

## REGRESSÕES LINEARES MÚLTIPLAS UTILIZANDO-SE DADOS ESPECTRAIS OBTIDOS POR SENSORES EM LABORATÓRIO E ORBITAL, NA ESTIMATIVA DE ATRIBUTOS DO SOLO

PETERSON RICARDO FIORIO<sup>1</sup>  
JOSÉ ALEXANDRE M. DEMATTÊ<sup>2</sup>  
MARCOS RAFAEL NANNI<sup>3</sup>  
ALINE MARQUES GENU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515 – 12227-010 – São José dos Campos – SP, Brasil  
peterson@ltid.inpe.br

<sup>2</sup>ESALQ – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz  
Caixa Postal 09 - 13418-900 – Piracicaba – SP, Brasil  
{jamdemat, amgenu}@esalq.usp.br

<sup>3</sup>UEM – Universidade Estadual de Maringá  
mrnanni@uem.br

**Abstract.** The objective of the present work was to quantify  $Fe_2O_3$  by laboratory and orbital sensors. The study area was a 473 ha bare soil field located in the region of Barra Bonita, SP. A sampling grid was established (100 m x 100 m) and the places were georeferenced. In these points, earth samples were collected in two depths (0-20; 80-100cm) for laboratory analyses and reflectance obtaintion with a laboratory sensor (450 to 2500 nm). In the same places of soil sampling collection, reflectance data were obtained from a TM-Landsat-5 image. Most of the generated equations showed high  $r^2$  for  $Fe_2O_3$ , 0,82 for laboratory and 0,67 for orbital. Comparing the intervals of iron between values esteemed by radiometric data and values determined in laboratory analyses, radiometric data presented a global success of 92,2% against 91,3% for orbital data. The majority of the confusions observed between the determined values and the quantified ones are in an acceptable interval.

**Keywords:** linears multiples regressions, reflectance, remote sensing, soil attributes prediction.

### 1.Introdução

A estimativa de atributos de solos é um desafio que vem sendo buscado por pesquisadores da área de sensoriamento remoto. Vários sistemas com este objetivo vêm sendo desenvolvidos e testados, buscando o seu aperfeiçoamento.

O sistema denominado NIRA (Near-Infrared Analysis) foi desenvolvido baseado nas informações do infravermelho próximo, em laboratório, com o objetivo de avaliar a radiação espectral relacionada aos aspectos químicos de materiais (Stark et al., 1986). Essa metodologia, foi desenvolvida há 30 anos para uma rápida análise da umidade de grãos (Ben-Gera & Norris, 1968). O início dos estudos do infravermelho data dos anos 50, com maior avanço e interesse nos anos 60, motivado pelas necessidades de aplicação em agricultura. Os métodos com avaliação espectral mostraram-se bem mais práticos e rápidos que os convencionais na agricultura (Stark et al., 1986). Nanni & Demattê (2001) utilizando equações lineares múltiplas estimaram valores de atributos dos solos com dados radiométricos em dois níveis de aquisição, laboratório e orbital, sendo esses dados comparados com valores determinados por análises químicas e físicas. Ainda segundo os autores, os resultados não apresentaram diferenças significativas, a 1 % de probabilidade entre as médias dos valores estimados e determinados para argila, soma de bases,  $Fe_2O_3$  e CTC.

Todos os atributos do solo são importantes, porém, em diferentes graus. Cada atributo também está mais diretamente relacionado a uma parte de um planejamento agrícola. Por exemplo, o fósforo é um importante elemento no desenvolvimento das plantas, e por consequência, o seu teor tem papel de destaque para a recomendação de adubação

