

Revista Brasileira de Cartografia (2016), N° 68/8: 1541-1551  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## DISCRETIZAÇÃO ESPACIAL DOS ÓXIDOS DE FERRO, POR MEIO DE ALGORITMOS E ÍNDICE ESPECTRAL EM DADOS DO SENSOR WORLDVIEW II

*Spatial Discretization of Iron Oxide by Means of Algorithms and Spectral Indices in Worldview II Data*

**Débora Teobaldo & Gustavo Macedo de Mello Baptista**

**Universidade de Brasília – UnB  
Instituto de Geociências – IG**

Caixa Postal: 04386 - 70910-900 - Asa Norte, Brasília, DF, Brasil  
deborateobaldo@gmail.com; gmbaptista@unb.br

*Recebido em 20 de Abril, 2016/ Aceito em 22 de Junho, 2016  
Received on April 20, 2016/ Accepted on June 22, 2016*

### RESUMO

Os solos tropicais são ricos em óxidos de ferro, principalmente a hematita (Hm) e a goethita (Gt) e sua relação determina o caráter pedohídrico da região. O presente estudo tem como objetivo identificar os óxidos de ferro dos solos tropicais no Distrito Federal por meio da técnica *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Linear Spectral Unmixing* (LSU) e índice espectral RHG<sub>tPF</sub> com os dados do sensor WorldView II. O SAM é um método de classificação espectral que se baseia no ângulo espectral entre o espectro de referência e o espectro do pixel da imagem. O *Linear Spectral Unmixing* é um método de decomposição da mistura espectral que determina a abundância relativa dos endmembers na composição do pixel. O índice RHG<sub>tPF</sub> determina a relação Hm/Hm+Gt por meio da profundidade da feição espectral dos minerais integrados. O resultado do SAM foi satisfatório porque ele classificou corretamente os dois minerais. O resultado do LSU mostrou que a correlação entre os dois minerais é inversa devido a diferença química e geomorfológica do meio ambiente. O índice RHG<sub>tPF</sub> quantificou e identificou os minerais óxidos de ferro. Novos estudos devem ser incentivados para melhor compreensão da cobertura pedológica.

**Palavras Chave:** Hematita, Goethita, Decomposição Espectral Linear, Classificação por Ângulo Espectral.

### ABSTRACT

The tropical soils are rich in iron oxides, hematite (Hm) and goethite (Gt) and their relationship presents the pedohydric state of the region. The aim of this study is to identify iron oxides in soil in Distrito Federal, by means of *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Linear Spectral Unmixing* (LSU) and the RHG<sub>tPF</sub> spectral index with the WorldView II data. The SAM is a spectral classifying method, which is based on the spectral angle between the endmember and the pixel. The *Linear Spectral Unmixing* is a spectral decomposition method that determines the relative abundance of endmembers in pixel composition. The RHG<sub>tPF</sub> index determines the ratio Hm/Hm + Gt by means of the spectral feature depth of integrated minerals. The result of the SAM was satisfactory because it correctly classified the two minerals. The result of the LSU showed that the correlation between the two minerals is reversed due to chemical and geomorphology difference of the environment. The RHG<sub>tPF</sub> index quantified and identified minerals iron oxides. Further studies should be encouraged to better understand the soil cover.

**Keywords:** Hematite, Goethite, Linear Spectral Unmixing, Spectral Angle Mapper.

## 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 (PORTO, 1996).

A degradação química é mais acelerada nesses ambientes, devido à presença de água, podendo resultar em solos altamente intemperizados e em minerais secundários (PORTO, 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).

A compreensão da relação entre os óxidos e hidróxidos de ferro permite a aplicação localizada de insumos agrícolas, o que maximiza a produtividade e reduz impactos decorrentes da lixiviação de nutrientes. Além disso, permite também a verificação do caráter pedohídrico, ou seja, se parte da região apresenta o lençol freático mais próximo à superfície ou mais profundo, o que permite caracterizar ambientes de oxidação, de oxirredução ou redução e posterior desferriificação.

Portanto, esses óxidos de ferro devem se diferenciar por suas assinaturas ou feições espectrais em comprimentos de onda específicos de acordo com suas transições eletrônicas (BAPTISTA & 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 & 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 óxidos de ferro dos solos tropicais no Distrito Federal por meio da técnica *Spectral Angle Mapper* (SAM), *Linear Spectral Unmixing* (LSU) e índice espectral  $\text{RHGt}_{\text{PF}}$  (TEOBALDO & BAPTISTA, 2016) com os dados do sensor WorldView II. 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

Para realização do presente estudo foi necessária a realização das seguintes etapas metodológicas: determinar a área de estudo nos dados WorldView II que apresentassem variação mineralógica; aplicação do SAM e do LSU a partir de endmembers da biblioteca espectral do JPL reamostrados para o WV II e aplicação do índice espectral  $\text{RHGt}_{\text{PF}}$ ; e comparação e análise estatística de transectos.

