

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo deste trabalho será disponibilizado somente a partir de 27/01/2018.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CARACTERIZAÇÃO DO SOLO DO PLANALTO
OCIDENTAL PAULISTA POR ESPECTROSCOPIA DE
FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X**

Milene Moara Reis Costa

Engenheira Agrônoma

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CARACTERIZAÇÃO DO SOLO DO PLANALTO
OCIDENTAL PAULISTA POR ESPECTROSCOPIA DE
FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X**

Milene Moara Reis Costa

Orientador: Prof. Dr. José Marques Júnior

Coorientadora: Dra. Livia Arantes Camargo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

2017

Costa, Milene Moara Reis.
C837c Caracterização do solo do Planalto Ocidental Paulista por
Espectroscopia de Fluorescência de Raios x / Milene Moara Reis
Costa. – – Jaboticabal, 2017
xiv, 58 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: José Marques Júnior
Coorientadora: Lívia Arantes Camargo
Banca examinadora: Marcílio Vieira Martins, Antônio Carlos
Azevedo
Bibliografia

1. Geomorfologia. 2. Pedogênese. 3. Geoquímica. I. Título. II.
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.416

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CARACTERIZAÇÃO DO SOLO DO PLANALTO OCIDENTAL PAULISTA POR ESPECTROSCOPIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

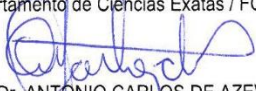
AUTORA: MILENE MOARA REIS COSTA

ORIENTADOR: JOSÉ MARQUES JUNIOR

COORDINADORA: LIVIA ARANTES CAMARGO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Pós-doutoranda LIVIA ARANTES CAMARGO
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. ANTONIO CARLOS DE AZEVEDO
Departamento de Ciências do Solo / ESALQ/USP - Piracicaba/SP


Prof. Dr. MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 27 de julho de 2017

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MILENE MOARA REIS COSTA- Filha de Marlene Antonia Reis Costa e Antonio Cunha da Costa, nasceu em Capanema – PA, no dia 21 de março de 1989. Em março de 2010 ingressou no Curso de Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal Rural da Amazônia, Câmpus Belém. Foi bolsista na incubadora tecnológica de Empreendimentos Solidária de 2011 a 2012 pelo programa de pesquisa interno da UFRA e bolsista de Iniciação Científica no período de 2012 a 2014, pelo programa de Inovação Tecnológica do Centro Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Em 2015 ingressou no Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal), na Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal – SP, desenvolvendo o projeto de pesquisa “Mapeamento Geoquímico Dos Solos Do Planalto Ocidental Paulista”. Atua como membro ativo do Grupo de Pesquisa Caracterização do Solo para fins de Manejo Específico (CSME) da UNESP, Câmpus de Jaboticabal, desde 2015.

*“Plante seu jardim e decore sua alma,
ao invés de esperar que alguém lhe
traga flores. E você aprende que
realmente pode suportar, que
realmente é forte, e que pode ir muito
mais longe depois de pensar que não
se pode mais. E que realmente a vida
tem valor e que você tem valor diante
da vida!”*

— William Shakespeare

DEDICO

Aos meus pais Antônio Cunha e Marlene Reis, a minha irmã Milena Aparecida, que sempre me apoiaram nos meus estudos.

Aos meus avós, Maria Reis e Carlos Reis e José Ferreira e Idalina Cunha (in memoriam). Pela dedicação e apoio em todos os momentos da minha vida. Amos vocês.

OFEREÇO

À Deus e Nossa Senhora de Nazaré, por sempre me conceder sabedoria nas escolhas dos melhores caminhos, coragem para acreditar, força para não desistir e proteção para me amparar.

AGRADECIMENTOS

Primeiro a Deus, Sempre presente na minha vida, por conceder-me a oportunidade de aumentar meus conhecimentos, ter me dado força e motivação para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador Professor Dr. José Marques Junior, pelos valiosos ensinamentos e confiança, pelas palavras de incentivo em todas as etapas desse trabalho, tenho orgulho em dizer que um dia fui sua orientada.