(planejamento do manejo químico de uma área). Por outro lado, temos elementos que estão relacionados à classificação dos solos, como o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Os teores deste atributo auxiliam na determinação dos grandes grupos e família da classificação dos solos, de acordo com Embrapa (1999) (base para um planejamento, o levantamento de solos). O tipo e quantidade relativa dos óxidos de ferro tem influência direta nas cores amarela e vermelha dos solos. Predominantemente, solos amarelos apresentam altos teores de goethita as quais são responsáveis pela maior adsorção do fósforo por unidade de peso quando comparados a solos com quantidades similares de hematita (vermelhos) (Baumgardner et. al., 1985). De uma certa forma a cor do solo é um indicativo sobre a capacidade de retenção de fósforo do solo. Porém, a quantidade do ferro tem maior importância na classificação, pois auxiliam na determinação dos grandes grupos para o caráter férrico e família para os demais teores, caracterizando assim o uso dos intervalos de teores de ferro, hipoférrico, mesoférrico, férrico e perférrico (Embrapa, 1999). Porém a análise do ataque sulfúrico é cara, demorada e de resultado ainda sob discussão, o que limita o número de amostras a serem enviadas aos laboratórios e conseqüentemente, o levantamento de solos.

Por sua vez, quando se fala em estimativa do elemento  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , por sensores instalados em satélites a 800 km de distância da superfície terrestre, fica a pergunta: é possível? Se for, a sua aplicabilidade poderia ser válida para os “mapeadores de solos”? Coleman et al. (1993) obteve coeficientes muito baixos nesta empreitada. Descrevem, entretanto, a necessidade de maiores pesquisas desses elementos, visando o aprimoramento e ratificação da técnica, dando maior sustentação a sua aplicabilidade prática. Além disso, com o advento dos sensores hiperespectrais, como o Airborne Visible InfraRed Imaging Spectrometer (AVIRIS), a quantificação de atributos do solo, como o realizado por Galvão et al. (2001) e Baptista (2001) é inevitável.

Com isso, o presente trabalho tem por objetivo comparar os resultados estimados para  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  obtidos por equação linear de regressão múltipla e os resultados determinados nas análises de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , e verificar sua utilização na classificação de solos.

## Material e Métodos

A área localiza-se em Barra Bonita – SP, é delimitada pelas coordenadas geográficas 22°26'2,37''- 22°23'16,53'' latitude sul e 48°31'24,22''- 48°27'51,77'' longitude oeste. Apresenta 473 ha, clima do tipo Cwa, mesotérmico. A litologia é representada principalmente pela ocorrência da Formação Serra Geral e a Formação Itaqueri do grupo Bauru. Foi estabelecida uma grade (100 x 100 m) onde os pontos foram demarcados com estacas as quais foram numeradas, totalizando 473 estacas, georreferenciadas e coletadas amostras de terra nas profundidades 0-20 (camada A; referente ao horizonte A) e 80-100 cm (camada B; referente ao horizonte B), totalizando 946 amostras de solos. A cor do solo foi obtida na forma úmida com o equipamento Minolta CR 300 com chip para cor de Munsell (Post et al., 1994). Para o ataque sulfúrico foi utilizada a metodologia preconizada por Camargo et al. (1987), selecionando-se das 473 amostras da área apenas 103 amostras representativas, totalizando para as duas camadas 206 amostras de solos. Com isso foi obtido valores de óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Os principais solos estudados referem-se as unidades: Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Argissolo Amarelo (PA), Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), Argissolo Vermelho (PV), Nitossolo Vermelho (NV), Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef), Cambissolo Háptico Tb (Cxb); Cambissolo Háptico Eutroférico (CXef), Neossolos Quartzarênicos Órtico (RQo) (Embrapa, 1999).

Os dados espectrais orbitais foram obtidos na cena TM-Landsat-5 nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 detalhadamente descritos por Nanni (2000) e Fiorio (2002). Os dados espectrais de

laboratório foram determinados utilizando o sensor Infra-Red Intelligent Spectroradiometer, IRIS, que recobre a faixa espectral entre 450 e 2.500 nm. Para o cálculo do fator de reflectância foi utilizada uma placa padrão de 100% de reflectância como referência e geometria de acordo com Demattê & Garcia (1999). Para a previsão dos teores de óxidos de ferro, através dos dados de reflectância, foram usadas equações de regressões lineares múltiplas para os dados orbitais e de laboratório obtidas por Fiorio (2002), **Tabela 1**.