### 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 imageada no dia 8 de maio de 2010 pelo sensor WorldView II em uma composição colorida R5G4B3.

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 óxidos de ferro, como a goethita ( $\text{FeOOH}$ ) e hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (BAPTISTA & MENESES, 2009).

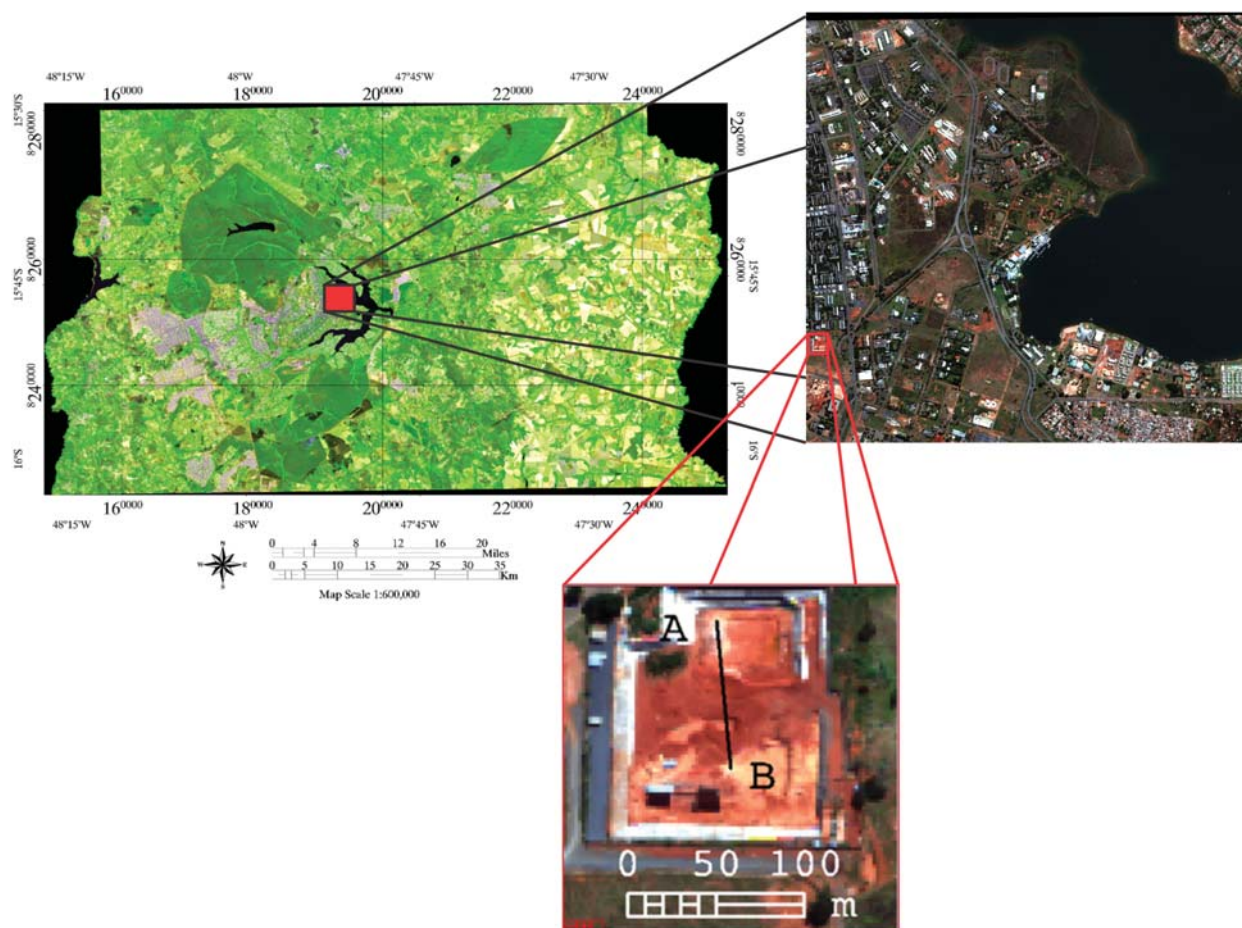


Fig.1 - Localização da área estudada.

