

Estimativa de Teores de Hematita em Latosolos com Imagens TM

JOSÉ DA SILVA MADEIRA NETTO¹

MARCEL POUGET²

ALI BEDIDI³

BERNARD CERVELLE³

¹EMBRAPA-CPAC

Km 18 da Br 020

73300 Planaltina DF

²ORSTOM-Centre de Bondy

70 Route D'Aulnay

93140 Bondy - França

³Universidade de Paris VI

Lab. de Minéralogie et Cristallographie

4, Place Jussieu

75252 Paris - França

Abstract. In a previous work, a hematite index ($I_{Hm} = TM3^{2*}TM1/TM2^3$) was developed based on a diffuse reflectance study. This index was proved to be in good correlation with hematite content of soils when applied to laboratory data. In this paper I_{Hm} is calculated from TM data of the dry season image of the Brasília region (221-71) for bare soils. The values obtained were compared with the Redness Rating (RR) for 220 points distributed over nearly 1000 Km². Good correlations were found between I_{Hm} and RR ($R = 0,907$). Classification of I_{Hm} image allowed the retrieval of pedological zones of different Hm content in the testing area: red-yellow latosols very poor in hematite in the flat southern tablelands (PADF); dark-red latosols of high hematite content in the flat tablelands of the north, and the dark-red and red-yellow latosols of medium Hm content of the rolling landscape in the Rio Preto Basin. Furthermore, changes of the I_{Hm} within soil sequences, in the image, are in accordance with those of the redness rating in the field, showing that spatial resolution of TM is compatible with toposequence variations of latosols.

Introdução

As imagens de satélite tem sido utilizadas em estudos pedológicos sobretudo de maneira indireta, procurando-se relacionar os solos atributos aos atributos da imagem caracterizadores das unidades da paisagem. A impressão de relevo dada pelos eixos de drenagem e pelas sombras determinadas pelas diferenças topográficas, a natureza e o estado da vegetação natural etc..., em muito colaboram para isto. As características intrínsecas da reflectância dos solos não são levadas em conta neste tipo de análise de imagens, e as cartas assim produzidas são essencialmente de unidades de paisagem ou de associações de unidades pedológicas tais como as cartas de "sistemas de terra" de Cochrane et al (1985). Uma utilização mais adequada dos dados de imagens de satélites para estudos de solos está limitada, em função do relativo desconhecimento das relações entre as propriedades definidoras das classes de solos e as informações registradas pelos sensores.

Os latosolos, o mais importante dos solos brasileiros tanto pela superfície ocupada, como pela potencialidade de uso agrícola, são classificados essencialmente em função de critérios mineralógicos, ou decorrentes da mineralogia, como por exemplo a côr (Camargo et al 1987). Neste caso é a mineralogia dos óxidos de ferro o fator preponderante.

Recentemente alguns autores tem demonstrado a existencia de relações entre índices derivados dos canais da porção visível do espectro e características ligadas à presença de óxidos de ferro. Roquin et al (1988) e Dandjinou (1988) fazem referencia a um índice derivado dos canais SPOT XS1 e XS2 util para a discriminação de couraça laterítica dos solos adjacentes. Fraser (1991) propõe a utilização da razão TM3/TM1 para discriminar os solos à predominancia de hematita daqueles à predominância de goethita. Entretanto os índices propostos restam empíricos e qualitativos

Os trabalhos de Torrent e seus colaboradores [Torrent et al (1980) e (1983), Barron e Torrent, (1986)] mostrando a relação entre parâmetros colorimétricos (portanto ligados à reflectância dos solos) e teores de hematita lançam a possibilidade de utilização dos dados coletados pelos satélites de observação da terra para estimar os teores de hematita nos solos.

Mais recentemente, Madeira Netto (1991) utilizando dados de reflectância difusa de amostras de solo, mostrou que os valores de reflectância correpondentes aos canais do visível, podem ser combinadas para definição de um índice (índice hematita) que se correlaciona muito bem ($r=0,991$) com aquele proposto por Barron et al (1986) para a estimativa dos teores de hematita dos solos. Neste trabalho discute-se a persistencia destas relações para dados de uma imagem de satélite e observações de campo.

