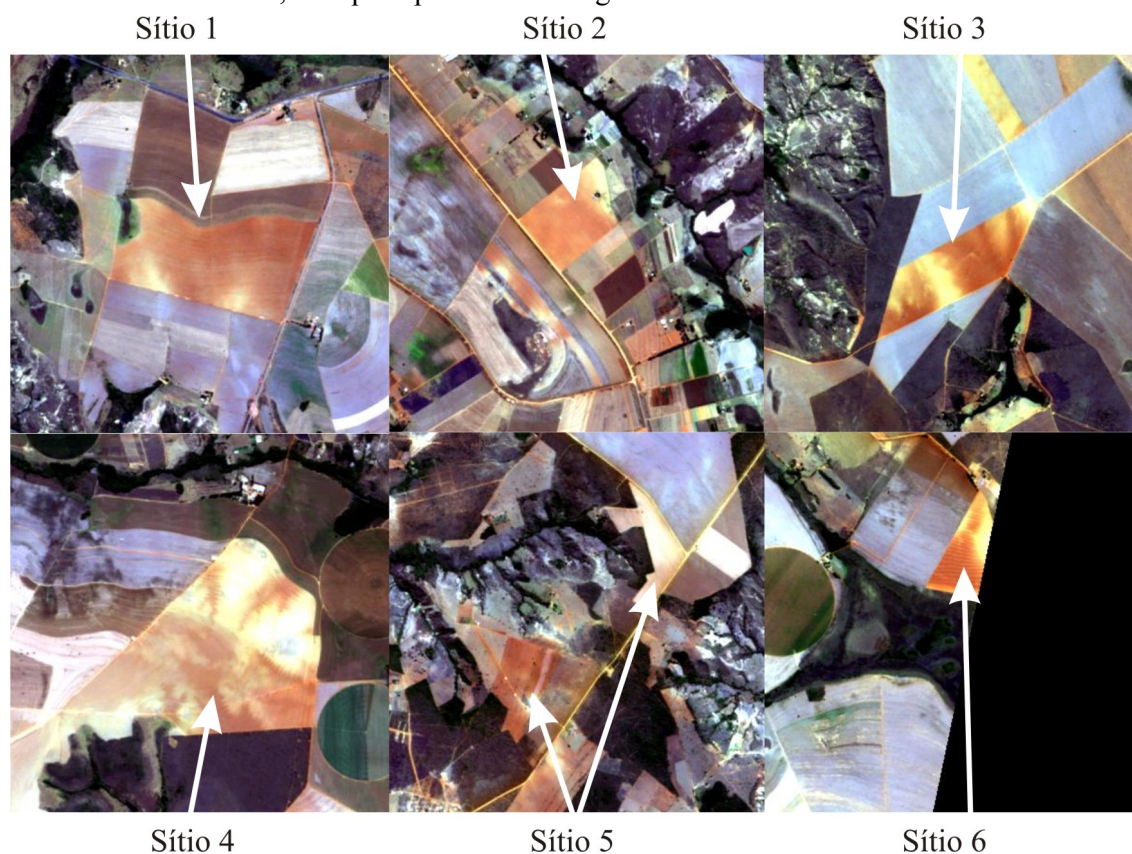


Figura 3 - Sítios selecionados nas cenas AVNIR-2 destacados por setas brancas.

Por ser um hidróxido de ferro a goethita aparece em locais nos quais a oscilação de oxidação e redução se faz presente pela sazonalidade da franja freática. Já a hematita é um óxido e ocorre em ambientes nos quais o lençol encontra-se mais profundo que nos sítios goethíticos. Nota-se que nos sítios selecionados ocorre a gradação da hematita (cores mais avermelhada dos solos) para goethita (mais amarelada), sendo que o hidróxido normalmente encontra-se nas porções mais próximas de cursos d'água, nos quais o lençol tende a estar mais próximo da superfície.

Salienta-se que para solos tropicais oxidados ocorrem concomitantemente os dois minerais, porém há o predomínio de um em relação ao outro. Em algumas situações podem ocorrer apenas um dos minerais.

Os espectros reamostrados para as bandas do sensor AVNIR-2 do ALOS de hematita e goethita da biblioteca do JPL são apresentados na figura 4.