A imagem da Figura 1 apresenta gradações de solos mais avermelhados (hemáticos) e mais amarelados (goethíticos), no qual 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

(BAPTISTA, 2012). Essa comparação é feita por meio do ângulo entre o espectro de referência (*endmember*), ou seja, da biblioteca (Figura 2), com cada pixel da imagem (VALÉRIO *et al.*, 2009), e ângulos pequenos significa bons ajustes entre os dois espectros. Os espectros são tratados como vetores em um espaço “n” dimensional, no qual “n” é o número de bandas espectrais (BAPTISTA, 2012). Maior será a probabilidade da existência do material de referência no pixel da imagem, quanto melhor for o ajuste (DALLA NORA *et al.*, 2010).

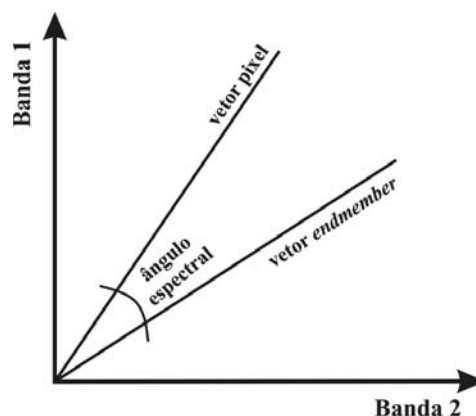


Fig. 2 - Ângulo espectral entre curvas espectrais de dois materiais diferentes (A e B) medido pelo SAM.

Esse método tem como resultado uma imagem SAM, na qual 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 (BAPTISTA, 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 *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 Índice RHGt<sub>PF</sub>

Salienta-se que o procedimento de remoção do contínuo espectral gera valores de reflectância normalizados entre 0 a 1 para que seja possível a comparação de feições de absorção individuais dos minerais a partir de um valor de base comum (BREUNING, 2007).

Sabendo-se disso, aplicou-se o índice espectral RHGt<sub>PF</sub> (TEOBALDO & BAPTISTA, 2016) desenvolvido a partir da profundidade das feições espectrais obtido em espectros com o contínuo espectral removido, testando a nova banda do visível que é a banda da região do azul costal. Esse índice é descrito na equação 1:

$$RHGt_{PF} = \frac{IHm}{IHm + IGt} \quad (1)$$

Sendo que,

$$IHm = 1 - WV3 \quad (2)$$

WV3 = banda 3 da região do verde do WVII

$$IGt = 1 - WV2 \quad (3)$$

WV2 = banda 2 da região do azul do WVII

A Figura 3 mostra a explicação e o detalhe o índice RHGt<sub>PF</sub>.

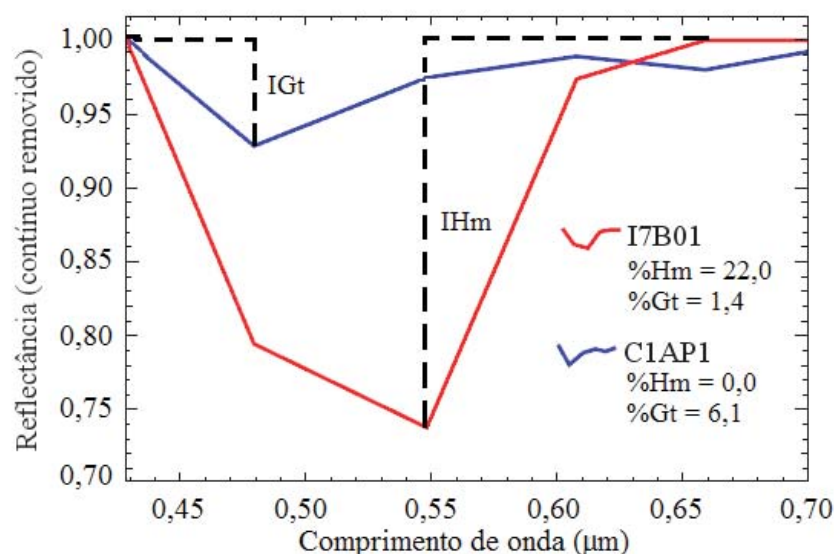


Fig. 3 - Índice RHGt<sub>PF</sub> (BAPTISTA & TEOBALDO, 2016).

## 2.5 Processamento dos dados

O software empregado para processar as imagens escolhidas foi o ENVI 4.8 e o sensor orbital utilizado foi WorldView II 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 & ROY, 2013).

No pré-processamento, realizou a correção atmosférica pelo programa ATCOR 2/3 (*Atmospheric and Topographic Correction for Satellite Imagery*) que gera dados em reflectância de superfície. Esse programa é baseado no modelo MODTRAN 4 (*Moderate Resolution Atmospheric Transmission*) para realizar os cálculos de transmitância da atmosfera (SOARES *et al.*, 2015).

