

## **Discretização espacial dos sesquióxidos de ferro da Universidade de Brasília (DF) por meio dos algoritmos Linear Spectral Unmixing e Spectral Angle Mapper dos dados do sensor WorldView 2.**

Débora Teobaldo<sup>1</sup>  
Gustavo Macedo de Mello Baptista<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Brasília - UnB  
Caixa Postal: 04386 - 70910-900 -Asa Norte - Brasília- DF  
deborateobaldo@gmail.com;

**Abstract.** The aim of this study is to identify the sesquioxides of iron in the soil located at the University of Brasília (DF) using the technique Spectral Angle Mapper (SAM) and Linear Spectral Unmixing (LSU) data from WorldView 2. The tropical soils are rich of iron oxides are hematite and goethite. The SAM is a spectral classification method that realizes the mapping between the spectrum obtained from a spectral library and the spectrum of a pixel of the image by the similarity between them. The Linear Spectral Unmixing is a classification method that determines the relative abundance of the endmembers in the pixel composition mixture. The result of the SAM was satisfactory because it correctly classified the two minerals spatially. The result of the LSU shows the correlation between the two minerals is due to the inverse of each mineral is different in chemical and geo-morphological term environment.

**Palavras-chave:** WorldView 2, Hematite, Goethite, Linear Espectral Unmixing, Spectral Angle Mapper, hematita, goethita, decomposição espectral linear, classificação por ângulo espectral.

### **1. Introdução**

As regiões tropicais apresentam como características principais a alta temperatura e as oscilações de umidade que influenciam diretamente o meio ambiente. Cada compartimento ambiental busca atingir um equilíbrio com as condições ambientais vigentes. Dessa forma propriedades físicas, químicas e mineralógicas do solo, por exemplo, se alteram visando a harmonização do sistema (GUERRA e CUNHA, 1996).

A degradação química é mais acelerada nesses ambientes, devido à presença de água, podendo resultar em solos altamente intemperizados e em minerais secundários (Guerra e Cunha, 1996). Essas características de regiões tropicais interferem diretamente nas características do solo, como espessura, cor e mineralogia (DALMOLIN et al., 2005; GALVÃO et al., 2008).

Com isso, os solos brasileiros mais intemperizados são os Latossolos e sua característica é a presença de óxidos e hidróxidos de ferro na sua composição, ou seja, a hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e goethita ( $\text{FeOOH}$ ) (MADEIRA NETTO et al., 1997; FERNANDES et al., 2004; BARBOSA et al., 2009). A identificação e a diferenciação desses óxidos e hidróxidos de ferro podem ser observadas por meio da cor dos solos que são expressas mediante a reflectância espectral dos solos que é obtida via sensoriamento remoto (CAMPOS et al., 2003).

Portanto, esses sesquióxidos de ferro devem se diferenciar por suas assinaturas ou feições espectrais em comprimentos de ondas específicos de acordo com suas transições eletrônicas (BAPTISTA e MENESES, 2009). No caso, a transição eletrônica de efeito cristalino da hematita e goethita ocorrem em  $0,53 \mu\text{m}$  e  $0,48 \mu\text{m}$ , respectivamente, ou seja, na faixa do visível que é responsável pelas cores desses minerais (SHERMAN e WAITE, 1985).

Para uma melhor visualização e diferenciação da cor dos óxidos de ferro, há a necessidade de uma imagem de satélite de um sistema sensor que discrimine particularmente cada comprimento de onda de forma separada, ou seja, a faixa espectral deve ser um pouco mais estreita e praticamente na região do visível e uma alta resolução espacial e espectral para obter maior detalhe e diferenciação.

O presente estudo tem como objetivo identificar os sesquióxidos de ferro dos solos tropicais no Distrito Federal por meio da técnica *Spectral Angle Mapper* (SAM) e *Linear Spectral Unmixing* (LSU) dos dados do sensor WorldView 2. A escolha desse sistema sensor baseia-se na presença de uma banda no amarelo, o que provavelmente deve destacar bem a presença da goethita.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

A área de estudo é na Universidade de Brasília no campus Darcy Ribeiro onde está sendo construído um novo prédio. Essa universidade se situa na Asa Norte. A figura 1 apresenta a imagem escolhida que foi obtida no dia 8 de maio de 2010 pelo sensor WorldView 2 em uma composição colorida R5G4B3.



Figura 1: Composição colorida R5G3B2 nas cores reais da área estudada.