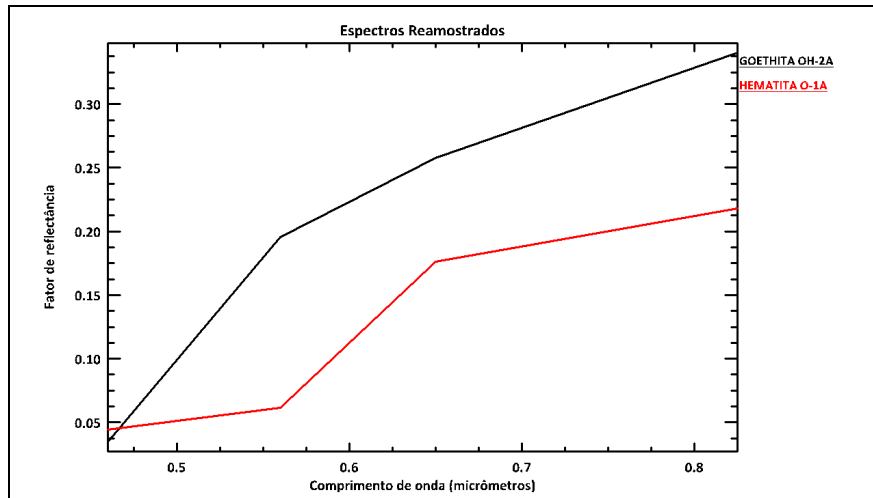


Figura 4 – Espectros de hematita e goethita reamostrados para as bandas do AVNIR-2 do ALOS.

Pode-se notar que a grande diferença entre esses dois espectros ocorre na banda centrada em 0,56 μm , quando ocorre a inflexão da feição da hematita e ocorre um pico de reflectância na goethita.

Como resultado do método de decomposição espectral *Linear Spectral Unmixing* obteve-se uma cena referente ao endmember goethita, uma ao da hematita e outra do RMS. A figura 5 apresenta a composição colorida (R3G2B1), a imagem de goethita e a imagem de hematita.

Sítio 3

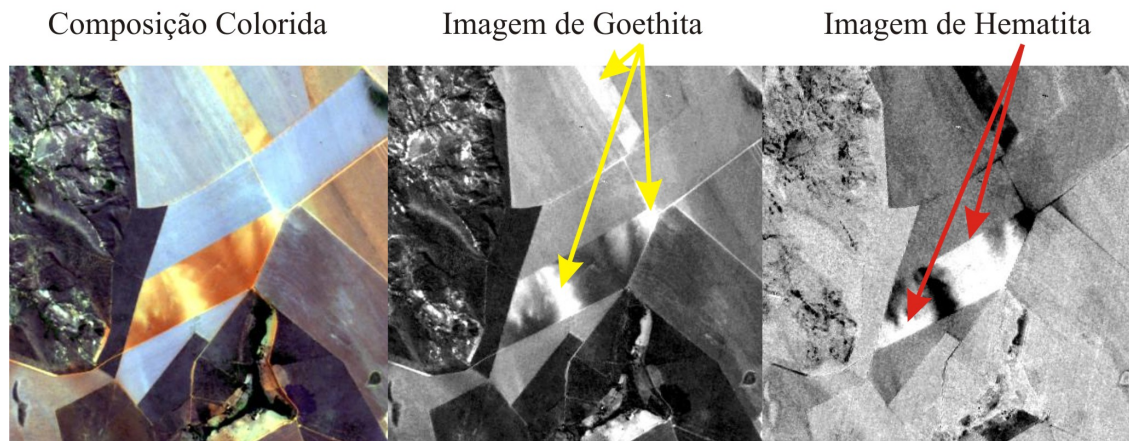


Figura 5 – Resultado do método *Linear Spectral Unmixing*. Composição colorida (R3G2B1), imagem de goethita e imagem de hematita.

As áreas mais claras na imagem de goethita apresentam maior abundância desse mineral enquanto que nas áreas mais escuras ele é menos abundante. Pode-se perceber que a imagem de hematita tem um comportamento inverso ao da imagem de goethita. As setas destacam as áreas com maior abundância de cada mineral.

Para os seis sítios foram realizadas composições coloridas R(goethita) G(hematita) B(RMS) apresentadas de forma integrada na figura 6.