A minha co-orientadora Livia Arantes Camargo, pelos ensinamentos e paciência na hora das dúvidas; pelo entusiasmo e pela inestimável colaboração prestada durante toda a condução desse trabalho.

Aos meus pais Antônio e Marlene e minha avó Maria, pelo amor incondicional e pela paciência. Por terem feito o possível e o impossível para me oferecerem a oportunidade de estudar, acreditando e respeitando minhas decisões e nunca deixando que as dificuldades acabassem com os meus sonhos, serei imensamente grata.

Aos meus avós José Ferreira e Idalina e Carlos Reis, que mesmo de longe sempre estiveram presentes ajudando e torcendo por mim.

A minha Irmã Milena e a minha prima Islanna, por terem sentido junto comigo, todas as angústias e felicidades, acompanhando cada passo de perto. Pelo amor, amizade, e apoio depositados.

As amigas, Aline Santos, Maria Pimentel, Suzane Moreira, pela amizade que me ajuda a dividir os problemas e a somar alegrias.

As minhas amigas e companheiras de casa Elizabeth e Daniele, por toda ajuda em nossos períodos de convivência, por sempre estenderem os braços nas horas de dificuldade, por todos os bons momentos, pelas risadas e as longas conversas até amanhecer, melhor convívio, não poderia encontrar.

Aos amigos Gustavo, Camila, Reginaldo, Hugo, Vinicius, Reynaldo, Kamila, Rafael, Maílson, pelas ótimas histórias vividas, pela amizade e por ajudar a tornar a vida acadêmica muito mais divertida.

As minhas amigas Bruna e Renata, pelos momentos divididos juntos. Aos poucos nos tornamos mais que amigas quase irmãs. Obrigada por dividirem comigo as angústias e alegrias e ouvirem minhas bobagens. Como

diz Milton Nascimento “*Amigo é coisa pra se guardar, debaixo de sete chaves, dentro do coração*”. Obrigada pela amizade!

Aos amigos e companheiros de trabalho, Renato Aquino, um irmão que encontrei perdido nessa cidade, Danilo Baldo e Laércio Santos, obrigada pelos incentivos, pelas risadas que amenizavam o stress diário, pelas conversas que muito me ajudaram e pela torcida positiva, pela amizade e companhia, que me ajudou a concluir esta jornada. Muito obrigado!

Aos demais amigos e companheiros de trabalho Diego Silva Siqueira, Nélida Queiroz, Simone Gomes, Romário, Beatriz Coelho, Frederico Siansi, Vinicius Augusto Filla, Adrien Dorvalino Ferroni, Bruno Barbosa Mialichi, Yves Soares Menon, Gustavo Silva de Sousa, Renan Radaeli dos Santos e Gabriel Augusto da Silva Cirilo, Kathleen Lourenço, Angélica Bahia. A ajuda de vocês foi essencial para esse trabalho em todos os momentos, sempre dispostos a ajudar, vocês foram fundamentais nesses dois anos de trabalho, desde os pequenos até os grandes problemas.

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, e ao programa de pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) pela oportunidade.

Ao MCTI/CNPQ- Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações/ Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- Universal 2016 (Proc. Nº 402796/2016-0) pelo apoio financeiro e concessão da bolsa.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelo financiamento da pesquisa.

Aos professores Dr. Glauco de Souza Rolim, Dr. Jairo Osvaldo Cazetta e Dr. Antonio Sergio Ferraudo pela participação e contribuições no exame geral de qualificação, que ofereceram sugestões significativas para a melhoria do presente trabalho.

Aos membros da banca de defesa, professores Dr. Marcílio Vieira Martins e Dr. Antonio Carlos Azevedo, por se disponibilizarem prontamente em contribuir para a melhoria deste Trabalho e para meu crescimento profissional.

Durante esses dois anos só tenho a agradecer a todos que passaram pelo meu caminho, e que com certeza deixaram um pouco de si. Os momentos de alegria serviram para me permitir acreditar na beleza da vida, e os de

sofrimento, serviram para um crescimento pessoal único. É muito difícil transformar sentimentos em palavras, mas serei eternamente grata a vocês, pessoas imprescindíveis para a realização e conclusão deste trabalho.