**Tabela 1. Equações lineares de regressão múltipla para estimativa dos atributos dos solos da área de estudo.**

Atributo	Equação múltipla (22 bandas e 13 alturas) <sup>(1a)</sup>	r <sup>2</sup> <sup>(2)</sup>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>(3)</sup>	110,81409 - 9368,27072*H11 + 757,29756*H2 - 3338,68863*H13 + 9490,32024*H12 - 1005,39436*H8	0,8254
	Equação múltipla ( 6 bandas TM-Landsat) <sup>(1b)</sup>	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>(3)</sup>	290,71175 + 12,04310*TM_1 - 5,54129*TM_4 - 10,24985*TM_7	0,6724

<sup>(1a)</sup> B1...B22; H1...H13, bandas e alturas selecionadas <sup>(1b)</sup> TM1, TM2, TM3, TM4, TM5 e TM7, Bandas do TM-Landsat-5 selecionadas <sup>(2)</sup> Significante a 0,01 % de probabilidade <sup>(3)</sup> Óxido de Ferro.

Com as equações em mãos, foi possível substituir os valores de radiometria de laboratório ou orbital em cada variável preditora da equação de laboratório ou orbital, gerando os valores estimados (VE) de ferro total para as camadas A e B, de todas as amostras da área de estudo. Para todos os VE na camada A, utilizou-se as equações de regressão múltipla dos dados orbitais (EO). Na camada B, para todos os VE utilizou-se as equações de regressão múltipla dos dados de radiometria de laboratório (EL). Os VE de ferro total foram classificados nos seguintes intervalos, Hipoférrico (baixo teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, < 80 g kg<sup>-1</sup>); Mesoférrico (médio teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 80 a < 180 g kg<sup>-1</sup>); Férrico (alto teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 180 a < 360 g kg<sup>-1</sup>) e Perférrico (muito alto teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ≥ 360 g kg<sup>-1</sup>) (Embrapa, 1999). Os valores determinados (VD) das amostras de ferro total, 206 amostras camada A e B, utilizadas para gerar os modelos, também foram classificados nos intervalos de teores de ferro total, onde foram considerados como acertos as amostras de VD e VE dentro de um mesma classe. Obteve-se também os resultados de confusão entre as classes das amostras com VD e VE. Posteriormente, foram obtidos dois mapas, um para camada A (orbital, EO) e outro para a camada B (laboratório, EL), para os intervalos de teores de ferro, sendo estes comparados com o levantamento detalhado, objetivando verificar a utilidade dos resultados dos VE de ferro total no mapeamento de solos.

## Resultados e Discussão

**Estimativa de ferro por sensores e relação com classificação de solos:** A importância do grau de confiança na estimativa de um determinado atributo do solo está intimamente ligado aos objetivos dessa estimativa. Um atributo pode, portanto, ser estimado e avaliado quanto ao valor absoluto, para posterior cálculo de dosagem de fósforo, por exemplo. Por outro lado, um atributo pode ser estimado e avaliado se está dentro de uma faixa de variação utilizada para alguma finalidade. É o caso dos teores de ferro, importantes na discriminação de algumas classes de solos. Esses teores são utilizados para verificar se estão dentro de uma faixa previamente estipulada. Cada faixa de teor de ferro recebe uma classificação, sendo o caso dos denominados hipoférrico, mesoférrico e férrico, conforme verificado na metodologia.

A **Tabela 2** compara a classificação dos níveis de ferro determinada pelas análises tradicionais com as obtidas pelos dados espectrais em laboratório (referem-se a valores da camada B, subsuperficial, que é a utilizada para classificação de solos) e orbital (referem-se a camada A, superficial). Portanto, neste caso, são comparados os teores de ferro obtidos por análises químicas com dados espectrais, porém da camada superficial, que não é a ideal para classificação, mas possível de ser usada pela limitação do sistema. O local da amostra é o

mesmo, tanto para a avaliação espectral laboratorial (Equação Laboratorial, EL) quanto orbital (Equação Orbital, EO) num total de 103 amostras analisadas.

