

ESTIMATIVA DE ATRIBUTOS DE SOLOS UTILIZANDO SENSOR EM LABORATÓRIO

ALINE MARQUES GENÚ¹
JOSÉ ALEXANDRE M. DEMATTÊ¹

¹ ESALQ – Universidade de São Paulo
Caixa Postal 9 - 13148-900 – Piracicaba-SP, Brasil
(amgenu, jamdemat@esalq.usp.br)

Abstract: The objective of this work was to estimate chemical, mineralogical and physical attributes of different soil types by using laboratory sensor. For this, 3000 soil samples from different depths were collected in the states of São Paulo and Paraná. These samples were analysed in laboratory and their reflectance were obtained with a spectroradiometer in laboratory. Multiple regression models were generated for 20 attributes and the R^2 values obtained for mineralogical and physical properties were higher than 0,7. For the chemical attributes, the R^2 obtained was lower than 0,50, specially for soil nutrients. The attributes with R^2 higher than 0,5 were tested and the esteemed values obtained were compared with the determined values obtained by the laboratory analysis. Most of the attributes, as sand, clay, silt, Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 and Ki presented similar contents when compared sensor with laboratory.

Keywords: soil attributes, reflectance, laboratory sensor.

1. Introdução

O manejo ambiental nos sistemas agrícolas deve ser mantido em conjunto com o controle dos custos de produção e o aumento da produtividade. Para que este objetivo seja alcançado na agricultura, a análise de solo possui em papel vital pois é utilizado para classificação e mapeamento dos solos e na avaliação do estado da fertilidade do solo (Dunn et al., 2002).

Entretanto, os resultados analíticos estão sujeitos a imprecisões devido a variabilidade natural inerente ao solo e, principalmente, aos procedimentos relativamente complexos e demorados para a obtenção dos resultados. Além disso, apresentam alto custo, especialmente quando se trata de análise para fins de classificação (Viscarra Rossel e McBratney, 1998).

Com o advento da agricultura de precisão, a necessidade de mapeamentos em escala compatível à esta nova tecnologia e o manejo da fertilidade do solo tornaram-se necessários, implicando em análises mais rápidas, de melhor qualidade e em tempo real (Janik et al., 1998).

Neste sentido, a utilização da faixa do visível ao infravermelho próximo (400-2500 nm) tem apresentado potencial devido a rapidez e baixo custo e vem sendo utilizado na determinação de diferentes propriedades do solo como umidade, carbono orgânico, condutividade elétrica, capacidade de troca catiônica (CTC), pH, macro e micronutrientes, granulometria, constituição mineralógica (Malley et al., 1999; Demattê e Garcia, 1999; Dunn et al., 2002).

Porém, para que esta tecnologia possa ser utilizada comercialmente, como uma técnica analítica confiável é preciso que um grande número de tipos de solos, onde os componentes orgânicos e inorgânicos varie, precisa ser testada. Desta forma, este trabalho objetiva estimar atributos químicos, físicos e mineralógicos de diferentes solos a partir de sua resposta espectral obtida com sensor em laboratório.

2. Material e Métodos

Foram avaliadas 3000 amostras de terra nas profundidades 0-20, 40-60 e 80-100 cm, coletadas nos Estados do Paraná e São Paulo (Tabela 1). Os solos analisados foram descritos (Lemos e Santos, 1996) e classificados de acordo com Embrapa (1999).

As amostras foram analisadas quimicamente para determinar pH (CaCl_2), teor de matéria orgânica, fósforo, potássio, magnésio, cálcio, alumínio e hidrogênio mais alumínio (Raij et al., 1987), areia, silte e argila (Camargo et al., 1986), sílica, a alumina e o ferro total (Camargo et al., 1986).

A reflectância das amostras foi obtida utilizando-se o espectrorradiômetro Infra Red Intelligent Spectroradiometer (IRIS), com resolução de 2 nm entre 400 e 1100 nm e 4 nm entre 1100 e 2500 nm. A geometria para aquisição dos dados foi aquela destacada por Demattê et al. (1998). Utilizou-se uma placa de referência com 100 % de reflectância e a reflectância bidirecional aqui utilizada foi definida de acordo com Nicodemus et al. (1977).