O clima do Distrito Federal, como um todo, apresenta uma sazonalidade em que o período do inverno manifesta-se com baixa umidade e precipitação e o período do verão com alta taxa de precipitação (BAPTISTA, 1998). Com esse clima, os solos costumam ser bem intemperizados e espessos em virtude da presença de chuva e calor. E a mineralogia desses solos são pobres em bases trocáveis e em sílica, as quais foram lixiviadas, e ricas em sesquióxidos de ferro, como a goethita ( $\text{FeOOH}$ ) e hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (BAPTISTA e MENESES, 2009).

A imagem apresenta gradações de solos mais avermelhados (hematíticos) e mais amarelados (goethíticos), onde o solo está sendo preparado para uma construção de um novo prédio da universidade.

### 2.2 *Spectral Angle Mapper* (SAM)

O *Spectral Angle Mapper* (SAM) é um método de classificação espectral que realiza o mapeamento entre o espectro proveniente de uma biblioteca espectral e o espectro de um pixel da imagem por meio da similaridade entre eles (BIAS et al., 2012). Essa comparação é feita por meio do ângulo entre o espectro de referência, ou seja da biblioteca, com cada pixel da imagem (VALÉRIO et al., 2009), e ângulos pequenos significa bons ajustes entre os dois espectros (BIAS et al., 2012). Os espectros são tratados como vetores em um espaço de "n" dimensões, onde "n" é o número de bandas espectrais (NOVO, 2010). Maior será a

probabilidade da existência do material de referência no pixel da imagem, quanto melhor for o ajuste (DALLA NORA et al., 2010).

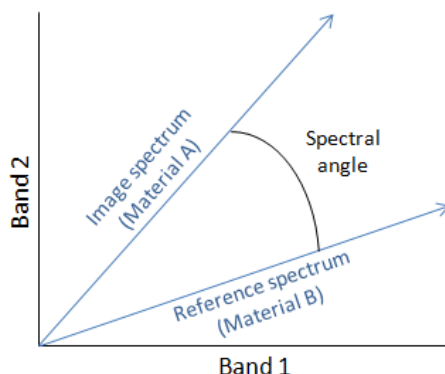


Figura 2. Ângulo espectral entre curvas espectrais de dois materiais diferentes (A e B) medido pelo SAM. Fonte: Exelisvis. Disponível em:

<http://www.exelisvis.com/docs/html/images/Spectral/WPHATutorialSAMDiagram.gif>

Esse método tem como resultado a imagem SAM, que é uma classificação em que a cor representa cada espectro de referência ou *endmember*, e as *rule images*, que apresentam o ajuste dos ângulos para cada espectro de referência escolhido (BIAS et al., 2012), ou seja, ele identifica a existência ou não do espectro de referência (DALLA NORA et al., 2010).

### 2.3 Linear Spectral Unmixing (LSU)

Os dados do espectrorradiômetro armazenam espectros que são chamados de quase puros e que podem ser utilizados para localizar membros finais (*endmembers*), ou seja, fazer uma separação espectral entre materiais (JENSEN, 2009). Essa etapa de processamento tem como objetivo buscar feições espectrais de absorção dos alvos e pixels que tem o comportamento espectral igual ou semelhante. Dessa forma, Baptista e Meneses (2009) expressam que a reflectância de cada pixel é entendida como sendo uma combinação linear da reflectância, ou seja, *endmembers*.

O *Linear Spectral Unmixing* é um método de classificação em que determina a abundância relativa dos *endmembers* na composição do pixel mistura (BAPTISTA, 2012). Isto é, estimar a proporção dos componentes em cada pixel (MELLO et al., 2010). De acordo com Baptista e Meneses (2009), não se pode adotar um número de *endmembers* maior que o número de bandas do sensor. A decomposição espectral linear tende a separar os percentuais de cada material, ou seja, de cada *endmember* na composição do pixel, assim gerando um mapa de percentual de cada mineral presente.

### 2.4 Processamento dos dados

O software empregado para processar as imagens escolhidas foi o ENVI 4.8 e o sensor orbital utilizado foi WorldView 2 que possui oito bandas espectrais estreitas. Essas oito bandas estão divididas em: Azul Costal (Coastal), Azul, Verde, Amarelo, Vermelho, Borda do Vermelho (Red-Edge), Infravermelho próximo 1 (NIR-1) e Infravermelho próximo 2 (NIR-2) (DIGITAL GLOBE, 2010; NOVACK et al., 2011). Ele possui 2 m de resolução espacial na faixa óptica e banda bem estreitas na faixa do visível e do infravermelho próximo tendo como objetivo melhor resolução espectral (KUMAR e ROY, 2013).