**Tabela 2. Resultados obtidos na comparação das faixas de teores de ferro, entre os dados obtidos em laboratório, ataque sulfúrico, e os dados obtidos utilizando-se as equações de regressão múltipla para radiometria orbital e de laboratório sensor IRIS.**

Ferro <sup>(1)</sup>	V.D. <sup>(2)</sup>	Laboratório(Hor. B) <sup>(3)</sup>		Conf. <sup>(6)</sup>	V.D. <sup>(2)</sup>	Orbital (Hor. A) <sup>(4)</sup>		Conf. <sup>(6)</sup>
		Certas <sup>(5)</sup>				Certas <sup>(5)</sup>		
		N.A. <sup>(7)</sup>	%			N.A. <sup>(7)</sup>	%	
Hipo. (H)	82	79	96,3	3 (M)	84	80	95,2	4 (M)
Meso.(M)	14	14	100,0	-	14	14	100,0	-
Férrico (F)	7	2	28,6	5 (M)	5	0	0,0	5 (M)
<b>Total</b>	<b>103</b>	<b>95</b>	<b>92,2</b>		<b>103</b>	<b>94</b>	<b>91,3</b>	

<sup>(1)</sup> Classes associadas ao teor de óxidos de ferro (ataque sulfúrico) onde: (H) Hipoférrico (< 80 g kg<sup>-1</sup> de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), (M) Mesoférrico ( 80 a 180 g kg<sup>-1</sup> de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e (F) Férrico ( 180 a < 360 g kg<sup>-1</sup> de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); <sup>(2)</sup> Número de amostras com valor determinado em laboratório (ataque sulfúrico), nas respectivas faixas de ferro; <sup>(3)</sup> Dados estimados pela equação de regressão múltipla, com radiometria de laboratório, sensor IRIS; <sup>(4)</sup> Dados estimados pela equação de regressão múltipla, com radiometria orbital, TM-Landsat-5; <sup>(5)</sup> Número de amostras e porcentagens, estimadas pela equação de regressão múltipla, classificadas corretamente, na mesma faixa de teores de ferro dos valores determinados pelo ataque sulfúrico; <sup>(6)</sup> Amostras confundidas, classificadas erroneamente, quando comparadas às amostras com valor determinado em laboratório e estimadas por radiometria; <sup>(7)</sup> Número de amostras estimadas pelas equações de regressão múltipla.

De maneira geral, observou-se que os teores de ferro com VD das 103 amostras para cada camada obtiveram 82 e 84 amostras com VD no intervalo hipoférrico, na camada A e B, respectivamente. Para o intervalo mesoférrico, em ambas camadas foi observado 14 amostras com VD e o restante com 7 e 5 amostras no intervalo férrico, para as camadas A e B, respectivamente (**Tabela 2**). Esses resultados indicam existir uma maior incidência de solos hipoférricos e mesoférricos nas amostras estudadas, sendo mais representativas para discussão que a classe férrico. Os dados radiométricos obtidos com sensor em laboratório (IRIS), para os mesmos pontos de amostragem, camada B, foram substituídos na equação, gerando assim os “valores estimados com equações geradas com radiometria de laboratório” (VEL). Para a classe hipoférrico, das 82 amostras com VD, 79 foram estimadas na mesma classe com os VEL, obtendo-se 96 % de acerto (**Tabela 2**). Apenas 3 amostras foram confundidas, ou seja, deveriam ser classificadas como hipoférrico, porém os valores estimados obtidos encontram-se no intervalo mesoférrico. Esse erro ou confusão pode ser associado a proximidade dos valores limites de teores de ferro. Para o intervalo mesoférrico foi obtido 100 % de acerto, ou seja, todas as amostras com VD e VEL foram classificadas no mesmo intervalo (**Tabela 2**). Já os resultados para o intervalo férrico das 7 amostras com VD, houve 28 % de acerto, tendo confundido o restante com mesoférrico. A confusão dessas amostras, pode ter ocorrido devido a proximidade dos valores limites de ferro entre mesoférrico e férrico. Observou-se que 72 % das amostras avaliadas, apresentaram valores absolutos de ferro até 200 g kg<sup>-1</sup>, ou seja, apenas 20 g kg<sup>-1</sup> próximo do limite da unidade mesoférrico para férrico que é de 180 g kg<sup>-1</sup>. Os dados radiométricos obtidos das imagens do TM-Landsat-5, para os mesmos pontos de amostragem, avaliando porém a camada A, foram inseridos na equação, gerando os “valores estimados com equações geradas com radiometria orbital”(VEO). Para a classe hipoférrico, das 84 amostras com VD, 80 foram estimadas na mesma classe que os VEO, atingindo 95 % de acerto (**Tabela 2**). Apenas 4 amostras foram confundidas, ou seja, deveriam ser classificadas como hipoférrico, porém os valores estimados obtidos encontram-se no intervalo mesoférrico. Mais uma vez, esse erro ou confusão pode ser associado a proximidade dos valores limites de teores de ferro de uma classe para outra, < 80 g kg<sup>-1</sup> de ferro para hipoférrico e de 80 a 180 g kg<sup>-1</sup> para mesoférrico. Outro fator importante a ser considerado é o tamanho do pixel na imagem de satélite, no caso 30 x 30 m, onde o valor de