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 funções de ganho dos detectores do sensor WorldView II.

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.

O índice RHG<sub>TPF</sub> foi realizado na imagem, já com o contínuo removido, e comparou-se o resultado com os dados percentuais do *Linear Spectral Unmixing*. Os resultados dos percentuais de hematita e goethita foram usados para calcular a relação Hm/Hm+Gt com base nos resultados do LSU.

Na área selecionada da cena do WorldView II 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 II são apresentados na Figura 4. 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 II, não perde a feição que diferencia os dois minerais estudados que se localiza na banda do amarelo.

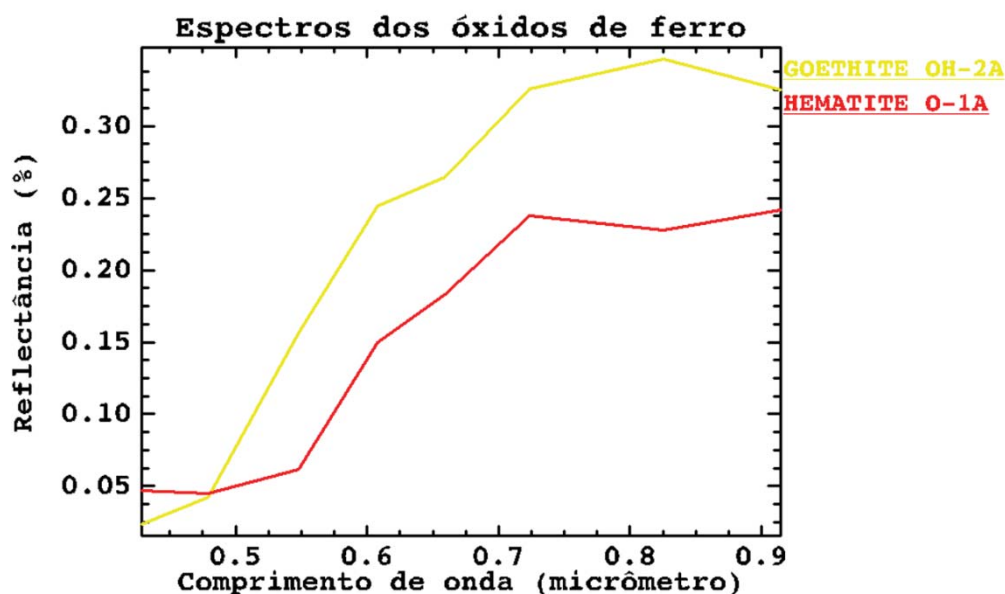


Fig. 4 - Espectros de hematita e goethita reamostrados para o sensor WorldView II.

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 5.

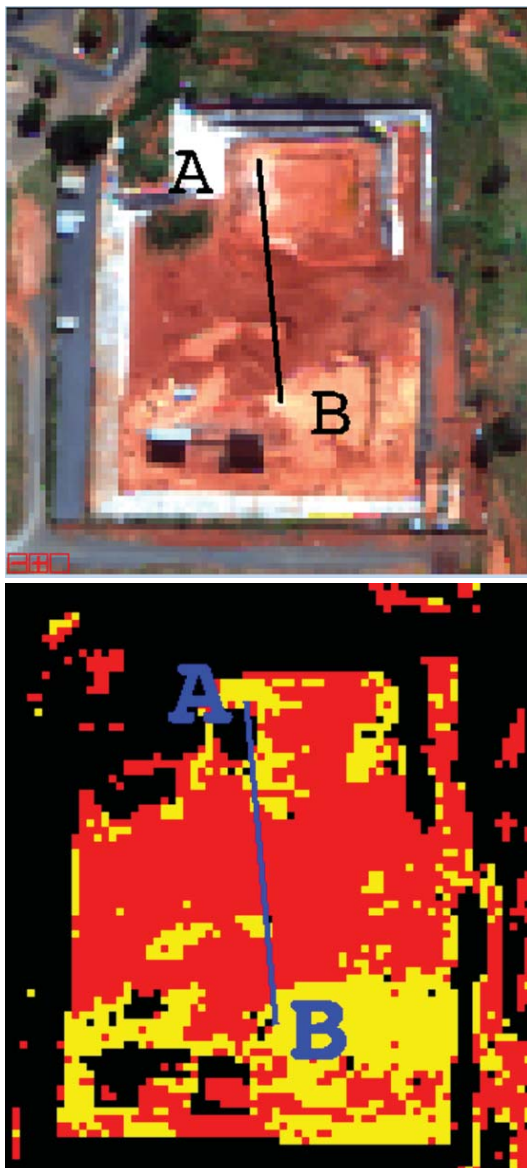


Fig. 5 - Área estudada e método SAM, respectivamente.