Para realizar os métodos SAM e o LSU adotou-se como *endmembers* os espectros *Goethite* OH-2A e da *Hematite* O-1A do Jet Propulsion Laboratory (JPL), reamostrando-os para as bandas do sensor WorldView 2. Com o resultado do LSU, foram realizadas composições coloridas colocando a imagem da hematita no canal vermelho, o do erro médio quadrático (RMS) no verde e da goethita no azul. E os ângulos, em radianos, adotados no método SAM foi 0,25 para a hematita e 0,28 para a goethita.

Na área selecionada da cena do WorldView 2 foi realizado um transecto que abrange áreas mais amareladas e mais avermelhadas, afim de analisar os valores de cada pixel pertencente a essa reta, com o intuito de entender qual é a correlação entre esses valores.

### 3. Resultados e Discussão

Os espectros de hematita e goethita da biblioteca do JPL, reamostrados para as bandas do sensor WorldView 2 são apresentados na figura 3. Quanto maior for a resolução espectral do sensor, melhor será a discretização do mineral, ou seja, tendo mais detalhes de qual comprimento de onda ocorre a absorção, mesmo se tratando de sensores multiespectrais. Comparando o espectro do JPL e o espectro reamostrado para o WorldView 2, não perde a feição que diferencia os dois minerais estudados que se localiza na banda do amarelo.

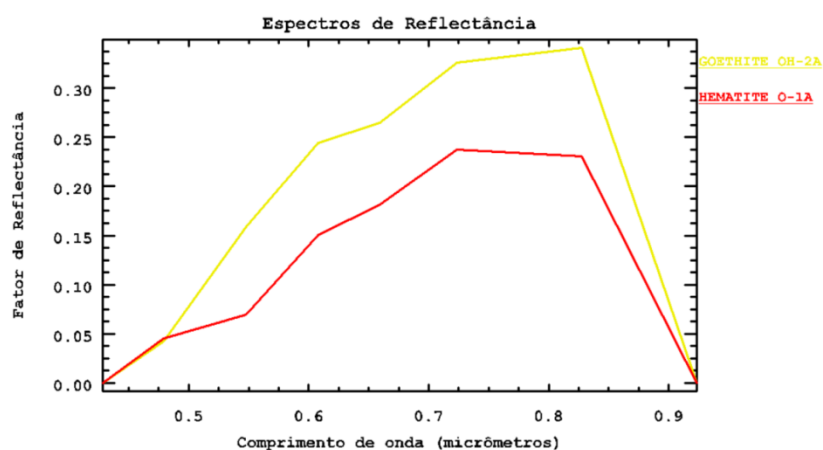


Figura 3: Espectros de hematita e goethita reamostrados para o sensor WorldView 2.

Para analisar cada método de classificação, foi realizado um transecto na área de estudo. O transecto realizado e os resultados do processamento do SAM são apresentados na figura 4.

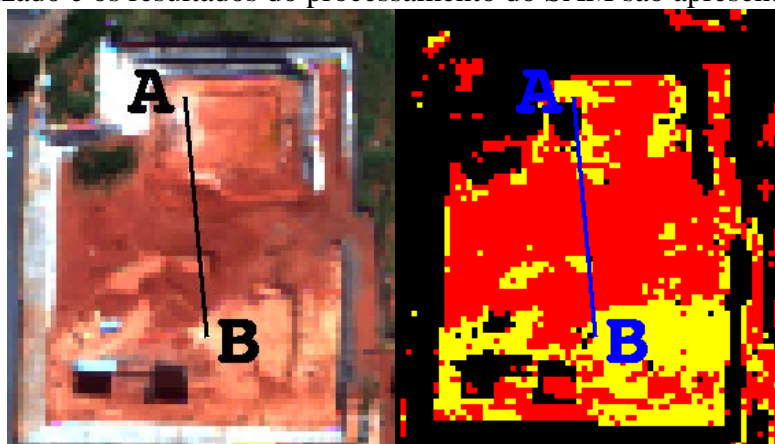


Figura 4: Área estudada e método SAM, respectivamente.

Por meio dos resultados do processamento dos dados e do transecto, foi possível analisar qual a relação entre a goethita e a hematita no método de classificação SAM. O método SAM tem como objetivo observar o pixel e classificá-lo como um dos espectros escolhidos, nesse caso ele foi escolhido como goethita ou hematita de acordo com os espectros da biblioteca espectral de minerais do JPL. Com isso, esse algoritmo gera um mapa identificando os dois minerais analisados. Salienta-se que os pixels amarelos representam pixels com abundância de goethita e os vermelhos, de hematita.

Ele é bastante satisfatório pois comparando com a composição colorida, observa-se que a parte mais amarelada (clara) tem maior presença de goethita e onde é avermelhado (escura)

tem maior presença de hematita. Com isso, o resultado do SAM segue a realidade observada na composição colorida isto é, ele classifica e diferencia corretamente a goethita da hematita.