Para a análise estatística utilizou-se a regressão múltipla. Essa avaliação foi realizada entre os dados de reflectância obtidos em laboratório com os atributos físicos e químicos do solo. Foram selecionadas para os dados espectrais 22 bandas e 13 alturas (em nm): B 1: 420-480, B 2: 481, B 3: 481-596, B 4: 596-710, B 5: 710-814, B 6: 814-975, B 7: 975-1350, B 8: 1350-1417, B 9: 1417, B 10: 1417-1449, B 11: 1449-1793, B 12: 1793-1831, B 13: 1865-1927, B 14: 1927, B 15: 1927-2102, B 16: 2101-2139, B 17: 2139-2206, B 18: 2206, B 19: 2206-2258, B 20: 2258, B 21: 2258-2389, B 22: 2389-2498, H 1: 469-532, H 2: 532-768, H 3: 768-876, H 4: 876-1353, H 5: 1353-1411, H 6: 1411-1439, H 7: 1439-1783, H 8: 1860-1923, H 9: 1923-2120, H 10: 2120-2206, H 11: 2206-2258, H 12: 2258-2389, H 13: 2389-2498, sugeridas por Nanni e Demattê (2001).

Primeiramente, foi criado um modelo estatístico visando à estimativa dos atributos dos solos. Os dados para elaboração e teste do modelo foram dos 1000 pontos amostrais das áreas de estudo. Participaram do modelo amostras de terra das três camadas, perfazendo um total de 3000 amostras. Destas, 80% foram utilizadas para a criação do modelo e 20% para o teste. Para essa análise foi utilizado o software SAS (Statistical Analysis System, 1999).

Posteriormente, valores estimados foram gerados a partir dos 20% de amostras destinadas para teste. Estes valores foram obtidos apenas para os atributos cujo R^2 da equação de regressão múltipla apresentou valores maiores que 0,50. Em seguida realizou-se teste t para verificar a igualdade entre as médias dos valores determinados e estimados.

3. Resultados e discussão

Para a estimativa dos atributos dos solos através de sua resposta espectral em laboratório estabeleceram-se equações de regressão múltipla. As tabelas 2 e 3 apresentam os modelos gerados.

Analisando-se a tabela 2, verifica-se que os atributos estruturais do solo, como areia, argila, SiO_2 , TiO_2 e Fe_2O_3 apresentaram altos coeficientes de determinação sendo, os índices K_i e K_r os parâmetros melhor estimados com R^2 de 0,79 e 0,89 respectivamente, discordando de Fiorio (2002) que obteve 0,42 para K_i e 0,67 para K_r .

As equações apresentaram coeficientes baixos (tabela 3) para as bases trocáveis (0,05 para cálcio e 0,07 para magnésio) tornando tais equações não confiáveis. Thomasson et al. (2001) observou valores de R^2 também baixos para algumas bases como 0,04 para potássio, 0,15 para magnésio e 0,21 para cálcio porém, Chang et al. (2001) obteve altos valores para os mesmos elementos, 0,75 para Ca, 0,55 para K e 0,68 para Mg.

De forma geral, os coeficientes de determinação para elementos químicos foram mais baixos que os citados na literatura. Tal fato pode ser explicado pelo número de amostras aqui utilizado (3000) que foi maior do que os empregados nestes trabalhos o que causa grande diversidade de solos e conseqüentemente de seus atributos químicos, físicos e mineralógicos proporcionando uma grande dispersão de pontos em torno da média, reduzindo o R^2 . Considere-se ainda que os elementos químicos como por exemplo as bases trocáveis, não são considerados atributos com grande interferência na reflectância. Ou seja, para a sua detecção são necessários delineamentos e avaliações mais detalhadas.

Os atributos que apresentaram valores de R^2 maiores que 0,50 foram testados e o resultado foi comparado com os valores determinados nas análises de laboratório.

Analisando-se a tabela 4, verifica-se que a utilização das equações para estimativa dos atributos do solo gerou valores estatisticamente semelhantes aos de laboratório com exceção do índice K_r que apresentou valores estimados e determinados diferentes pelo teste t . Resultados semelhantes foram obtidos por Nanni (2000) para argila e silte porém, segundo o mesmo autor, os valores estimados e determinados de matéria orgânica e silte foram estatisticamente diferentes.

O presente trabalho ratifica o determinado por diversos autores (Nanni e Demattê, 2001; Chang et al., 2001; Fiorio, 2002) para os quais os atributos estruturais dos solos podem ser espectralmente quantificados.