reflectância coletado é a resposta da interação dos elementos dentro do pixel (Ben-Dor, 2002). Para o intervalo mesoférrico foi obtido 100 % de acerto, ou seja, todas as amostras do VD e VEO foram classificadas no mesmo intervalo (**Tabela 2**), apesar das considerações sobre o pixel. Já as 5 amostras com VD para o intervalo férrico, foram estimadas correspondendo na classificação como mesoférrico (**Tabela 2**). Mais uma vez, o índice de acerto para as amostras classificadas como férrico e mesoférrico não foi adequadamente detectado. Observou-se que 75 % das amostras analisadas, estavam extremamente próximas do limite para a classificação. Tanto para os dados orbitais como os de laboratório, ocorreu o mesmo efeito de confusão para as classes mais saturadas em ferro. Stoner & Baumgardner (1981) observaram que em solos minerais com teores de ferro acima de  $40 \text{ g kg}^{-1}$ , pode haver mascaramento dos efeitos de outros atributos nos dados espectrais. É possível, portanto, que exista um limite de saturação por ferro, acima do qual o seu efeito não se relaciona mais com o teor. A utilização dos valores de ferro como apoio na classificação de solos, tem como barreira principal os custos, sendo o dobro ou mais que uma análise química ou granulométrica de rotina realizada nos laboratórios convencionais. Geralmente, tal fato leva a interpretações qualitativas de campo, como a atração magnética, como meio para diminuir estes custos. Entretanto, esse método, apesar de útil, não quantifica, e gera discrepâncias devido a subjetividade e grau de experiência do pedólogo. Tal fato restringe o número de amostras que possam ser enviadas para análises em laboratório, diminuindo o grau de acurácia de um mapeamento. Nesse caso, o sensoriamento remoto espectral, principalmente ao nível de laboratório, pode ser utilizado para se determinar valores quantitativos de ferro, sendo de grande valia na classificação. Consequentemente, os resultados permitem inferir que esta técnica diminui os custos com análises deste atributo, permitindo maiores observações numa área, melhorando o detalhamento do trabalho. Os dados ao nível orbital, por sua vez, apesar de detectarem amostras de superfície, apresentaram altíssimos índices de acerto, com os valores originais das mesmas amostras de superfície. Portanto, se por um lado, o valor de ferro da amostra dessa camada, não pode ser utilizada para a classificação, por outro ela pode ser estimada com alto grau de confiabilidade. Por sua vez, e especificamente neste trabalho, houve íntima relação entre a classificação realizada para as amostras de subsuperfície com as de superfície. Podemos inferir, portanto, que a avaliação de dados espectrais orbitais, podem também auxiliar na classificação de solos. O presente trabalho corrobora observações de Coleman et al. (1993). No caso, para os intervalos dos teores de ferro, foi obtido para a camada A, com dados radiométricos orbitais, um acerto geral de 91,3 %. Com os dados radiométricos de laboratório, foi obtido para o camada B um acerto de 92,2 %.