Materiais e Métodos

A metodologia utilizada contempla duas fases:

A primeira consistiu em estudar relações quantitativas entre os teores de hematita e as características de reflectância de um conjunto de 56 amostras de solos compreendendo em sua maioria latosolos. Alguns solos gley foram incluídos de maneira a cobrir um intervalo de teores de hematita na fração granulométrica inferior à 50 μm variando de 0% à cerca de 20%. Foram realizadas medidas do fator de reflectância difusa espectral entre 400 e 2500 nm, utilizando-se de um espectrofotometro de reflexão difusa. Os valores de reflectância correspondentes às bandas espectrais do sensor TM, levando-se em consideração as curvas de resposta do sensor, conforme Markham et al (1985) foram calculados assim como os valores dos parâmetros colorimétricos do sistema CIE (x, y, Y%). Partindo-se do Índice de Vermelho determinado por Barron et al (1986) que guarda boa correlação com os teores de hematita dos

solos, derivou-se [Madeira Netto, (1991)]. um índice baseado nas bandas TM1, TM2 e TM3 denominado IHm (índice de hematita) e que não será objeto de maior desenvolvimento neste artigo. Este índice guarda boa correlação com os teores de hematita e apresenta a seguinte formulação:

$$IHm = \frac{TM3^2 * TM1}{TM2^3}$$

O segundo componente metodológico consistiu em aplicar este índice radiométrico à uma imagem de satélite TM. Foi selecionada a cena 271-71 que inclui a região de Brasília. A escolha desta área se deve à ocorrência de zonas extensas com cultivos anuais que durante parte do ano apresenta a superfície do solo exposta, permitindo assim o registro de suas características pelos sensores dos satélites. Foi selecionada uma imagem de 10 de outubro de 1987, que corresponde ao fim da estação seca quando as áreas agricultadas estão preparadas para plantio. Neste momento a superfície do solo está exposta e as condições de umidade são relativamente uniformes devido ao período de quase 6 meses de estiagem que caracteriza o clima regional. Ainda, nesta região estão presentes solos que apresentam variações importantes quanto a mineralogia dos óxidos de ferro, em condições de relevo plano a suave ondulado.

A parte leste do Distrito Federal onde se concentram as superfícies cultivadas mais extensas foi tomada como área teste. Nesta zona foram realizadas observações referentes à cor do solo e à cobertura vegetal durante o mês de agosto de 1987. Foram amostrados 220 pontos no interior desta zona teste, sendo tomada a cor do solo com o auxílio de um código de Munsell para cada uma das amostras. Estes pontos foram selecionados de maneira a possibilitar sua localização precisa sobre a imagem: cruzamentos de estradas, cantos de áreas cultivadas, etc... Alguns destes pontos foram amostrados em posições toposequenciais

de maneira a possibilitar a verificação das variações laterais próprias às coberturas pedológicas da região. Devido ao custo elevado das análises, os teores de hematita para o conjunto das amostras não foi determinado quimicamente. Utilizou-se o índice de vermelho ("redness rating" = IR(MUN)) [Torrent et al, (1983)] para estimar os teores de hematita das amostras, à partir da cor Munsell, dado pela expressão:

$$R(MUN) = \frac{(H-10)*C}{V}$$

onde :

H = valor obtido à partir da matiz da cor: atribui-se o valor 0 para matizes igual ou mais amarelas que 10YR e iguais aos valores numéricos da notação da Matiz (7,5 para 7,5YR por exemplo)

C = Cromo da cor Munsell

V = Valor da cor Munsell

Resultados e Discussão

A imagem utilizada - cena TM 221-71 tomada em 10 de outubro de 1987 cobre a totalidade da área teste, (parte este do Distrito Federal) e não apresenta neste setor indicação de ocorrências atmosféricas com consequências sobre a uniformidade do sinal registrado.

As zonas com solos nus são perfeitamente distinguíveis das parcelas com vegetação (pastagens, culturas, ou vegetação nativa). Um trabalho de campo realizado à época da tomada da imagem permitiu a identificação de áreas de treinamento, o que facilitou na classificação das áreas com solos nus, sendo em seguida aplicada uma máscara para isolá-los dos demais temas. As manchas de solos nus aparecem de maneira geral como extensas áreas contínuas, geralmente de algumas centenas de hectares, traduzindo a realidade da região, onde as áreas de chapadas e as zonas de dissecação intermediária são intensivamente plantadas com grãos. No total, cerca de 20% da área teste apresentava-se com

área sem vegetação. Na época da tomada da imagem as terras estão sendo preparadas para plantio. As arações e gradagens sucessivas enterram os restos culturais e a vegetação espontânea, deixando a superfície dos solos exposta.

A imagem mascarada, foi utilizada para o cálculo do Índice de hematita (IHm). Os valores obtidos foram multiplicados por 100000 para que todos os valores fiquem compreendidos entre 0 e 255.