4. Conclusão

1. Foi possível gerar equações de regressão múltipla com coeficientes de determinação elevados para atributos físicos e mineralógicos de solos, a partir de um grande número de amostras, sem ser necessário a separação de camadas de solos.
2. Os atributos químicos do solo não geraram equações confiáveis, não sendo possível estimar seus teores a partir da energia eletromagnética refletida, sendo necessário novos estudos para estas variáveis.
3. A quantificação de atributos como areia, silte, argila, SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 e Fe_2O_3 pode ser realizada por dados espectrais, tendo-se em mãos a metodologia proposta neste trabalho.

Referências

- Camargo, A. O. de; Moniz, A. C.; Valadares, J. M. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1986, 94p. (IAC. Boletim Técnico, 106).
- Chang, C.W.; Laird, D.A.; Mausbach, M.J.; Hurburgh Jr, C.R. Near-infrared reflectance spectroscopy - principal components regression analyses of soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, v.65, p. 480-490, 2001.
- 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, p. 327-342, 1999.
- Demattê, J.A.M.; Cooper, M.; Fiorio, P. R.; Maule. R. Soil characterization and discrimination on a toposequence over diabase though their reflected energy. In: World Congress on Soil Science, France, Montpellier, 1998 (CD-ROOM).
- Dunn, B.W.; Beecher, H.G.; Batten, G.D.; Ciavarella, S. The potential of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis – a case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 42, p. 607-614, 2002.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Serviço de Produção. 1999. 412 p.
- Fiorio, P.R. *Dados rediométricos obtidos nos níveis terrestre e orbital na avaliação de solos*. Doutorado (Tese) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2002. 198p.
- Janik, L.J.; Merry, R.H.; Skjemstad, J.O. Can mid infrared diffuse reflectance analysis replace soil extractions? *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 38, p. 681-696, 1998.
- Lemos, R.C. de; Santos, R. D. dos. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84p.
- Malley, D.F.; Yesmin, L.; Wray, D.; Edwards, S. Application of near-infrared spectroscopy in analysis of soil mineral nutrients. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 30, n. 7-8, p. 999-1012, 1999.
- Nanni, M.R. *Dados rediométricos obtidos em laboratório e no nível orbital na caracterização e mapeamento de solos*. Doutorado (Tese) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2000. 366p.
- Nanni, M. R.; Demattê, J. A. M. Is it possible estimate physical-chemical soil attributes by using laboratory and orbital sensors (compact disc). In: International Conference of Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Denver, 2001. *Proceedings*, Colorado, 2001.
- Nicodemus, F.E.; Richmond, J.C.; Hsia, J.J.; Ginsberg, I.W.; Limperis, T. *Geometrical considerations and nomenclature for reflectance*. U.S. Department of Commerce, 1977. 52 p. (NBS Monograph 160).
- Raij, B. van; Quaggio, J. A. *Métodos de análise de solo para fins de fertilidade*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 40 p. (Boletim técnico, nº 8).
- Statistical Analysis System Institute. *SAS, software: user's guide, version 8.2*. Cary, 1999. 291p.
- Thomasson, J.A.; Sui, R.; Cox, M.S.; Al-Rajehy, A. Soil reflectance sensing for determining soil properties in precision agriculture. *Transactions of the ASAE*, v.44, n.6, p.1445-1453, 2001.
- Viscarra Rossel, R.A.; McBratney, A.B. Soil chemical analytical accuracy and costs: implications from precise agriculture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 38, p. 765-775, 1998.

Tabela 1. Locais de amostragem, classes de solos e número de amostras.

Local/Região	Classes de Solo ¹	Número de amostras
Lençóis Paulista, SP	RQo	12
	LVd, LVe, LVdf	26, 2, 6
	PVd, PVe	6, 4
	PVAd, PV Ae	6, 4
	NVef	12
Piracicaba, SP	MXf	11
	CXef, CXbd	5, 3
	LVe, LVd, LVdf, LVef	18, 45, 18, 3
	LVAd	3
	PVAd, PV Ae	24, 15
	PVd	15
	FXe	12
	NVef	27
	VGo	9
	RUbe	3
RLd	2	
Mogi-Mirim, SP	CXbe	7
	RUbe	3
	LVd, LVe, LVdf	16, 4, 2
	LVAd	6
	PVd	3
	PV Ae, PVAd	25, 3
	PVd, PVe	12, 3
	RQo	6
GXbd	3	
Mogi-Guaçu, SP	CXbe	6
	RUbe	3
	LVd, LVe, LVdf	19, 4, 2
	PVd	9
Rafard, SP	PV Ae	29
	RUbd, RUbe	16, 6
	MXo	28
	CXbd, CXbe	24, 54
	LVe, LVd	34, 6
	LV Ae, LVAd	16, 16
	PVAd, PV Ae	48, 60
	RRe	19
NVef	36	
Barra Bonita, SP	RQo	98
	CXbe, CXbd	16, 1
	LVe, LVd, LVdf	111, 417, 18
	LVAd, LV Ae	48, 12
	PAe, PAd	2, 2
	PVd, PVe	80, 50
	PVAd, PV Ae	16, 10
NVef, NVdf	54, 6	
Arapoti, PR	RQo	6
	CXbe, CXbd	4, 75
	GXbd	5
	LVe, LVd, LVef,	6, 379, 10
	LVAd	56
	RLd	3
	PAe, PAd	3, 89
	PVe, PVd	15, 193
PV Ae, PVAd	6, 401	
NVef	3	