**Espacialização dos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  estimados por sensores e sua relação com solos:** A validação das estimativas de ferro e sua alta relação com a classificação, 91,3 % de acerto para dados orbitais e 92,2 % para dados radiométricos de laboratório (**Tabela 2**), indicaram ser possível obter teores desse atributo. Com isso, os dados de reflectância de todas as amostras de terra da área de estudo, obtidos pelos dois sensores, foram aplicados nas equações de regressão (**Tabelas 1**). A espacialização das classes de ferro de Embrapa (1999) foram comparadas com o levantamento pedológico realizado na área pelo método convencional. A **Figura 1a** representa a distribuição dos intervalos de ferro para a camada A, sendo os valores obtidos pela EO (**Tabela 1**). É importante ressaltar que para a classificação de solos o horizonte diagnóstico é o de subsuperfície, porém a camada superficial também é imprescindível na diferenciação das classes de solos (Embrapa, 1999). Predomina na área a classe hipoférrico com 356,30 ha cerca de 75 % do total da área de 472,70 ha. Para este intervalo, na camada superficial, predomina o LV com 263,80 ha, esses solos caracterizam-se por apresentar em textura média na maior parte da área, bem próximas a textura arenosa (**Figura 1c**). Ainda aparecem no intervalo hipoférrico os LVA, PA, PVA, RQo e alguns PV