Resultados de análises mineralógicas realizadas com amostras tomadas nos horizontes superficiais dos solos mostram teores variando de cerca de 9% até 0% de hematita em relação à soma de argila e silte. Solos apresentando estas diferenças ocorrem tanto em zonas geograficamente bem distintas como pode ser verificado na carta pedológica do Distrito Federal [BRASIL (1973)], como em toposequências [Macedo et al (1987)]. Estes dois níveis de variações foram aproveitadas na verificação da adequação do IHm para estimar as variações dos teores de hematita dos solos, através de comparações dos resultados obtidos com a cartografia existente, e com as variações toposequenciais.

A figura 1 mostra a correlação obtida entre os valores do índice de hematita calculado com os canais TM1, TM2, e TM3 da imagem e os valores do índice de rougeur de Torrent et al(1983). A análise de regressão mostra que o modelo linear explica a relação entre as duas variáveis ao nível de 1% de confiança. O coeficiente de determinação mostra que mais de 80% da variância do índice de Torrent medidos no campo são explicados pela variação do índice de hematita medidos com os dados imagem.

Para efeito de comparação com a carta pedológica do D.F., os valores da imagem IHm foram fatiados em 5 intervalos correspondendo a teores de hematita de 0%, 0 a 2%, 2 a 5% 5 a 8% e superior a 8%. A imagem obtida traduz bem a relidade dos solos da zona teste. Ao norte, nas chapadas correspondendo aos divisores de

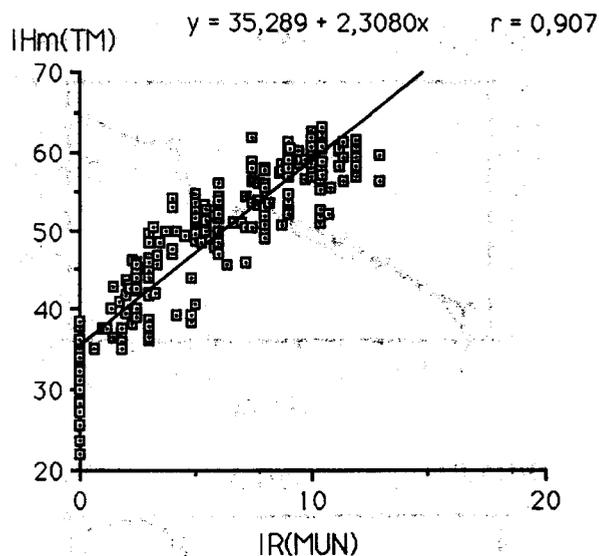
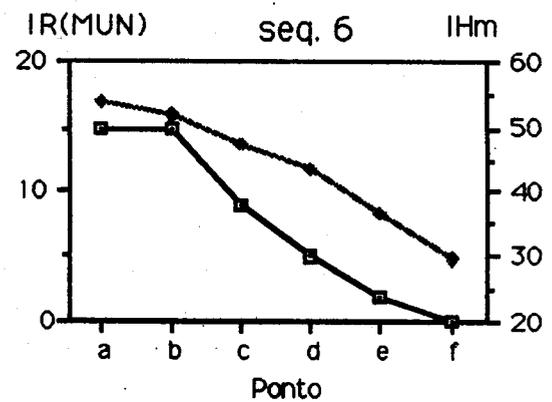
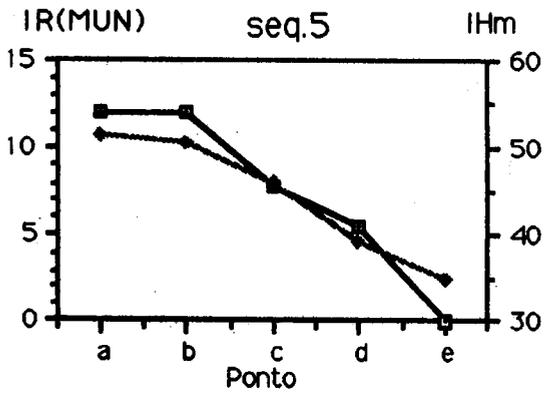
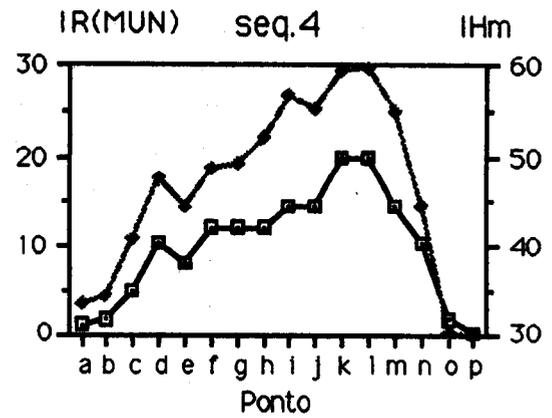
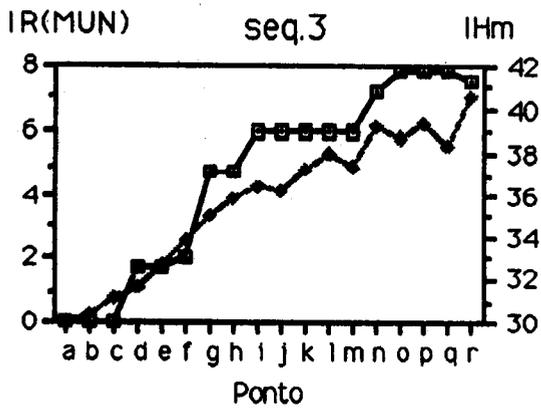
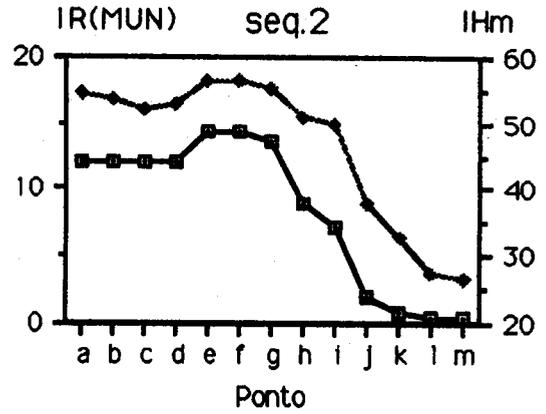
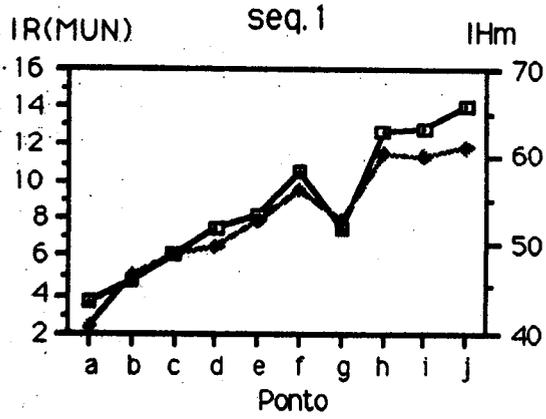