“Quem tem um amigo, mesmo que um só, não importa onde se encontre, jamais sofrerá de solidão; poderá morrer de saudades, mas não estará só”

Amir Klink

SUMÁRIO

Página

LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS	xiv
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais	15
1.1 INTRODUÇÃO	15
1.2. REVISÃO DE LITERATURA	17
1.2.1 Importância do levantamento de solos	17
1.2.2 Relação Solo-Paisagem	20
1.2.3 Planalto Ocidental Paulista	21
1.2.4. Uso da Espectroscopia de fluorescência de raios X	23
1.3. REFERÊNCIAS	26
CAPÍTULO 2 – Caracterização do solo do planalto ocidental paulista por espectroscopia de fluorescência de raios X	33
2.1 INTRODUÇÃO	34
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	37
2.2.1 Localização e caracterização da área de estudo	37
2.2.2 Análise dos compartimentos da paisagem	38
2.2.3 Planejamento amostral	39
2.2.4 Análises laboratoriais	39
2.2.5 Espectroscopia de fluorescência de raios X	40
2.2.6 Análises estatísticas	40
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
2.3.1 Caracterização dos solos	41
2.3.2 Análises de Espectroscopia de Fluorescência de raios X (EFRX)	44
2.3.3 Análises de componentes principais (ACP)	47
2.4 CONCLUSÕES	53
2.5 REFERÊNCIAS	53

CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS DO PLANALTO OCIDENTAL PAULISTA POR ESPECTROSCOPIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

RESUMO- A agricultura atual necessita de metodologias para determinação de atributos do solo que sejam menos agressivas ao meio ambiente. A espectroscopia de fluorescência de raios X (EFRX) tem sido uma técnica promissora no fornecimento simultâneo de análise quantitativa e elementar da composição do solo. Sobre este aspecto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar as classes, geologia e geomorfologia dos solos do Planalto Ocidental Paulista, utilizando EFRX e a técnica multivariada. Foram coletadas 262 amostras de solo na profundidade de 0,0 – 0,2 m, para caracterização química, mineralógica e espectral. As intensidades dos picos dos elementos Si, Al, Fe e Ti dos espectros obtidos pela EFRX relacionaram-se com as classes de solos, formações geológicas e graus de dissecação da paisagem presentes no Planalto Ocidental Paulista. A análise de componentes principais, utilizando os dados obtidos pela EFRX, aliados aos atributos argila, areia, teores de Fe extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e por oxalato ácido de amônio, permitiu a caracterização das classes de solos, formações geológicas e graus de dissecação da paisagem presentes na região de estudo. A intensidade do pico do Fe apresentou o segundo maior autovetor na caracterização do eixo da componente principal 1, e as intensidade dos picos do Ti e Si apresentaram, respectivamente, o quarto e o quinto maiores autovetores neste eixo.

Palavras-chave- geomorfologia, pedogênese, geoquímica.

CHARACTERIZATION OF THE SOILS OF WESTERN PAULISTA PLANTEAU BY X-RAY FLUORESCENCE SPECTROSCOPY

ABSTRACT- Current agriculture needs methodologies to determine soil attributes that are less aggressive to the environment. X-ray fluorescence spectroscopy (EFRX) has been a promising technique in providing simultaneous quantitative and elemental analysis of soil composition. The objective of this work was to characterize the classes, geology and geomorphology of the soils of the Western Plateau, using EFRX and the multivariate technique. A total of 262 soil samples were collected at 0.0 - 0.2 m depth for chemical, mineralogical and spectral characterization. The intensities of the peaks of the Si, Al, Fe and Ti elements of the spectra obtained by the EFRX were related to the classes of soils, geological formations and degrees of dissection of the landscape present in the Western Plateau. The main components analysis, using the data obtained by EFRX, allied to the attributes clay, sand, Fe content extracted by dithionite-citrate-bicarbonate sodium and ammonium oxalate, allowed the characterization of the soil classes, geological formations and degrees of dissection of the landscape present in the study region. The intensity of the peak of Fe presented the second largest eigenvector in the characterization of the axis of the main component 1, and the intensity of the peaks of Ti and Si presented, respectively, the fourth and fifth largest eigenvectors on this axis

Key words- geomorphology, pedogenesis, geochemistry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 (Capítulo 2) – Mapa geológico atualizado do Planalto Ocidental Paulista (escala semidetalhada 1:200.000). Fonte: Fernandes et al. (2007).