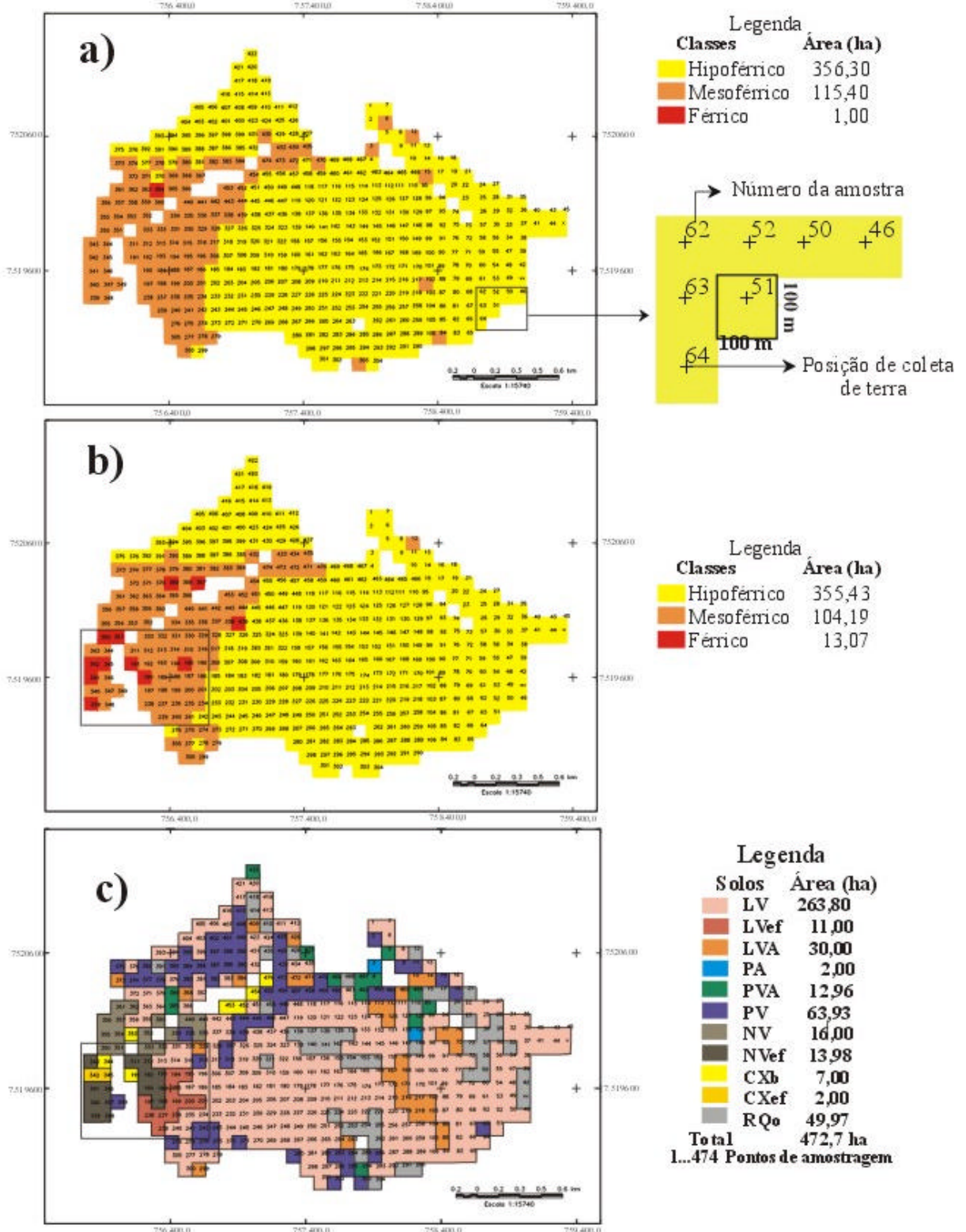


Figura 1 - Teores de ferro estimados através de dados radiométricos, orbital e laboratório: a) mapa representativo das classes de teores de ferro estimados com dados orbitais, camada A (0-20 cm), b) mapa representativo das classes de teores de ferro estimados com dados do sensor IRIS, camada B (80 - 100 cm), c) Mapa representativo do levantamento pedológico detalhado da área de estudo.

(Figura 1a, c). Para o intervalo mesoférrico temos 115,40 ha cerca de 24,4 % do total da área de estudo, sendo que a maioria dos solos com textura média a argilosa e muito argilosa estão nesse intervalo, entre eles o LVef, NV, NVef, Cxb e CXef. Porém, também ocorre numa menor porção os LV com textura argilosa e muito argilosa. Um exemplo é a amostra 313 com textura argilosa na camada A ( $540 \text{ g kg}^{-1}$ ) e muito argilosa na camada B ( $700 \text{ g kg}^{-1}$ ), a qual apresenta-se no intervalo mesoférrico. Apenas a amostra 364, com 1 ha, aparece no intervalo férrico, para LV argiloso, não ocorrendo esse intervalo em subsuperfície. Para a camada B, com os dados obtidos por radiometria de laboratório, observa-se que a distribuição dos intervalos em relação a camada A, não muda muito (Figura 1a, b). Predomina na área a classe hipoférrico com 355,43 ha, cerca de 75 % do total da área, com os mesmos solos já descritos para a camada A (Figura 1b,c). A diferença é mais acentuada para os valores em área do intervalo mesoférrico, que diminuiu em relação a camada A, com 104 ha cerca de 22 % do total. Ocorreu um aumento em área, no mapa, do intervalo férrico com 13,07 ha cerca de 2,7 % do total da área, que para a camada A era de apenas 1 ha (Figura 1 a,b). Os solos mais argilosos e com maiores teores de ferro encontram-se nesses intervalos (Figura 1c). Especificamente numa porção dentro da área de estudo outras observações foram realizadas (Figura 1b,c). Essa área escolhida representa a maior concentração de solos argilosos, Figura 1c, LVef, NVef e CXef, todos classificados com caráter férrico, ou seja altos teores de ferro ( $180 \text{ g kg}^{-1}$  a  $360 \text{ g kg}^{-1}$ ), sendo para os NVef, considerado valores  $> 150 \text{ g kg}^{-1}$  de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  para denominação férrico. Para a delimitação das unidades de mapeamento dessas classes de solos no mapa detalhado, algumas amostras, no caso desse estudo apenas 7 amostras (Tabela 2), tornam-se representativas de um grupo de amostras e infere-se esses resultados para a “vizinhança”, considerando-se para fins de levantamento de solos o mesmo material de origem, posição no relevo, cor do solo, textura, técnicas de fotopedologia aplicadas em imagem de satélite entre outras características que tem por finalidade corroborar a denominação, no caso, férrico para algumas unidades de mapeamento, como foi realizado no levantamento detalhado da área de estudo (Figura 1c). Mas, caso fosse considerado, para delimitação de unidades de mapeamento, os resultados estimados por radiometria, classificados nos intervalos de ferro, principalmente para a camada B, as unidades , LVef, NVef e CXef diminuiriam em área mapeada, aumentando-se as áreas das classes LV, NV e Cxb, sem a denominação férrico, seguindo os resultados dos intervalos férricos e mesoférricos na Figura 1b. Um bom exemplo disso está na unidade de mapeamento do LVef com 11 ha, “dentro de retângulo” na Figura 1b, onde várias amostras apresentam-se com caráter férrico (Figura 1c). Porém observando a Figura 1b, para a mesma área, apenas a amostra 195, apresenta-se no intervalo para caráter férrico no mapa, o que reduziria a área do LVef para apenas 1 ha. Dessa forma os valores estimados de ferro pelos dados radiométricos de laboratório, poderiam juntamente com as técnicas para delimitação de unidades de mapeamento contribuir no refinamento dos limites de algumas classes de solo.