Figura 1. Relação entre o índice de vermelho (IR(MUN)) calculado com os parâmetros colorimétricos de Munsell segundo TORRENT et al (1983) e o índice de hematita calculado com os dados TM.

águas dos rios Taquara e Preto são encontradas as áreas com os solos mais ricos em hematita. São os latossolos vermelho - escuros que ocorrem em áreas de relevo plano a suave ondulado, de textura muito argilosa e muito boa drenagem interna com perfis que atingem normalmente mais de cinco metros. No outro extremo ocupando as chapadas do PADF situadas ao sul da área teste estão os latossolos vermelho - amarelos com textura argilosa e muito argilosa ocorrendo também em relevo plano. Os perfis tem uma profundidade característica de 2 à 3 metros. Aí os teores de hematita variam de 0 nas áreas ligeiramente concavas, à cerca de 2% nas partes somitais. Já no relevo suave ondulado característico da zona de dissecação intermediária do Rio Preto, as manchas alternadas de latossolos vermelho - amarelos e vermelho - escuros em posições topográficamente previsíveis os solos apresentam teores de intermediários de hematita (2 a 5%)

A figura 2 ilustra as variações simultâneas de IHm e IR(MUN) para 6 toposequências. As medidas da cor Munsell foram realizadas no campo a intervalos regulares, em sequências facilmente localizadas na imagem Foram tomadas cores de cerca de 10 pontos igualmente



◆ —◆ IHm

■ —■ IR(MUN)

Figura 2. Variações laterais em 6 toposequências do índice hematita (IHm) obtido com dados TM, e do índice de vermelho (IR(MUN)) medido no campo

espaçados ao redor de um ponto de referência, e ao IR(MUN) deste ponto foi atribuída a média desses valores. Os valores de IHm, correspondem à média aritmética de 4 pixels vizinhos formando um quadrado e centrados nos pontos correspondentes aos locais definidos no terreno. Verifica-se nesta figura uma concordância remarcável entre as variações dos dois índices. Ainda, as variações observadas no terreno podem igualmente ser observadas com a imagem. Individualmente, as análises de regressão para as toposequências apresentaram coeficientes de correlação superiores (R entre 0,92 e 0,95) ao obtido na análise de regressão realizada para a totalidade dos pontos. Esta melhora pode ser atribuída à maior uniformidade de condições da superfície dos solos (rugosidade, quantidade de resíduos vegetais, humidade, etc...) numa mesma parcela do que entre parcelas.

