



Predição da textura do solo com espectrorradiômetro de baixo custo⁽¹⁾.

Alexandre ten Caten⁽²⁾; José Lucas Safanelli⁽³⁾; Walquiria Chaves Silva⁽⁴⁾; Bruno Fellipe Bottega Boesing⁽⁵⁾; Luiza Mantiça Kreimeier⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos Universal FAPESC nº2012000094 e auxílio CNPq nº406903/2013-1.

⁽²⁾ Professor; Universidade Federal de Santa Catarina campus Curitibanos (UFSC Curitibanos), Curitibanos, SC; E-mail: tencaten@gmail.com

⁽³⁾ Estudante de Agronomia (Bolsista PIBIC); UFSC Curitibanos; E-mail: zecojs@gmail.com

⁽⁴⁾ Estudante de Agronomia (Bolsista IC CNPq); UFSC Curitibanos; E-mail: walquiria.chs@gmail.com

⁽⁵⁾ Estudante de Agronomia (Bolsista PIBIT); UFSC Curitibanos; E-mail: brunofellipebb@gmail.com

⁽⁶⁾ Estudante de Agronomia; UFSC Curitibanos; E-mail: luizamantica@gmail.com

RESUMO: Um dos fatores limitantes para a aplicação mais ampla da técnica de Sensoriamento Proximal do Solo é o elevado custo dos equipamentos. O objetivo deste estudo foi avaliar a capacidade de um espectrorradiômetro, com capacidade de coleta de uma região limitada do espectro (325-1075 nm), em prever a textura do solo. As amostras foram coletadas na bacia hidrográfica do Rio Marombas (SC). No total 42 perfis foram amostrados de acordo com o protocolo Globalsoilmap.net. O conjunto de amostras foi agrupado nas profundidades 0-15, 15-60 e 60-200 cm e dividido em conjunto de calibração e validação (70/30) dos modelos. A predição foi realizada pelo método de Regressão por Mínimos Quadrados Parciais com os valores da segunda derivada da reflectância, no programa Unscrambler X 10.3. A predição da argila realizada com todas as 237 amostras, sem estratificação por profundidade, alcançou valores de $R^2=0,69$, RMSEP (%)=5,39 e DRP=1,78. Os resultados demonstram o potencial desta técnica como metodologia complementar de análise, associada a outras técnicas de rotina, o que pode resultar na diminuição de custos nas determinações da textura do solo.

Termos de indexação: espectrorradiometria de reflectância difusa, Mapeamento Digital do Solo, Morfometria Digital do Solo.

INTRODUÇÃO

A abordagem do Mapeamento Digital do Solo (MDS) tem se provado uma estratégia eficiente para construir bancos de dados de classes e propriedades do solo (McBratney et al., 2003). Colaborando nesta estratégia, o Sensoriamento Proximal do Solo (SPS) tem promovido a coleta de uma grande quantidade de dados espaciais, via uma metodologia mais rápida e menos laboriosa (Viscarra Rossel et al., 2009). Com o alcance de uma fase madura e de maior aceitação pela comunidade de pesquisadores da ciência do solo, ambas as abordagens (i.e MDS e SPS), deram origem a uma nova linha de investigação dentro da

União Internacional de Ciência do Solo, a saber: a Morfometria Digital do Solo (MoDS) (Hartemink & Minasny, 2014).

A Espectroscopia de Reflectância Difusa (ERD) operando no visível e no infravermelho próximo (V-IP) tem recebido atenção como uma técnica de SPS pelo potencial de gerar informações sobre o recurso natural solo. A ERD coleta um grande volume de dados em uma única assinatura espectral. Para lidar com esta grande disponibilidade de informações, métodos de análise multivariada de dados, como a Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (*Partial Least Squares Regression* - PLSR), têm mostrado capacidade de reduzir o grande volume de variáveis a um número menor de componentes. Esses componentes permitem explicar as relações entre a assinatura espectral e os atributos do solo (Viscarra Rossel et al., 2010).

Uma das limitações para uma aplicação mais ampla da técnica de SPS são os elevados custos dos equipamentos. Equipamentos com capacidade de coletar a totalidade do espectro na região do visível e infravermelho próximo (325 a 2500 nm) podem custar acima de 60.000,00 USD. Neste contexto, pesquisas precisam ser realizadas para ampliar o conhecimento quanto ao potencial preditivo de regiões limitadas do espectro eletromagnético e de equipamentos mais baratos. Além disso, as investigações devem abranger uma maior gama de solos existentes no planeta, buscando representar espectralmente os mais variados tipos.