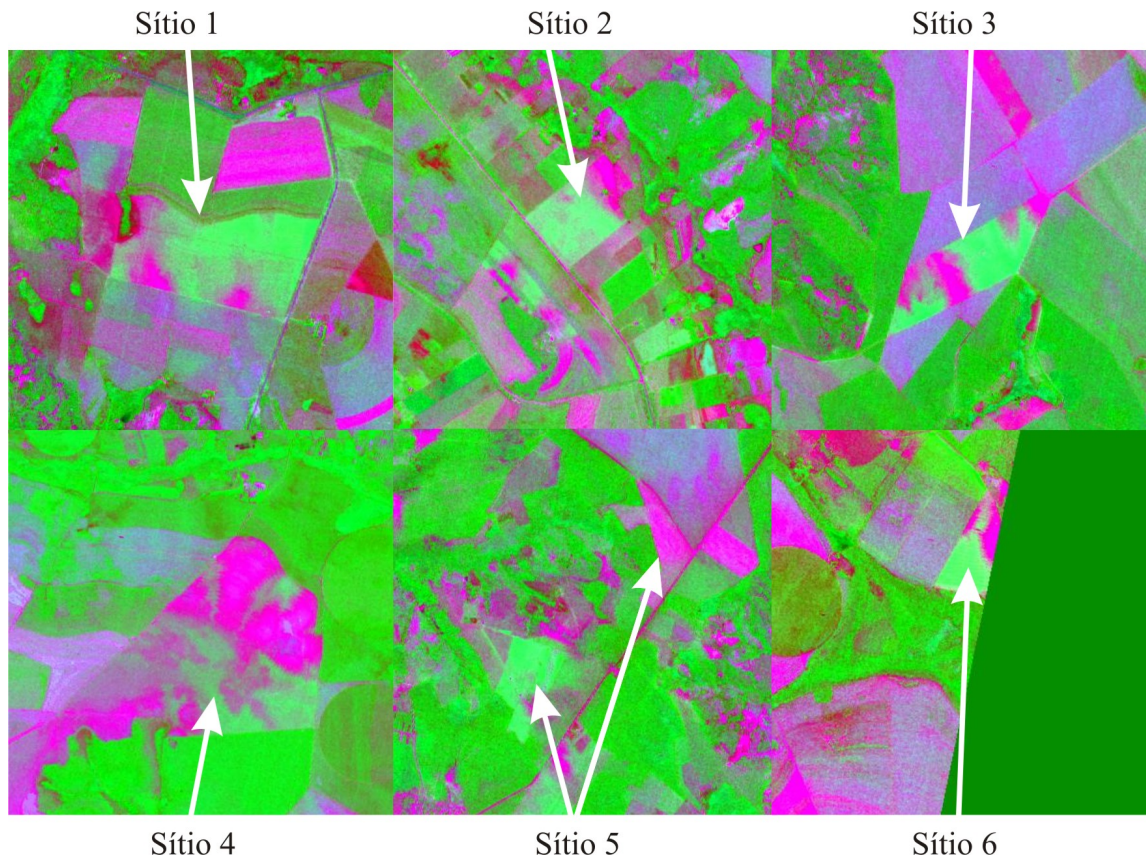


Figura 6 – Composições coloridas R(goethita) G(hematita) B(RMS).

Pode-se notar que nas áreas nas quais predominam a goethita aparecem em tom mais róseo, tendo em vista que em todos os pixels ocorre também RMS associado. Já nas que predomina a hematita, aparecem em tom verde mais claro.

A figura 7 apresenta o scattergrama bidimensional e os pixels selecionados exportados para o sítio 3. Salienta-se que os pixels amarelos representam pixels com abundância de goethita e os vermelhos, de hematita e que se encontram em posições opostas no scattergrama bidimensional.