¹RQ: NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, RU: NEOSSOLO FLÚVICO, RL: NEOSSOLO LITÓLICO, RR: NEOSSOLO REGOLÍTICO
 LV: LATOSSOLO VERMELHO, LVA: LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, PV: ARGISSOLO VERMELHO, PVA: ARGISSOLO
 VERMELHO AMARELO, PA: ARGISSOLO AMARELO, NV: NITOSSOLO VERMELHO, MX: CHERNOSSOLO HÁPLICO, CX:
 CAMBISSOLO HÁPLICO, FX: PLINTOSSOLO HÁPLICO, VG: VERTISSOLO HIDROMÓFICO, GX: GLEISSOLO HÁPLICO. o:
 órtico d: distrófico, e: eutrófico, df: distroférico, ef: eutroférico, f: férrico, bd: Tb distrófico, be: Tb eutrófico

Tabela 2. Equações de regressão múltipla para estimativa dos atributos físicos e composição mineralógica dos solos utilizando-se 22 bandas e 13 alturas.

Atributo	Equação Múltipla ⁽¹⁾	R ² ⁽²⁾
Areia	325,12131 + (-2150,23917*B4) + (37239*B22) + (32696*B16) + (-1753,63114*h3) + (6050,11888*B1) + (-10636*B12) + (-1783,56922*B2) + (-26350*B17) + (3872,34770*h5) + (11164*B13) + (-6016,98500*B7) + (15718*h9) + (-19762*h10) + (-11503*h8) + (21324*B8) + (-17270*B9) + (6099,42620*B11) + (-7458,94773*B15) + (-18558*B21) + (20046*h13) + (19359*h12) + (-19053*B20) + (13037*B19) + (-16510*B18)	0,7246
Silte	60,65097 + (3829,20570*h8) + (4696,78981*h10) + (-3789,81108*B5) + (-15017*B16) + (9497,83650*B15) + (3179,84034*B4) + (-838,73591*B1) + (-4873,52625*B14) + (2688,40072*B6) + (-5574,04575*h9) + (14183*B17) + (-2988,51126*B13) + (1369,68802*B12) + (-3027,34285*B11) + (4284,73371*B10) + (-855,39864*B3) + (-2495,40896*B8) + (-1159,81249*B22)	0,5826
Argila	613,37766 + (-23981*B22) + (-3615,07696*B11) + (3547,98411*B4) + (1319,39902*h3) + (-4339,86816*B1) + (-6839,92248*B16) + (10189*B12) + (2095,68452*B2) + (-23783*B8) + (12088*B17) + (1587,62946*B7) + (6865,04649*h8) + (-4014,57256*h9) + (-8709,45039*B13) + (13147*B14) + (20695*B10) + (-13036*h13) + (20459*B21) + (-12278*h6) + (-6007,48743*h12) + (-7905,08740*B15) + (-5732,15230*B19) + (-9959,42942*B3) + (2346,42806*B6) + (984,59261*h4) + (-7060,79176*h2) + (6702,07998*B5)	0,7336
SiO ₂ ⁽³⁾	182,60726 + (-8296,85754*B22) + (8215,71732*B21) + (-6665,04369*h10) + (5747,98360*h1) + (4592,41304*B4) + (9268,06129*B15) + (-6045,00143*B13) + (8115,84406*B1) + (-11508*B3) + (-4891,59489*B19) + (467,40283*h4) + (-2060,21703*h2) + (1028,96863*B7)	0,7846
Al ₂ O ₃ ⁽⁴⁾	194,96650 + (-3487,84467*B22) + (-3496,33791*B6) + (716,90080*h3) + (-5457,40246*h9) + (5540,57132*B7) + (-6488,19120*B10) + (1848,28487*B4) + (4017,85124*B17) + (2726,62013*h8) + (2010,56239*B21) + (-1752,54617*h7) + (435,59021*h4)	0,7511
TiO ₂ ⁽⁵⁾	81,28357 + (-697,98956*B7) + (1602,84362*B10) + (1657,16442*B12) + (-2754,62732*h8) + (-300,54719*h3) + (-2658,09744*B14)	0,7648
MnO ⁽⁶⁾	1,42777 + (-91,74976*h11) + (117,06638*h6) + (-77,57803*h10) + (6,63097*B10) + (92,42815*h12) + (-16,91772*h8)	0,3859
Ki ⁽⁷⁾	1,04034 + (260,88441*h8) + (131,68271*h11) + (-132,53295*h13) + (-249,17445*h6)	0,7938
Kr ⁽⁸⁾	-0,11797 + (457,71345*B1) + (-416,13535*B2) + (-79,13176*B4) + (6,72600*h1) + (-115,34213*h6) + (206,64364*h5) + (46,52610*B6)	0,8997
Fe ₂ O ₃ ⁽⁹⁾	270,02003 + (-1680,06442*B6) + (5317,89809*B8) + (-9627,09125*B13) + (-1881,32778*h3) + (5668,32081*B12) + (-6599,82437*h8)	0,7293