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. Isso confirma a teoria de que a presença dos óxidos de ferro está ligada a cor dos solos (CAMPOS *et al.*, 2003; FERNANDES *et al.*, 2004; DALMOLIN *et al.*, 2005; BARBOSA *et al.*, 2009). 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 6.

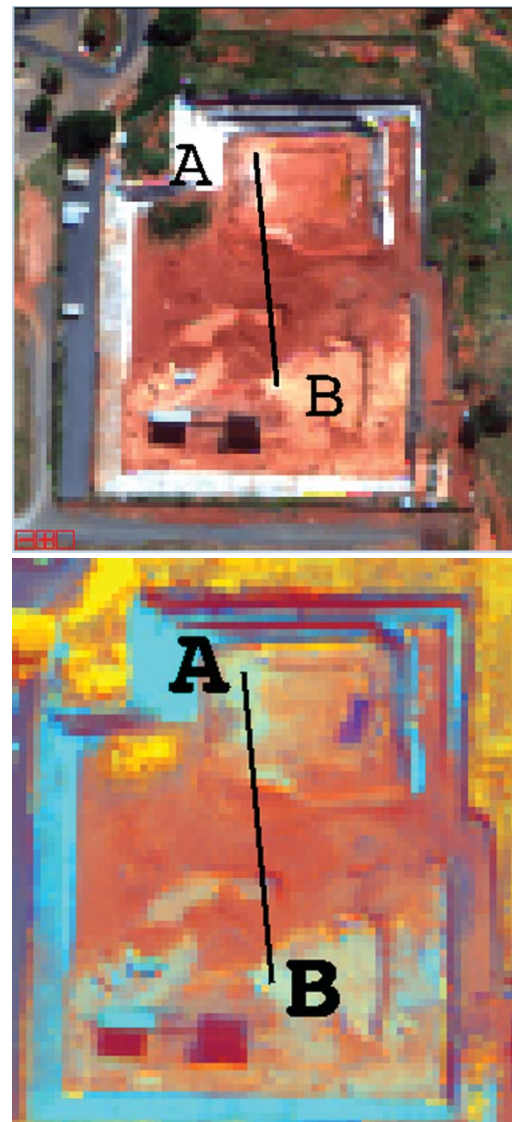


Fig. 6 - Área estudada e método LSU, respectivamente.

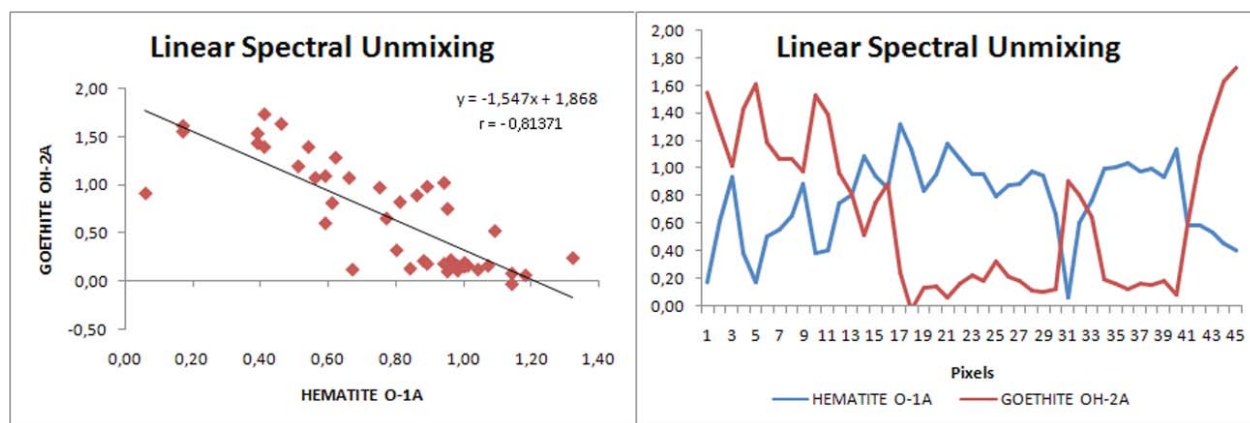


Fig. 7 - Regressão (a) e o gráfico (b) entre os valores da Goethita e Hematita obtida pelo método LSU.

O resultado da regressão do método de classificação *Linear Spectral Unmixing* foi considerado satisfatório (Figura 7a) pelo coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ).

Visualizando a Figura 7b, 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.