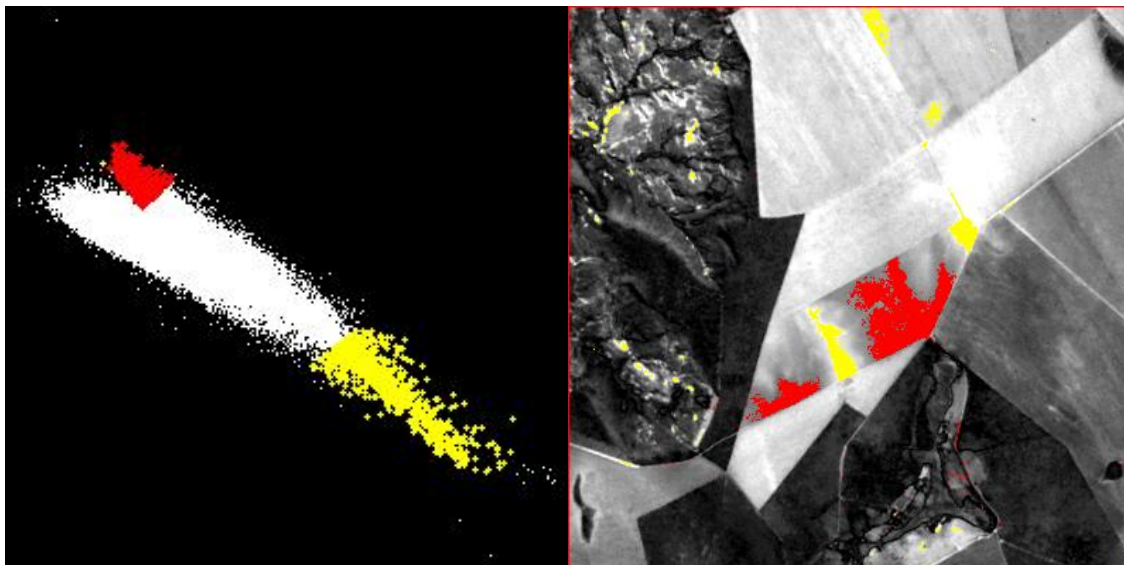


Figura 7 – Scattergrama bidimensional e imagem com os pixels dos clusters exportados.

A figura 8 apresenta a imagem abundância de goethita com o fatiamento em dos percentuais em quatro faixas: 50 a 62,5%; 62,5 a 75%; 75 a 87,5%; e 87,5 a 100% dos pixels compostos por goethita.

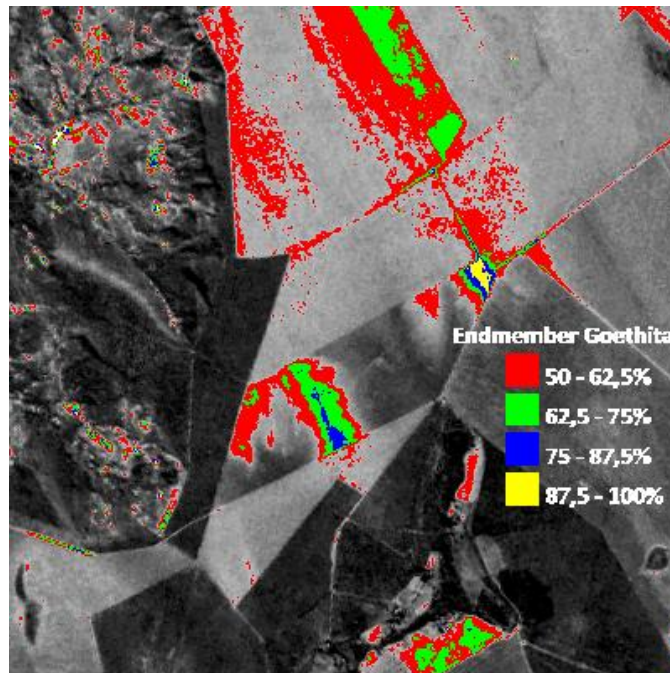


Figura 8 – Fatiamento da imagem de abundância de goethita.

A figura 9 apresenta o fatiamento da imagem de abundância de hematita, porém a sua participação é menor, ou seja, os pixels apresentam de 5 a 30% de hematita em sua mistura espectral.

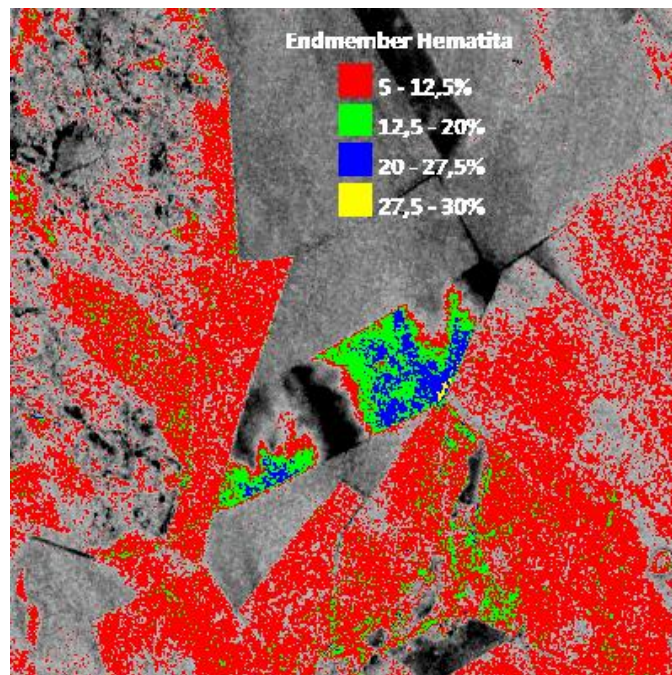


Figura 9 – Fatiamento da imagem de abundância de hematita.