Figura 2 (Capítulo 2) – Mapa pedológico do Planalto Ocidental Paulista (Escala: 1:300.000). FONTE: Instituto Agrônomo de Campinas.

Figura 3 (Capítulo 2) – Proposta de unidades de dissecação da paisagem para o Planalto Ocidental Paulista. (Extraído de: Silva (2016).

Figura 4 (Capítulo 2) – Espectros de EFRX dos solos desenvolvidos de Basalto, em diferentes níveis de dissecação da paisagem.

Figura 5 (Capítulo 2) – Espectros de EFRX dos solos desenvolvidos de arenito, em diferentes níveis de dissecação da paisagem.

Figura 6 (Capítulo 2) – Espectros de EFRX referentes às classes de solo do Planalto Ocidental Paulista.

Figura 7 (Capítulo 2) – 5 O Gráfico biplot mostra a distribuição das classes de solo e das variáveis argila, areia, Fed, Feo, Int_Ti, Int_Fe, Int_Al, Int_Si, nos dois primeiros componentes principais. LVf= Latossolo Vermelho férrico, LVA= Latossolo Vermelho-Amarelo, LVma= Latossolo-Vermelho textura media a arenosa, PVA= Argissolo Vermelho-Amarelo.

Figura 8 (Capítulo 2) – 6 O Gráfico biplot mostra a distribuição da geologia e das variáveis argila, areia, Fed, Feo, Int_Ti, Int_Fe, Int_Al, Int_Si, nos dois primeiros componentes principais.

Figura 9 (Capítulo 2). 7 O Gráfico biplot mostra a distribuição dos graus de dissecação e das variáveis argila, areia, Fed, Feo, Int_Ti, Int_Fe, Int_Al, Int_Si, nos dois primeiros componentes principais.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 (Capítulo 2) – Estatística descritiva das classes solos LVf= Latossolo-Vermelho férrico, LVA= Latossolo Vermelho-Amarelo, LVma= Latossolo-Vermelho textura media a arenosa, PVA= Argissolo Vermelho-Amarelo do Planalto Ocidental Paulista.

Tabela 2 (Capítulo 2) – Estatística descritiva dos compartimentos geológicos, do solo do Planalto Ocidental Paulista.

Tabela 3 (Capítulo 2) – Estatística descritiva dos graus de dissecação da paisagem, do solo do Planalto Ocidental Paulista.

Tabela 4 (Capítulo 2) – Correlação dos componentes principais (CP).

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1.1 INTRODUÇÃO

O solo é a interface pela qual as quatro grandes esferas ecológicas: atmosfera, biosfera, litosfera e hidrosfera, fornecem nutrientes para as plantas, fibras e energia, além de regular as emissões de gases do efeito estufa, sendo importante seu gerenciamento de forma sustentável (MCBRATNEY et al., 2014; AMUNDSON et al., 2015; ARROUAYS et al., 2017). São cada vez mais importantes o planejamento e o gerenciamento dos recursos do solo, bem como a necessidade de gerar informações detalhadas para exercer melhor gestão de seu uso e ocupação de forma sustentável (GREALISH et al., 2015).

O melhor uso e manejo dos solos está diretamente relacionada à disponibilidade de informações acerca das interações dos atributos dos solos, Países como a China e a Austrália utilizam o mapeamento detalhado de atributos do solo como ferramenta para planejamento de práticas de conservação do solo e da água, agrícola, e urbana (LIU et al., 2013; PADARIAN et al., 2015, VISCARRA-ROSSEL; CHEN, 2011; VISCARRA-ROSSEL; WEBSTER, 2012). No Brasil, estudos semelhantes ainda são escassos para serem utilizados no planejamento regional e estadual do uso e da ocupação do solo (SIQUEIRA et al., 2014; PADARIAN; MINASNY; MCBRATNEY, 2015).