Estudos demonstram que os óxidos de ferro estão relacionados a cor do solo e ao regime pedohídrico da região (INDA JUNIOR & KÄMPF, 2005; CAMARGO *et al.*, 2008; REATTO *et al.*, 2008; BAPTISTA & MENESES, 2009; BARBOSA *et al.*, 2009; CAMPOS *et al.*, 2010; BAPTIST *et al.*, 2011; SILVA JUNIOR *et al.*, 2012).

Isso significa que há uma relação entre os óxidos de ferro com a geomorfologia, com o nível do lençol freático e com os diferentes estados químicos de oxirredução, ou seja, a presença da água no solo influencia na sua cor (REATTO *et al.*, 2008).

Isso também é explicado por Melo *et al.* (2001) que estudaram a relação dos teores de hematita e a água e observou uma correlação inversa. Campos *et al.* (2010), estudando a topossequência de latossolos, observaram que os solos mais vermelhos estavam associados a locais mais oxidados, mais elevados e de melhor drenagem interna enquanto os solos mais amarelados estavam em ambientes oxi-redutores, mais úmidos e nas bordas de relevo.

O gráfico obtido do método LSU é bem fiel a essa teoria, observa-se que quando a presença de hematita cresce, a presença de goethita decresce.

Pode-se visualizar pelo coeficiente de correlação  $r$  que apresentou resultado negativo (inversamente proporcionais). Essa inversão acontece porque o ambiente hematítico é predominantemente oxidante e os goethíticos são oxi-redutores.

Os resultados dos percentuais dos minerais goethita e hematita gerados pelo algoritmo LSU foram utilizados para calcular a relação  $Hm/Hm+Gt$  e com isso comparou-se essa relação com o índice  $RHGt_{PF}$  no mesmo transecto.

A regressão entre a relação  $Hm/Hm+Gt$  utilizando os dados do LSU e o índice  $RHGt_{PF}$  foi considerado forte positiva pela tabela de avaliação qualitativa da correlação de Pearson para o coeficiente de correlação ( $r$ ) sendo aproximadamente 0,87. A Figura 8 mostra a regressão entre esses dados.

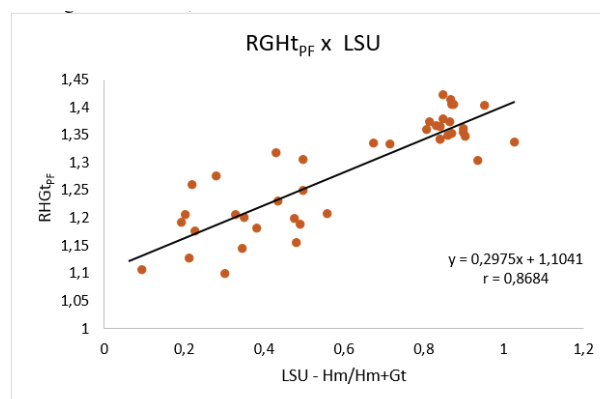


Fig. 8 - Regressão entre a relação  $Hm/Hm+Gt$  utilizando os dados do LSU e o índice  $RHGt_{PF}$

Índices espectrais e razão de bandas são muito estudados para a classificação de imagens dependendo da curva espectral do objetivo em estudo. Mia e Fujimitsu (2012) utilizou a razão de bandas 3/1, 5/7 e 5/4 do sensor Landsat 7 ETM<sup>+</sup> para descobrir óxidos de ferro, minerais contendo

hidroxila e óxidos ferrosos, respectivamente e gerou uma composição colorida com essas razões de bandas. Deller (2006) também utilizou razão de bandas e composição colorida para mapear minerais e observou que a banda verde do Landsat TM, distingue melhor os óxidos de ferro devido a diferença de reflectância nessa região.

Salienta-se que o índice  $RHGt_{PF}$  pode quantificar a relação de  $Hm/Hm+Gt$  tendo em vista sua profundidade de feição localizada na região do visível. Para melhor visualização pode-se separar em intervalos os quais podem diferenciar a quantidade dos óxidos de ferro, como foi feito por Baptista *et al.* (2011).