Para analisar a relação entre hematita e goethita no método LSU, foi realizado também um transecto na área de estudo para observar o coeficiente de correlação entre os dois minerais. O transecto analisado e os resultados do processamento do LSU são apresentados na figura 5.

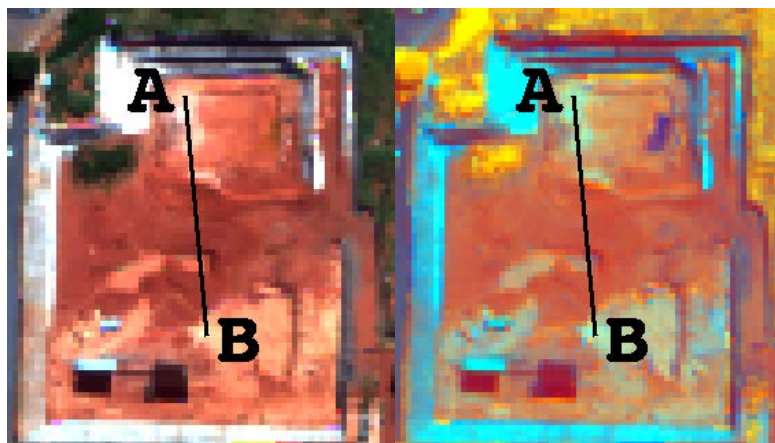


Figura 5: Área estudada e método LSU, respectivamente.

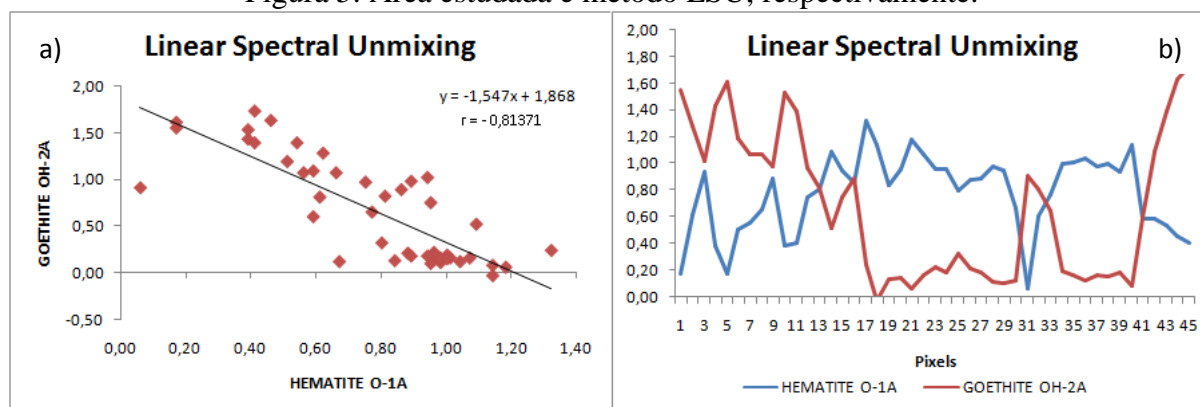


Figura 6: Regressão (a) e o gráfico (b) entre os valores da Goethita e Hematita obtida pelo método LSU.

O resultado da regressão do método de classificação *Linear Spectral Unmixing* foi considerado satisfatório pelo coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ).

Visualizando a figura 6b, isso se deve ao fato de que a abundância do mineral deve ser expressa, por esse método, na forma de percentual, ou seja, variando de 0 a 1. Se ocorre pixels com valores menores que 0 e maior que 1, isso significa que o mineral não foi bem caracterizado ou os membros finais estão ausentes. O gráfico (Figura 6b) plotado do método LSU é bem fiel a sua teoria, observa-se que quando a presença de hematita cresce, a presença de goethita decresce. Pode-se visualizar (Figura 6a) pelo coeficiente de correlação  $r$  que apresentou resultado negativo (indiretamente proporcionais). Essa inversão acontece porque o ambiente hematítico é predominantemente oxidante e os goethíticos são oxi-redutores. Esses resultados corroboram com os encontrados por Baptista e Meneses (2009)

#### 4. Conclusões

O presente estudo permitiu verificar a potencialidade dos dados do sensor WorldView 2 e as técnicas *Spectral Angle Mapper* (SAM) e *Linear Spectral Unmixing* (LSU) para a identificação dos sesquióxidos de ferro.