O Planalto Ocidental Paulista (POP) possui grande importância socioeconômica para o Estado de São Paulo. É uma das principais áreas de cultivo de citros do País, responsável por aproximadamente 80% da produção nacional, além de participar em grande parte da produção de álcool e açúcar. O compartimento geológico mais expressivo é o Arenito do Grupo Bauru, com diferentes feições do relevo, intensidade e duração dos processos pedológicos e as características do material de origem determinando o tipo e a distribuição do solo nas paisagens, seguindo uma lógica relacionada aos processos geomorfoгенéticos e pedogenéticos.

O mapeamento de áreas utilizando dados da variabilidade espacial dos minerais da fração argila permite obter informações mais detalhadas dos solos e de seus atributos físicos e químicos, com vantagem de economizar tempo e reduzir erros. Diante disso precisamos investi em técnicas que sejam menos

agressivas ao meio ambiente, menos onerosas para auxiliar na determinação de atributos do solo e que auxiliem no mapeamento da variabilidade destes com maiores níveis de detalhe.

A Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (EFRX) fornece, simultaneamente, uma análise quantitativa e a composição multielementar das amostras. E vem sendo aplicada para a análise direta e simultânea da biodisponibilidade de macronutrientes do solo e níveis-traços, na caracterização de solos. O método é rápido, envolve pouca preparação de amostras e é altamente sensível na determinação de elementos químicos; assim, tem potencial para garantia de qualidade da caracterização de ambientes. Vários trabalhos demonstram a potencialidade da técnica de EFRX na viabilização dos mapeamentos de áreas específicas de manejo e de levantamentos de solo detalhados, pois auxilia a determinação de atributos diagnósticos.

Estudos com EFRX vêm sendo utilizados para fins de mapeamento, que utiliza um elevado número de amostras, aliados a estatísticas multivariadas em diferentes estudos com objetivos de determinação de parâmetros de qualidade e de classificação de solos. A EFRX é uma metodologia analítica promissora e pode ser utilizada para inferir informações sobre geoquímica, agricultura de precisão, degradação do solo e avaliação ambiental (KANIU et al., 2012; FIGUEROA-CISTERNA et al., 2011; THOMAZ; MELQUIADES, 2009).

A EFRX é uma ferramenta de análise indireta dos atributos do solo e vem de encontro com as necessidades do desenvolvimento de técnicas alternativas de análises de atributos do solo de menor impacto ambiental, menor custo e maior eficiência. Com isso o presente trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar as classes, a geologia e a geomorfologia dos solos do Planalto Ocidental Paulista, utilizando EFRX e a análise multivariada.

2.4 CONCLUSÕES

1. As intensidades dos picos dos elementos Si, Al, Fe e Ti dos espectros obtidos pela espectroscopia de fluorescência de raios X (EFRX) tem relação com as classes de solo, formações geológicas e graus de dissecação da paisagem presentes no Planalto Ocidental Paulista.

2. A análise de componentes principais, utilizando os dados obtidos pela EFRX, aliados aos atributos argila, areia, teores de Fe extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e por oxalato ácido de amônio, permitiu uma discriminação das classes de solos, formações geológicas e graus de dissecação da paisagem presentes na região de estudo.

2.5 REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A. A. B.; PRESSINOTTI, M. M. N.; MASSOLI, M. Estudos sedimentológicos das formações Botucatu e Pirambóia na região de Santa Rita do Passa Quatro, SP. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 31-38, 1981. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.5935/0100-929X.19810003>.>

BATEZELLI, A.; GOMES, N. S.; PERINOTTO, J. A. J. Petrografia e evolução diagenética dos arenitos da porção norte e nordeste da Bacia Bauru (Cretáceo Superior). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 311-322, 2016.

BELLIENI, C.; MARQUES, L. S.; MELFI, A. J.; PICCIRILLO, E. M.; NARDY, A. J. R.; ROISENBERG, A. High-and low-TiO₂ flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. **Neues Jahrbuch für Mineralogie**, Abhandlungen, v. 150, p. 273-306, 1984.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G. T.; HORVAT, R. A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas de relevo I - Mineralogia da fração argila. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2269-2277, 2008. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000600006>.