O objetivo deste estudo foi o de avaliar a qualidade da predição da textura do solo realizada com uma região limitada do espectro (325-1075 nm) coletada por um espectrorradiômetro com custo de 15.000,00 USD.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de solo foram coletadas na bacia hidrográfica do rio Marombas (SC). O material de origem da região consiste, predominantemente, de rochas ígneas basálticas da formação Serra Geral.



O clima da região é mesotérmico úmido com verão ameno, com temperatura média anual de 16°C. A classificação climática de Köppen para a região é do tipo Cfb. A precipitação anual fica em torno de 1600 mm. A altitude da bacia hidrográfica abrange entre 900 e 1300 m acima do nível médio do mar. Os tipos de solos predominantes são Latossolos, Nitossolos, Cambissolos e Neossolos.

Em um total de 42 perfis de Latossolos, amostras foram coletadas de acordo com as especificações do consórcio Globalsoilmap.net (Globalsoilmap.net, 2011). Cada perfil teve, quando possível, amostras coletadas até a profundidade de 2m nos intervalos 0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100 e 100-200 cm. O conteúdo de carbono orgânico do solo (COS) e a textura das amostras foram determinados em 237 amostras de terra fina seca ao ar moídas e peneiradas em peneira de 2 mm. Areia, silte e argila (g kg^{-1}) foram determinadas pelo método da pipeta e o COS (g kg^{-1}) foi determinado pelo método da digestão úmida.

Em laboratório, em um ambiente controlado, as amostras de solo foram escaneadas por um espectrorradiômetro portátil FieldSpec HandHeld II (ASD Inc., Boulder, CO). O aparelho recobre o espectro de 325 a 1075 nm, com resolução espectral $<3\text{nm}$ a 700 nm. A leitura das amostras foi realizada em uma caixa internamente pintada de preto e com dimensões de 750 L x 400 A x 400 P mm. Cada amostra foi lida quatro vezes com uma rotação de 90° entre as leituras. Cada leitura foi composta de uma média de 100 leituras. A assinatura espectral final de cada amostra foi realizada a partir da média simples das quatro leituras.

Após pré-processamento dos dados, as assinaturas espectrais limitaram-se a uma região entre 400 e 980 nm para posteriores transformações e modelagem. A transformação dos dados foi executada pela derivação em segunda-ordem Savitzky-Golay em uma janela móvel de nove bandas. A opção por este método de transformação segue as orientações de Vasques et al. (2008). Foi utilizado PLSR para a modelagem no programa Unscrambler X 10.3 (CAMO Technologies Inc., Woodbridge, NJ).

O conjunto de dados foi posteriormente particionado em três subgrupos considerando a profundidade das amostras. A qualidade dos modelos por PLSR foi acessada pela subdivisão dos conjuntos de dados em calibração e validação (70% C / 30% V). Assim, ao todo, foram utilizados quatro grupos de dados formados por dados de textura e segunda derivada da reflectância: todo

conjunto de dados (166C / 71V), conjunto de 0-15 cm (59C / 25V), conjunto de 30-60 cm (58C / 24V), conjunto de 60-200 cm (51C / 20V). Anteriormente a modelagem os dados de areia, silte e argila foram transformados de g kg^{-1} para %. Os modelos foram avaliados a partir do coeficiente de determinação (R^2). De forma complementar foram usados a Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM), e o Desvio Residual da Predição (DRP).

O teste de Levene foi utilizado para avaliar a homogeneidade da variância entre os conjuntos de dados de calibração e validação. De acordo com os resultados de homogeneidade de variância (i.e. conjuntos de dados tiveram variância igual ou desigual), foi realizada uma comparação entre as médias pelo teste de Student. Todos os testes foram executados assumindo um valor crítico de p igual a 0,05 (95% de intervalo de confiança).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estatísticas descritivas

A textura dos solos amostrados na bacia hidrográfica do rio Marombas possibilita classificar estes solos como predominantemente muito argilosos e argilosos (**Figura 1**). Poucas amostras foram classificadas como siltosas e média siltosas. Os solos desta região são muito intemperizados com forte presença de óxidos de Fe. O predomínio das amostras nas classes muito argilosos e argilosos deve-se ao basalto, composto de plagioclásio cálcico e piroxênios, o qual se intemperiza por completo e forma a fração argila por processo de hidrólise deste material de origem.

Descrição qualitativa dos dados espectrais

Devido às amostras terem sido coletadas em Latossolos, as assinaturas espectrais destas eram muito semelhantes entre si. No entanto, as assinaturas espectrais demonstram um incremento na reflectância nas amostras mais profundas. Solos mais próximos a superfície possuem um maior conteúdo de COS, o qual absorve a radiação incidente e diminui a energia refletida e capturada pelo espectrorradiômetro. O COS variou entre 0,03 a 8,32% nas 237 amostras. A presença de valores elevados de COS deve-se ao constante aporte de materiais nas superfícies vegetadas. A altitude da região condiciona a temperatura média anual em 16°C, o que desfavorece a sua decomposição pelos microrganismos do solo.