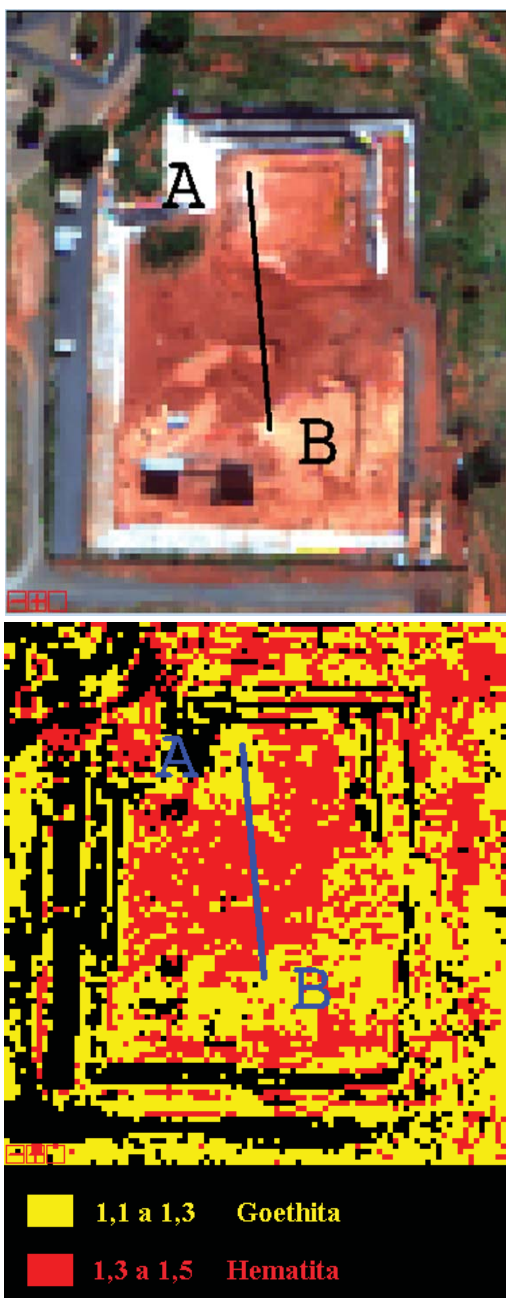


Fig. 9 - Área estudada e aplicação do índice  $RHGt_{PF}$ .

No resultado do índice  $RHGt_{PF}$  foi aplicado a técnica *density slice* que permitiu dividir e demonstrar a presença dos dois óxidos de ferro separadamente. Para a identificação da goethita o intervalo utilizado varia de 1,1 a 1,3 e para a hematita de 1,3 a 1,5 como pode ser observado na Figura 9, que apresentou resultado bem semelhante ao obtido com o algoritmo SAM. Os valores mais altos do índice  $RHGt_{PF}$  são ambientes hematíticos e os valores baixos são ambiente goethíticos (Figura 10).

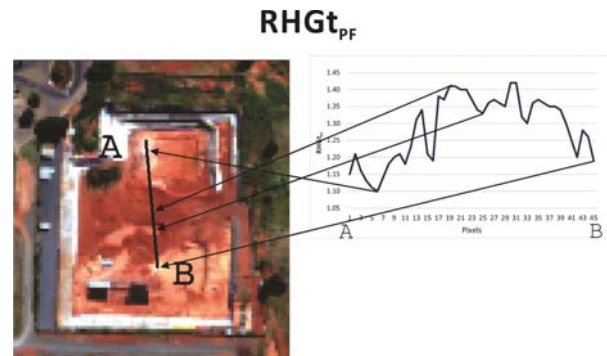


Fig. 10 - Análise dos locais com hematita (mais altos no gráfico) e com goethita (mais baixos) no transecto e na imagem estudada.

O resultado pode ser comparado visualmente com a figura original da área estudada. E da mesma forma com a imagem do algoritmo *spectral angle mapper*. Isso certifica a teoria de que ambientes mais goethíticos possuem a cor amarela e ambientes mais hematíticos a cor vermelha (BOTELHO *et al.*, 2006) como mostra a figura original comparando com o índice  $RHGt_{PF}$ .

#### 4. CONCLUSÕES

Por meio da classificação *Spectral Angle Mapper*, foi possível identificar a presença da hematita e da goethita na imagem analisada.

Com o algoritmo *Linear Spectral Unmixing*, pôde-se verificar a inversão de proporcionalidade entre a hematita e a goethita devido aos seus diferentes níveis de oxidação e ao regime pedohídrico.

O índice  $RHGt_{PF}$  obteve forte correlação entre a relação  $Hm/Hm+Gt$  com os dados percentuais do LSU. Isso demonstra que ele é um bom índice para identificar e quantificar os minerais estudados.

O resultado do índice  $RHGt_{PF}$  separa visualmente bem a relação mineralógica  $Hm/$



Hm+Gt, sendo os valores mais elevados associados a ambientes de oxidação (hematíticos) e os mais baixos, a ambientes de oxirredução (goethíticos).

E isso foi possível, graças ao fato de o sensor WorldView II apresentar várias bandas na região do VNIR.