CAMARGO, L. A.; MONTANARI, R.; MARQUES JR, J.; CAMPOS, M. C. C.; SOUZA, Z. M. Caracterização mineralógica de Latossolos em diferentes feições do relevo na região de Jaboticabal, SP. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 191 –199, 2010a.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMARGO, L. A. Relações solo-paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 519–529, 2007.

COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do grupo Bauru II – Mineralogia. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 495-507, 2003. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000300011>.

CUNHA, P.; MARQUES Jr, J.; CURI, N.; PEREIRA, G. T.; LEPSCH, I. F. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma topossequência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 81-90, 2005. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000100009>.

DEMATTE, J. A.; MORETI, D.; VASCONCELOS, A. C. F.; GENU, A. M. Uso de imagens de satélite na discriminação de solos desenvolvidos de basalto e arenito na região de Paraguaçu Paulista. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 7, p. 697-706, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. Ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2013. 353 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1997. 212 p.

ESPINDOLA, C. R. **Retrospectiva crítica sobre a pedologia**. Campinas: Editora UNICAMP; 2008.

FERNANDES, L. A.; CASTRO, A. B.; BASILICI, G. Seismites in continental sand sea deposits of the Late Cretaceous Caiuá Desert, Bauru Basin, Brasil. **Sedimentary Geology**, v. 199, p. 61 –64, 2007. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2005.12.030>.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 164-176, 1994.

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 Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 245-257, 2004.

FROGBROOK, Z. L.; OLIVER, M. A. Identifying management zones in agricultural fields using spatially constrained classification of soil and ancillary data. **Soil Use and Management**, v. 23, p. 40-51, 2007.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, L.; BLACK, W. C. **Multivariate Data Analysis**. 5 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998. 730p.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. p. 688.

HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks, I. Silicate minerals. **Modern Geology**, v. 1, p. 283–300, 1970.

HÜRKAMP, K.; RAAB, T.; VÖLKE, J. Two and three-dimensional quantification of lead contamination in alluvial soils of a historic mining area using field portable X-ray fluorescence (FPXRF) analysis. **Geomorphology**, v. 110, n. 1, p. 28-36, 2009.

KANIU, M. I.; ANGEYO, K. H. Challenges in rapid soil quality assessment and opportunities presented by multivariate chemometric energy dispersive X-ray fluorescence and scattering spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 241, p. 32-40, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.10.014>.

KANIU, M. I.; ANGEYO, K. H.; MWALA, A. K.; MANGALA, M. J. Direct rapid analysis of trace bioavailable soil macronutrients by chemometrics-assisted energy dispersive X-ray fluorescence and scattering spectrometry. **Anal Chimica Acta**, n. 729, p. 21-25, 2012.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 720p.

MARQUES JR, J. **Caracterização de áreas de manejo específico no contexto das relações solo-relevo**. 2009. 113f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

MARQUES Jr, J. **Distribuição e atributos dos solos em relação à forma e evolução de uma vertente em Monte Alto, SP**. 1995. 226p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. **Iron oxide removal from soils and clays by a dithionitecitrate system buffered with sodium bicarbonate**. In: Swineford A. (Ed.). National conference on clays and clay mineral. Washington: Pergamon Press, 1960. p. 317– 342.

MINITAB, R. **Making Data analysis Easier**: version 13.1, 2000.

MONTANARI, R.; MARQUES JR, J. CAMPOS, M. C. C. SOUZA, Z. M.; CAMARGO, L. A. Caracterização mineralógica de Latossolos em diferentes feições do relevo na região de Jaboticabal, SP. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 191 –199, 2010.

MORI, P. E.; REEVES, S.; CORREIA, C. T.; HAUKKA, M. Development of a fused glass disc XRF facility and comparison with the pressed powder pellet technique at Instituto de Geociências, São Paulo University. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, p. 441 -446, 1999.