Além disso, foi possível gerar um mapa identificando a presença da hematita e da goethita na imagem analisada por meio da classificação *Spectral Angle Mapper*. E por meio dos

resultados do *Linear Spectral Unmixing*, pode-se verificar a proporcionalidade negativa entre os dois minerais devido ao ambiente em que eles se encontram.

Novos estudos de investigação mineralógica por meio do WorldView 2 verificando a potencialidade das novas bandas devem ser incentivados.

## 5. Referências Bibliográficas

BAPTISTA, G.M.M. **Caracterização climatológica do Distrito Federal. In: IEMA/SEMATEC/UnB, Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal.** Brasília. Vol. 1, 187-208p. 1998.

BAPTISTA, G.M.M; MENESES, P.R. 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. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, INPE, p. 7655-7662. 2009.

BAPTISTA, G.M.M. Processamento de dados hiperespectrais. In: Meneses,P.R.; Almeida,T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília. CNPQ. 2012.

BARBOSA, I.O.; LACERDA, M.P.C; BILICH, M.R. Relações pedomorfogeológicas nas chapadas elevadas do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:1373-1383, 2009.

BIAS, E.S. BRITES, R.B. SANTA ROSA, A.N.C. Imagens de alta resolução espacial. In: Meneses,P.R.; Almeida,T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília. CNPQ. 2012.

CAMPOS, J.E.G. Hidrogeologia do Distrito Federal: Bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. **Revista Brasileira de Geociências**. 34(1):41-48, março de 2004.

CAMPOS, R.C; DEMATTÊ, J.A.M.; QUARTAROLI, C.F. Determinação indireta do teor de hematita no solo a partir de dados de colorimétrica e radiométrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 4, p. 521-528, abr. 2003.

DALLA NORA E. L. Detecção e monitoramento da soja no Rio Grande do Sul: uma abordagem baseada na dinâmica espectral e fenológica da cultura. **Perspectiva**, Erechim. v.34, n.127, p. 63-71, setembro/2010.

DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, C.N.G.E; DICK, D.P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.2, p.481-489, mar-abr, 2005.

DIGITAL GLOBE. **White Paper: The Benefits of the 8 Spectral Bands of WorldView-2.** Corporate (U.S.) 303.684.4561 or 800.496.1225. 2010.

FERNANDES, R.B.A.; BARRÓN, V. TORRENT, J.; FONTES, M.P.F. Quantificação de óxidos de ferro de latossolos brasileiros por espectroscopia de refletância difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:245-257, 2004.

GALVÃO, L.S.; FORMAGGIO, A.R.; COUTO, E.G.; ROBERTS, D.A. Relationships between the mineralogical and chemical composition of tropical soils and topography fioni hyperspectral remote sensing data. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing** 63 (2008) 259271. 2008.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia e Meio Ambiente.** Editora Bertrand, Brasil, 1996.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Editora Parêntese. 2009.

KUMAR, M.; ROY, P.S. Utilizing the potential of World View -2 for discriminating urban and vegetation features using object based classification techniques. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing** 41(3):711-717 DOI 10.1007/s12524-012-0257-9. 2013.

MADEIRA NETTO, J.S.; BEDIDI, A.; CERVELLE, B.; POUGET, M.; FLAY, N. Visible spectrometric indices of hematita (Hm) and goethite (Gt) content in lateritic soils: the application of Thematic Mapper (TM) image for soil-mapping in Brasília, Brazil. **International Journal of Remote Sensing.** London, v.18, p.2835-2852, 1997.

MELLO, M.P.; RUDORFF, B.F.T; VIEIRA, C.A.O.; AGUIAR, D.A. Classificação automática da colheita da cana-de-açúcar utilizando modelo linear de mistura espectral. **Revista Brasileira de Cartografia** No 62/02, 2010.

MADEIRA NETTO, J.S.; BAPTISTA, G. M. M. **Reflectância Espectral de Solos**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2000. v. 200. 55p.

NOVACK, T.; RIBEIRO, B.M.G.; KUX, H.J.H. Análise dos dados do satélite WorldView-2 para a discriminação de alvos urbanos semelhantes com base em algoritmos de seleção de atributos. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, INPE p.7815. 2011.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4ª edição. Editora Blucher. 2010.

SHERMAN, D.M.; WAITE, T.D. Electronic spectra of Fe<sup>3+</sup> oxides and oxide hydroxides in the near IR to near UV. **American Mineralogist**. V.70, p.1262-1269, 1985.

VALÉRIO, A.M.; KAMPEL, M.; STECH, J.L. Aplicação da técnica SAM (Spectral Angle Mapper) para dados hiperespectrais do corpo de água do reservatório de Manso, MT. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 7933-7940.