Novos estudos devem ser incentivados visando uma melhor compreensão da cobertura pedológica, o que trará contribuições significativas, principalmente na aplicação diferenciada de insumos.

## 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. Processamento de dados hiperespectrais. *In: MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. Brasília. CNPQ. 2012.

BAPTISTA, G.M.M.; CORRÊA, R.S.; SANTOS, P.F. MADEIRA NETTO, J.S.; MENESES, P.R. Use of Imaging Spectroscopy for Mapping and Quantifying the Weathering Degree of Tropical Soils in Central Brazil. DOI:10.1155/2011/641328. *Applied and Environmental Soil Science*. 2011. 1-7p.

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.

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.

BOTELHO, M.R.; DALMOLIN, R.S.D.; PEDRO, F.A.; AZEVEDO, A.C.; RODRIGUES, R.B.; MIGUEL, P. Medida da cor em solos do Rio Grande do Sul com a carta de Munsell e por colorimetria. *Ciência Rural*, v.36, n.4, jul-ago,

2006. 1179-1185pp.

BREUNIG, F. M.; CAMARGO, F. F.; ADAMI, M.; MANTELLI, L. R.; COSTA, M. C.; PONZONI, F. J.; FREITAS, J.G. Aplicação da técnica de remoção do contínuo para a discriminação espectral de diferentes dosagens de Nitrogênio aplicadas ao trigo (*Triticum aestivum*, L.- IAC-370). *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 91-98, 21-26 abril 2007.

CAMARGO, L.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; HORVAT, R.A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um latossolo sob diferentes formas do relevo. I - mineralogia da fração argila. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 32:2269-2277, 2008.

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

CAMPOS, P.M.; LACERDA, M.P.C.; LOPES SILVA, C.; CAROLINO SÁ, M.A.; GOMES SOUSA, D.M. Drenagem interna como fator de diferenciação de Latossolos do Distrito Federal. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.45, n.3, p.306-314, mar. 2010.

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. 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.

DELLER, M.E.A. Facies discrimination in laterites using Landsat Thematic Mapper, ASTER and ALI data - examples from Eritrea and Arabia. *International Journal of Remote Sensing* Vol. 27, No. 12, 2389-2409pp., 20 June 2006.

- 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: 245-257pp., 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 from hyperspectral remote sensing data. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing** 63 (2008) 259-271pp. 2008.
- PORTO, C. G. Intemperismo em Regiões Tropicais. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (org.) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand, Brasil, 1996. 25-57pp.
- INDA JUNIOR, A.V.; KÄMPF, N. Variabilidade de goethita e hematita via dissolução redutiva em solos de região tropical e subtropical. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 29:851-866, 2005
- JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Editora Parêntese. 2009. 598p.
- 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 hematite (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** N° 62 (2), p. 181-188, 2010.
- MELO, V. F.; FONTES, M. P. F.; NOVAIS, R. F.; SINGH, B.; SCHAEFER, C. E. G. R. Características dos óxidos de ferro e de alumínio de diferentes classes de solos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 25:19-32, 2001.
- MIA, M. B.; FUJIMITSU, Y. Mapping hydrothermal altered mineral deposits using Landsat 7 ETM+ image in and around Kuju volcano, Kyushu, Japan. **Indian Academy of Sciences. Journal of Earth System Science**, 121, No., pp. 1049-1057. 2012.
- 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.7815-1821. 2011.
- REATTO, A.; BRUAND, A.; MARTINS, E.S.; MULLER, F.; MEDRADO DA SILVA, E.; CARVALHO JR, O.A.; BROSSARD, M. Variation of the kaolinite and gibbsite content at regional and local scale in Latosols of the Brazilian Central Plateau. **Comptes Rendus Geoscience** 340 (2008) 741-748pp. 2008.
- 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, pp.1262-1269, 1985.
- SILVA JUNIOR, J.F.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMARGO, L.A.; TEIXEIRA, D.B.; PANOSS, A.R.; PEREIRA, G.T Simulação geoestatística na caracterização espacial de óxidos de ferro em diferentes pedoformas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:1690-1703pp. 2012.
- SOARES, F. S.; KALAF DE ALMEIDA, R.; RUBIM, I. B.; BARROS, R. S.; CRUZ, C. B. M.; MELLO, G. V.; BAPTISTA NETO, J. A. Análise comparativa da correção atmosférica de imagem do Landsat 8: o uso do 6S e do ATCOR2. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, INPE, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015. 1821-1828pp.
- TEOBALDO, D.; BAPTISTA, G.M.M. Potencialidade do sensor WorldView II para detecção de hematita e goethita em solos

tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2016 (Submetido).

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.