A primeira e segunda derivadas destacam feições das assinaturas espectrais relacionadas à composição mineralógica das amostras. Segundo Torrent & Barrón (2002) a reflectância de solo muito



intemperizados como os Latossolos, contêm feições associadas à presença dos óxidos de ferro goetita e Hematita em 480 e 530 nm, respectivamente. Estas feições são associadas às transições eletrônicas ou vibracionais nos átomos e moléculas destes minerais. No caso de Latossolos esta característica é decisiva, e influencia a descrição morfológica e a determinação da cor destes solos.

Os valores de segunda derivada não demonstram a presença marcante da goetita nas amostras devido à presença de uma feição de concavidade entre 450-480 nm. Por outro lado, um pico forte nos valores de segunda derivada por volta de 540-560 nm está relacionado com a presença do óxido de ferro hematita. Estas feições descritas, obtidas pela derivada da reflectância das amostras, possibilitam explorar relações entre a assinatura espectral e a textura das amostras nos modelos por PLSR.

Desenvolvimento dos modelos preditivos

Entre todos os modelos testados, os melhores valores foram alcançados para a predição de argila (**Tabela 1**). A predição deste atributo alcançou um valor médio, entre todos os quatro conjuntos de dados, de $R^2=0,58$, seguido do silte com $R^2=0,56$. A predição da areia alcançou um valor médio para o R^2 de 0,24. As médias dos valores de DRP para areia, silte e argila foram 1,00, 1,47 e 1,55, respectivamente. Entre os diferentes grupos de dados, os melhores resultados foram alcançados pela predição de argila, considerando todas as profundidades um único conjunto de amostras. Para estes dados os resultados da modelagem foram de $R^2=0,69$, RQEM= 5,39% e DRP=1,78. Os piores valores da modelagem de argila por PLSR foram no conjunto de dados da profundidade 60/200 cm, com $R^2=0,46$, RQEM= 6,56% e DRP=1,35. Estes resultados são, de certa forma, diferentes do que era esperado. Como as amostras mais profundas têm um conteúdo COS menor, era esperado que este atributo causasse uma menor interferência em predições realizadas com amostras mais profundas no solo. Por outro lado, é preciso considerar que a modelagem foi realizada apenas com 51 amostras de calibração e 20 de validação, o que pode ter prejudicado a modelagem devido ao conjunto muito pequeno de amostras. Camargo et al. (2015) encontraram valores de DRP > 2 para a predição de argila. No entanto, os autores frisam a importância do número de amostras ser elevado.

Entre todos os modelos os piores resultados foram para a predição da areia com $R^2=0,09$, RQEM(%)=4,14 e DRP=0,65 no grupo de dados da profundidade de 60/200 cm (**Tabela 1**). Uma das razões para esta baixa qualidade da predição da

areia pode ter sido o pequeno conjunto de dados para esta profundidade (71 amostras). No entanto, mesmo com todo o conjunto de dados (237 amostras) a predição da areia demonstrou os piores resultados com $R^2=0,30$, RQEM(%)=5,47 e DRP=1,14. Estes resultados podem ser decorrência da predição estar sendo realizada em amostras de Latossolos, onde a grande presença da fração argila do solo pode estar causando um efeito de recobrimento da fração areia, o que pode dificultar a relação entre a mineralogia da fração areia e assinatura espectral destas amostras.

CONCLUSÕES

A predição do atributo areia em uma região limitada do espectro (i.e 325-1075 nm), e com dados de solo estratificados por profundidade, gerou modelos de qualidade reduzida (valor médio de DRP=1,00). Estes resultados indicam que existe uma limitação no emprego de uma região restrita do espectro para a predição do atributo areia.

Em um conjunto de 237 amostras, sem estratificação por profundidade, a predição da argila em Latossolos alcançou resultados satisfatórios (DRP=1,78). A predição do atributo argila pode ser possível a partir de um radiômetro de mais baixo custo.

AGRADECIMENTOS

A FAPESC pelo auxílio nº2012000094, e ao CNPq pelo auxílio nº 406903/2013-1.