Conclusões

Dos resultados deste trabalho pode-se extrair as seguintes conclusões concernentes aos solos nus da zona teste:

- o índice $IHm = TM32 * TM1 / TM23$ apresenta boas possibilidades para a estimativa de teores de hematita nos horizontes de superfície, utilizando-se imagens TM.
- as análises de regressão mostram a linearidade das relações entre IHm e o índice de vermelho proposto por Torrent et al (1983)
- as variações do índice de vermelho em toposequências se traduzem nas imagens TM por gradientes do IHm. A resolução espacial do sensor se apresenta portanto compatível com as variações toposequenciais da hematita nos latossolos.
- o fatiamento do neo-canal IHm permitiu a individualização e espacialização das classes de latossolos:
 - latossolos vermelho-escuro ricos em hematita dominando as chapadas da parte norte da zona teste

- latossolos vermelho-amarelos, os mais pobres em hematita, nas chapadas do sul da zona teste.

- latossolos vermelho escuro e vermelho amarelos com teores intermediários de hematita na zona de dissecação intermediária da bacia do rio Preto.

Referências

- BARRON V., TORRENT J., 1986. Use of the Kulbelka-Munk theory to study the influence of iron oxides on soil color. *J. Soil Sc.*, 37: 449-510.
- CAMARGO M., KLANT E., KAUFFMAN J. H., 1987. Sistema Brasileiro de classificação de solos. *B. Inf., Soc. Bras. Ci. Solo*, 12: 11-33.
- COCHRANE, T. T., DE AZEVEDO L. G., THOMAS D.; MADEIRA NETTO J. S., ADAMOLI J., VERDESIO J. J., 1985. Land use and productive potential of American savannas. In TOHILL J. C. (ed.) *Ecology and management of world savannas*. Queensland, Australian Academy of Science, pp. 114-124.
- DANDJINO T. M., 1988. Télédétection des paysages latéritiques. Traitement d'images, intégration et synthèse de données multisources. Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur de Strasbourg, Strasbourg, 166 p.p
- EMBRAPA-SNLCS, 1978. Levantamento de Reconhecimento de solos do Distrito Federal. EMBRAPA, Rio de Janeiro, 445 p.
- FRASER S. J., 1991. Discrimination and identification of ferric oxides using satellite Thematic Mapper data: A Newman case study. *Int. J. Remote Sensing*, 12: 635-641.

- KRUSE, F. A., M. THIRY, P. L. HAUFF, 1991.
Spectral identification (1,2 - 2,5 μm) and
characterization of Paris Basin kaolinite/
smectite clays using a field spectrometer.
In: 5th International Colloquium - Physical
Measurements and signatures in Remote
Sensing. Courchevel, France, 14-21
Janvier 1991, pp. 181-184.
- MADEIRA NETTO J. S., 1991. Etude quantita-
tive des relations constituants
minéralogiques-réfectance diffuse des
latosols brésiliens. Application à
l'utilisation pédologique des données
satéllitaires TM (région de Brasilia). Thèse
de Doctorat. Université Paris VI, Paris,
232 p. p
- MARKHAM B. L., BARKER J. L., 1985.
Spectral characterization of LANDSAT
Thematic Mapper sensors. Int. J. Remote
Sensing, 6: 697-716.
- ROQUIN C., DANDJINOUT., FREYSSINET
Ph., PION J. C., TARDY Y., 1988. Spot
images and geochemical mapping of lat-
eritic covers in Southern Mali. In: SPOT1:
Utilisation des images, bilan, résultats.
pp. 871-879.
- TORRENT J., SCHWERTMANN U. ,
SCHULZE D. G., 1980. Iron oxide min-
eralogy of some soils of two river terrace
sequences in Spain. Geoderma, 23: 191-
208.
- TORRENT J., SCHWERTMANN U. ,
FETCHER H., ALFEREZ F., 1983.
Quantitative relationships between soil
color and hematite content. Soil Sc., 136:
354-358.