⁽¹⁾B1...B22, h1...h13; respectivamente, bandas e alturas selecionadas; ⁽²⁾Significante a 0,05% de probabilidade; ⁽³⁾Oxido de Silício; ⁽⁴⁾Oxido de Alumínio; ⁽⁵⁾Oxido de Titânio; ⁽⁶⁾Oxido de Mangânes; ⁽⁷⁾Relação(SiO₂*1,70/Al₂O₃); ⁽⁸⁾Relação (SiO₂/0,60)/((Al₂O₃/1,02)+(Fe₂O₃/1,60)); ⁽⁹⁾Oxido de Ferro.

Tabela 3. Equações de regressão múltipla para estimativa dos atributos químicos dos solos utilizando-se 22 bandas e 13 alturas

Atributo	Equação Múltipla ⁽¹⁾	R ²⁽²⁾
MO ⁽³⁾	33,19745 + (52,94151*h13) + (-211,64213*h2) + (-80,49048*h9) + (-152,79180*h3) + (-363,54686*B16) + (437,62477*B12) + (-430,28131*h5) + (-297,42375*B1) + (-49,79413*B22) + (-205,43217*h1) + (208,62685*B6) + (-21,41288*B9) + (-32,51003*h7) + 248,99876 + (-6736,30762*h10) + (2143,49155*h6) + (10969*B1) + (-14157*B2) + (-8231,15394*h2) + (2626,05819*B4) + (3665,07999*B7) + (-2616,22800*B6) + (-850,11059*h3) + (-11226*B17) + (5663,90954*B16) + (4237,63518*B18) + (1130,84389*h7) + (6230,64728*B5) + (-4959,63439*B3)	0,4643
SB ⁽⁴⁾	476,19756 + (10662*B20) + (16857*B1) + (-21427*B2) + (-2524,77810*h3) + (5746,88518*B12) + (-6623,18163*h8) + (-6186,44422*h2) + (8900,70665*B7) + (4223,13203*B4) + (-9181,13145*B19) + (-8377,38910*h12) + (3707,07273*h7) + (-4239,87291*B6) + (4391,50100*h13) + (-11135*B15) + (-344,05671*B18) + (-611,79034*h1)	0,3750
CTC ⁽⁵⁾	55,31642 + (-112,64795*h4) + (897,25606*B22) + (-5217,66234*h10) + (1889,85560*h12) + (4104,29113*B16) + (1473,14974*h1) + (756,72663*B4) + (1479,82601*B1) + (-492,10980*B2) + (-4611,12753*B17) + (2205,72379*B15) + (-4167,24259*B13) + (-751,05307*B5) + (5157,24446*B14) + (2833,43033*h8) + (-2656,65337*B19) + (-967,23692*B12) + (-176,28873*h3) + (1270,94529*B8) + (-810,27504*h5) + (-1155,88468*B3) + (994,07861*h9) + (-901,27362*B9)	0,4088
V ⁽⁶⁾	15,85316 + (7013,69624*h10) + (-3990,44548*h12) + (-6225,24019*B16) + (7231,24139*B17) + (4640,11189*B19) + (-941,54406*B4) + (375,63059*h4) + (-1313,27735*B1) + (4910,86421*B13) + (-6317,89970*B14) + (-3275,16223*h8) + (-5383,71067*B22) + (543,98020*h5) + (1429,07097*B12) + (-1794,81825*h9) + (2854,26840*B21) + (-2108,68582*h13) + (-1739,75078*B8) + (-2523,25152*B15) + (-542,54446*h7) + (-1469,18286*h1) + (124,70641*h3) + (1573,89699*B3) + (792,42958*B7) + (749,24349*B5)	0,4842