REFERÊNCIAS

- CAMARGO, A.L.; MARQUES JÚNIOR, J.; BARRÓN, V. ET AL. Mapping of clay, iron oxide and adsorbed phosphate in Oxisols using diffuse reflectance spectroscopy, *Geoderma*, 251–252:124-132, 2015.
- GLOBALSOILMAP.NET. Specifications for GlobalSoilMap.net products. Version 2.0, Report 1, March 2011, 48p.
- HARTEMINK A. E. & MINASNY B. Towards digital soil morphometrics. *Geoderma*, 230–231:305-317, 2004.
- MCBRATNEY A. B., MENDONÇA SANTOS M. L., MINASNY B. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117:3-52, 2003.
- VASQUES G. M., GRUNWALD S., SICKMAN J.O. Comparison of multivariate methods for inferential modeling of soil carbon using visible/near-infrared spectra. *Geoderma*, 146:14-25, 2008.
- VISCARRA ROSSEL R. A. et al. In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by vis-NIR spectroscopy. *Geoderma*, 150:253-266, 2009.
- VISCARRA ROSSEL R. A., MCBRATNEY A.B., MINASNY B. *Proximal Soil Sensing*. Amsterdam: Springer, 2010. 446p.
- TORRENT, J. & BARRÓN, V. Diffuse Reflectance Spectroscopy of Iron Oxides. In: *Encyclopedia of Surface and Colloid Science*, 2002, p.1438-1446.

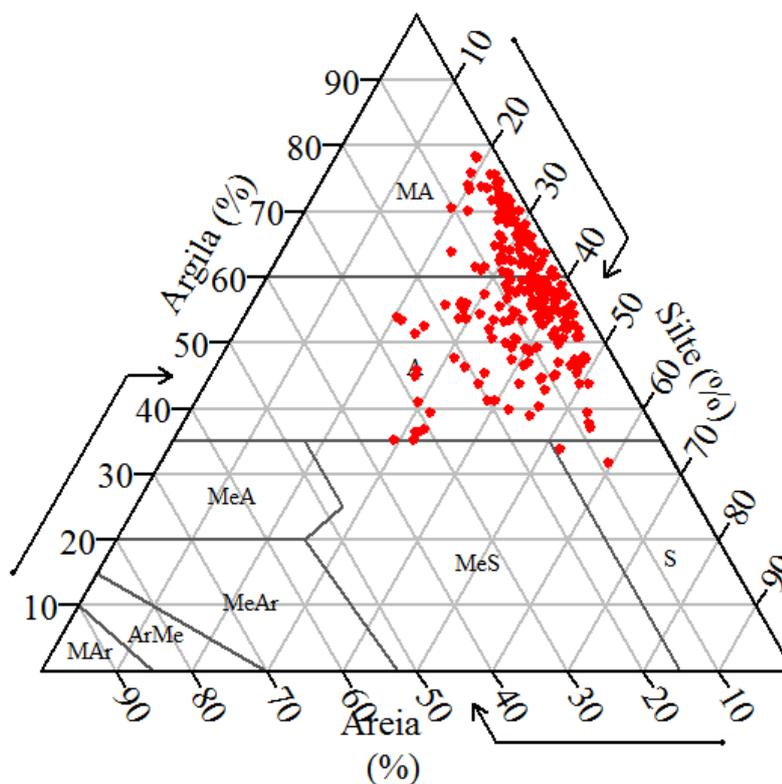


Figura 1: Triângulo textural das 237 amostras utilizadas no estudo. Legenda: muito argilosa (MA), argilosa (A), siltosa (S), média siltosa (MeS), média argilosa (MeA), média arenosa (MeAr), arenosa media (ArMe) e muito arenosa (MAr).

Tabela 1 – Valores do coeficiente de determinação (R^2), raiz quadrada do erro médio (RQEM), desvio residual da predição (DRP) e número de fatores das predições nos quatro conjuntos de dados.

Atributo do solo	todo conjunto de dados				profundidade 00-15 cm			
	R^2	RQEM ² (%)	DRP	Fator (n°)	R^2	RQEM (%)	DRP	Fator (n°)
Areia ¹	0,30	5,47	1,14	7	0,10	5,30	0,87	6
Silte ¹	0,59	5,18	1,54	7	0,72	4,27	1,67	7
Argila ¹	0,69	5,39	1,78	5	0,60	5,07	1,57	2
	profundidade 15-60 cm				profundidade 60-200 cm			
Areia	0,45	6,14	1,34	7	0,09	4,14	0,65	7
Silte	0,53	4,37	1,41	6	0,38	6,52	1,27	3
Argila	0,58	5,84	1,51	7	0,46	6,56	1,35	3

¹O teste Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos dos atributos areia, silte e argila indicou que os mesmos têm distribuição normal com valores de p de 0,34, 0,11 e 0,12, respectivamente.