## Conclusões

- 1 - A avaliação quantitativa da reflectância espectral permite obter informações de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  como base para a classificação de solos.
- 2 - É possível determinar os teores de ferro de amostras de terra desconhecidas a partir de um modelo regional, espacializar esses dados, e obter informações que auxiliem na classificação de solos.

## Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela aquisição do espectroradiômetro IRIS, (proc. n.º 95/6259-6), pela bolsa de Doutorado do 1º autor, através do (proc. n.º 99/04325-2) e bolsa pesquisador CNPq 2º autor (proc. n.º 300371/96-9).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAPTISTA, G.M. de M. *Mapeamento e quantificação da relação mineralógica caulinita/(caulinita+gibbsita) de solos tropicais, por meio dos dados do sensor hiperespectral AVIRIS (JPL/NASA)*. Distrito Federal, 2001, 139 p (Tese de Doutorado – Universidade de Brasília).

BAUMGARDNER, M.F.; SILVA, L.F.; BEHL, L.L.; STONER, E.R. Reflectance properties of soils. *Advances in Agronomy*, v.38, p.1-44, 1985.

BEN-DOR, E. Quantitative remote sensing of soil properties. *Advances in Agronomy*, v.75, p.173-243, 2002.

BEN-GERA, I. & NORRIS, K. Determination of moisture content in soybeans by direct spectrophotometry. *Israeli Journal Agr. Res.*, 18, 124-132, 1968.

CAMARGO, M. N.; KLANT, E.; KAUFFMAN, J. H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. Campinas. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, v.12. n.1, p.11-13, jan./abr., 1987.

COLEMAN, T. L.; AGBU, P. A.; MONTGOMERY, O. L. Spectral differentiation of soils and soil properties: is it possible from space platforms?. *Soil Science*, v.155, p.283-293, 1993.

DEMATTÊ, J. A. M.; GARCIA, G. J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. *Soil Science Society of America Journal*, v.63, v2, p.327-342, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Serviço de Produção. 1999. 412 p.

FIORIO, P. R. *Dados radiométricos obtidos nos níveis terrestre e orbital na avaliação de solos*. Piracicaba, 2002. 198p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

GALVÃO, L. S.; PIZZARO, M. A.; EPIPHANIO, J.C.N. Variations in reflectance of tropical soils: spectral-chemical composition relationships from AVIRIS data. *Remote Sensing of Environment*, v.75, p.245-255, 2001.

NANNI, M. R. *Dados radiométricos obtidos em laboratório e no nível orbital na caracterização e mapeamento de solos*. Piracicaba, 2000. 366p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

NANNI, M. R.; DEMATTÊ, J. A. M. Quantification and discrimination of soils developed from basalt as evaluated by terrestrial, airborne and orbital sensors (compact disc). In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Foz do Iguaçu, abril 2001. *Anais*. São José dos Campos: INPE, 2001a. Sessão Poster. Repositório da URLib:

<dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.08.41>. Disponível em:

<http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.08.41>. Acesso em: 12 novembro 2002.

POST, D.F.; HORVATH, E.H.; LUCAS, W.M.; VVJRTE, S.A.; EHASZ, M.J.; BATCFULY, A.K. Relationship between soil color and Landsat reflectance on semiarid Rangelands. *Soil Science Society of America Journal*, v.58, p.1809-1816, 1994.

STARK, E.; LUCHTER, K; MARGOSHES, M. Near-Infrared Analysis (NIRA): A technology for quantitative and qualitative analysis. *Applied Spectroscopy reviews*, v.22, n.4, p. 335-399, 1986.

STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F. Characteristics variations in reflectance of surface soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.45, n.6, p.1161-1165, 1981.