m ⁽⁷⁾	5,07982 + (7,81287*h1) + (-9,47700*B6) + (2,39686*h6) + (6,53009*h7) + (18,28566*B4) + (4,40092*B7) + (4,58401*B15) + (1,43182*h11) + (-6,76580*h4) + (-0,82035*h3) + (-17,16416*B5)	0,3190
CaCl ₂ ⁽⁸⁾	15,71090 + (-106,76309*h2) + (-120,38799*h3) + (-122,16082*h9) + (27,27465*B16) + (227,41001*h13)	0,0279
P ⁽⁹⁾	2,91334 + (-33,09559*h3) + (-26,09003*h9) + (-18,76705*B5) + (17,70192*B4) + (-50,68664*B16) + (63,18914*B12) + (-57,97197*h5) + (-46,18901*B13) + (23,52115*B21) + (34,54889*B11) + (-16,79430*B8)	0,1762
K ⁽¹⁰⁾	30,48167 + (-1028,47010*h10) + (1589,50543*h12) + (578,67697*h1) + (-733,38838*h11) + (724,92339*h6) + (-859,47415*B4) + (-274,69852*h3) + (745,90376*B5) + (-216,90213*h9)	0,0589
Ca ⁽¹¹⁾	7,25201 + (-241,39162*h10) + (548,31044*h12) + (-248,24557*h11) + (-83,90658*h3) + (-70,28342*B2) + (153,20681*B1)	0,0762
Mg ⁽¹²⁾		

⁽¹⁾B1...B22, h1...h13; respectivamente, bandas e alturas selecionadas; ⁽²⁾Significante a 0,05% de probabilidade; ⁽³⁾Matéria Orgânica, ⁽⁴⁾Soma de Bases, ⁽⁵⁾Capacidade de Troca Catiônica; ⁽⁶⁾Saturação por Bases; ⁽⁷⁾Saturação por Alumínio; ⁽⁸⁾pH determinado em Cloreto de Cálcio; ⁽⁹⁾Fósforo; ⁽¹⁰⁾Potássio; ⁽¹¹⁾Cálcio; ⁽¹²⁾Magnésio.

Tabela 4 Avaliação entre as médias dos teores determinados em laboratório e os estimados por equações de regressão múltipla a partir de 22 bandas e 13 alturas.

	Areia	Silte	Argila	SiO ₂ ⁽¹⁾	Al ₂ O ₃ ⁽²⁾	TiO ₂ ⁽³⁾	Fe ₂ O ₃ ⁽⁴⁾	Ki ⁽⁵⁾	Kr ⁽⁶⁾
	-----g Kg ⁻¹ -----								
VD ⁽⁷⁾	511,19a ⁽⁹⁾	122,27a	366,57a	147,33a	143,70a	33,96a	119,46a	4,33a	6,49a
VE ⁽⁸⁾	502,72a	124,47a	371,50a	146,63a	146,11a	36,48a	123,61a	4,13a	3,43b

⁽¹⁾Óxido de Silício; ⁽²⁾Óxido de Alumínio; ⁽³⁾Óxido de Titânio; ⁽⁴⁾ Óxido de Ferro; ⁽⁵⁾Relação (SiO₂*1,70/Al₂O₃); ⁽⁶⁾Relação (SiO₂/0,60)/((Al₂O₃/1,02)+(Fe₂O₃/1,60)); ⁽⁷⁾Valor determinado em análises de laboratório; ⁽⁸⁾ Valor estimado pelas equações de regressão múltipla obtidas a partir das 22 bandas e 13 alturas; ⁽⁹⁾Student *t* teste, a 1% de significância, onde as médias com as mesmas letras, na coluna, não diferem entre si.