Foram selecionados os pixels que apresentavam maiores percentuais de composição de cada *endmember* e seus espectros foram obtidos e plotados juntos aos espectros reamostrados da biblioteca espectral do JPL (Figura 10).

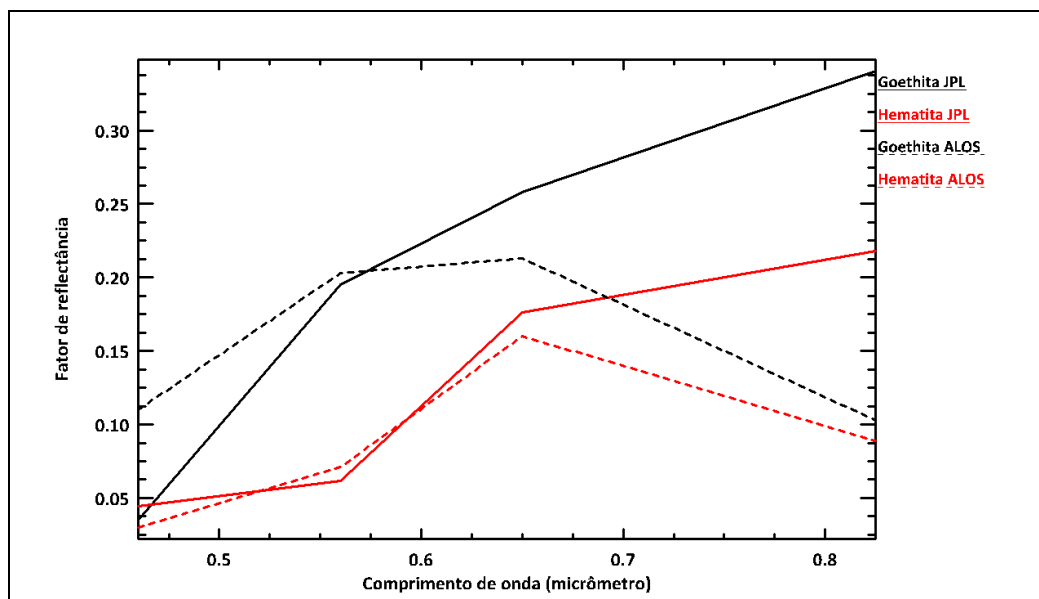


Figura 10 – Espectros dos pixels com maior percentual de cada *endmember* (tracejados) e dos *endmembers* da biblioteca espectral do JPL reamostrados para o sensor AVNIR-2, ALOS.

Ao se analisar os espectros pode-se verificar que as diferenças salientadas anteriormente sobre os dois minerais se mantêm principalmente na banda centrada a 0,56 μm , porém a banda do NIR, centrada a 0,86 μm , apresenta um albedo maior na biblioteca, e enquanto nos dados do AVNIR-2 do ALOS elas tendem a se aproximarem e apresentam baixo albedo.

4. Conclusões e Recomendações

O presente estudo permitiu verificar a potencialidade dos dados do sensor AVNIR-2 do ALOS para a identificação e a decomposição espectral linear dos dois principais sesquióxidos de ferro da fração argila dos solos tropicais: hematita e goethita.

Além disso, foi possível investigar os percentuais de composição de cada *endmember* por pixel de solo exposto.

Novos estudos de investigação mineralógica da cobertura pedológica por meio de dados AVNIR-2 do ALOS devem ser incentivados.

Referências Bibliográficas

Clark, R.N.; Swayze, G.A.; Gallagher, A.; King, T.V.V.; Calvin, W.M. **The U.S. Geological Survey Digital Spectral Library: Version 1: 0.2 to 3.0 μm** . 1993, 1340 pp. (U.S.G.S. Open File Report 93-592)

Grove, C. I.; Hook, S. J.; Paylor II, E. D. **Laboratory reflectance spectra of 160 minerals, 0.4 to 2.5 micrometers**. 1992. (JPL Publications 92-2)

JAXA. **ALOS User handbook**. 2007. (NDX – 070015)

Sherman, D.M.; Waite, T.D. Electronic spectra of Fe³⁺ oxides and oxide hydroxides in the near IR to near UV. **American Mineralogist**. V.70, p.1262-1269, 1985.