O'ROURKE, S. M.; MINASNY, B.; HOLDEN, N. M.; MCBRATNEY, A. B. Synergistic Use of Vis-NIR, MIR, and XRF Spectroscopy for the Determination of Soil Geochemistry. **Soil Science Society of America Journal**, v. 80, n. 4, p. 888-899, 2016. Disponível em: < doi:10.2136/sssaj2015.10.0361.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. 1999. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: legenda expandida. Campinas: Instituto Agrônomo/EMBRAPA Solos, 1999. v.1. 64p.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: legenda expandida. Campinas: Instituto Agrônomo/EMBRAPA Solos, 1999. v.1. 64p.

OLIVEIRA, P. C. A.; RODRIGUES, S. C. Cartografia do relevo: um estudo aplicado na região oeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, p. 37-44, 2007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v8i2.91>.

QUEIROZ NETO, J. P. O. Estudo de formações superficiais no Brasil. **Revista Instituto Geológico**. 2001, vol.22, n.1-2, p. 65-78. Disponível em:< <http://dx.doi.org/10.5935/0100-929X.20010003>.

RAYMENT, G. E.; LYONS, D. J. **Phosphorus soil chemical methods Australasia**. CSIRO Publ., Collingwood, VIC. 2011.

SCHAEFER, C. E. G. R.; FABRIS, J. D.; KER, J.C. Minerals in the clay fraction of Brazilian Latosols (Oxisols): a review. **Clay Minerals**, v. 43, n. 1, p. 137-154, 2008. Disponível em: <10.1180/claymin.2008.043.1.11.

SCHWERTMANN, U.; FITZPATRICK, R. W.; TAYLOR, R. M.; LEWIS, D. G. The influence of aluminium on iron oxides. Preparation and properties of Al-

substituted hematites. **Clays and Clay Minerals**, Aurora, v. 27, n. 2, p. 269-276, 1979.

SILVA, A. R.; SOUZA JR, I. G. S.; COSTA, A. C. S. Suscetibilidade Magnética do horizonte B de solos do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 329-337, 2010.

SILVA, L. S. **Mineralogia Da Fração Argila Dos Solos Do Planalto Ocidental Paulista**. 2016. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Ciência do Solo). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, 2016.

SOARES Jr, A. A. **Argilominerais de um Argissolo Vermelho Distrófico arênico, na região de Marília-SP**. In: Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, 13, 2005, Piracicaba. Anais... Piracicaba: ESALQ, 2005. 1 CD ROM

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J.; SOBREIRO NETO, A. F. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 10, n. 3, p. 177-185, 1980.

SOUBRAND-COLIN, M.; HOREN, H.; COURTIN-NOMADE, A. Mineralogical and magnetic characterisation of iron titanium oxides in soils developed on two various basaltic rocks under temperate climate. **Geoderma**, Amsterdam, v. 149, n. 1, p. 27-32, 2009.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 937-944, 2004. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000600001>

SURFER 7.0. **Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers**. User's Guide. New York: Golden software, Inc, 1999. 619p.

VAN DAM, R.; HARRISON, J. B. J.; HIRSCHFELD, D. A., MEGLICH, T. M.; LI, Y.; NORTH, R. E. Mineralogy and magnetic properties of basaltic substrate soils: Kaho'olawe and Big Island, Hawaii. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, n. 1, p. 244-257, 2008.

VASCONCELOS, V.; MARTINS, E. S.; CARVALHO JR, A. O.; MARQUES JR, J.; SIQUEIRA, D. S.; COUTO JR, A. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; REATTO, A. Sistema de classificação geomorfométrica baseado em uma arquitetura sequencial em duas etapas: árvore de decisão e classificador espectral, no parque nacional Serra Da Canastra. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 171 –186, 2012.

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. **Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data**. Tópicos Ciência do Solo, v. 2, p. 145, 2002.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel D, ed. **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. 350p.

WEINDORF, D. C.; ZHU, Y.; HAGGARD, B.; LOFTON, J. Enhanced pedon horizonation using portable x-ray fluorescence spectrometry. **Soil Science Society American Journal**, v. 76, n. 2, p.522-531, 2012. Disponível em: < 10.2136/sssaj2011.0174.

ZHU, Y.; WEINDORF, D. C.; ZHANG, W. Characterizing soils using a portable X-ray fluorescence spectrometer: 1. Soil texture. **Geoderma**, Amsterdam, v. 167, p. 167-177, 2011.