

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE - UNICENTRO-PR

**ESPACIALIZAÇÃO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E DO
TEOR DE ARGILA E SUAS RELAÇÕES COM AS
CURVAS ESPECTRAIS EM ÁREA DE LATOSSOLO
BRUNO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ANDRESSA DRANSKI

GUARAPUAVA-PR

2016

ANDRESSA DRANSKI

**ESPACIALIZAÇÃO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E DO TEOR DE ARGILA E SUAS
RELAÇÕES COM AS CURVAS ESPECTRAIS EM ÁREA DE LATOSSOLO BRUNO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Aline Marques Genú
Orientador

Prof. Dr. Marcelo Marques Lopes Müller
Co-Orientador

Prof. Dr. Marcos Rafael Nanni
Co-Orientador

GUARAPUAVA

2016

Catálogo na Publicação
Biblioteca Central da Unicentro, Campus Santa Cruz

D764e Dranski, Andressa
Espacialização de atributos químicos e do teor de argila e suas relações com as curvas espectrais em área de latossolo bruno / Andressa Dranski. – Guarapuava, 2016.
xi, 39 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, 2016

Orientadora: Aline Marques Genú
Banca examinadora: Marcelo Marques Lopes Müller, Marcos Rafael Nanni

Bibliografia

1. Agronomia. 2. Produção vegetal. 3. Quantificação de atributos. 4. Variabilidade. 5. Curvas espectrais. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

CDD 630

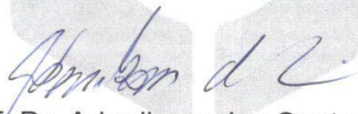
Andressa Dranski

**ESPACIALIZAÇÃO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E DO TEOR DE ARGILA E SUAS
RELAÇÕES COM AS CURVAS ESPECTRAIS EM ÁREA DE LATOSSOLO BRUNO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 29 de julho de 2016.


Prof^a. Dr^a. Aline Marques Genú
(UNICENTRO)


Prof. Dr. Adenilson dos Santos Lima
(UNICENTRO)


Prof. Dr. Marcio Furlan Maggi
(UNIOESTE)

GUARAPUAVA-PR

2016

ANDRESSA DRANSKI

**ESPACIALIZAÇÃO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E DO TEOR DE ARGILA E SUAS
RELAÇÕES COM AS CURVAS ESPECTRAIS EM ÁREA DE LATOSSOLO BRUNO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 29 de julho de 2016.

Profº Dr. Marcio Furlan Maggi - UNIOESTE

Profº Dr. Adenilson dos Santos Lima - UNICENTRO

Profº. Dr. Aline Marques Genú – Orientador

GUARAPUAVA-PR

2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força para vencer as dificuldades. A CAPES pela concessão da bolsa, a Professora e Orientadora Aline Marques Genú pelo companheirismo e apoio prestado em momentos difíceis e aos meus co-orientadores, Professores Marcelo Müller e Marcos Nanni, a secretária Lucília, pela amizade e aos professores.

A minha família, principalmente à minha mãe Neunilha e ao meu pai Antonio Dranski (**in memória**), que mesmo não estando ao meu lado fisicamente me deu o maior exemplo de vida.

O meu obrigada especial vai para os meus amigos que me deram apoio incondicional, foram eles: Adriano Suchoronczek e Ciro Brojan, e a todos os meus amigos pelas boas energias que enviaram. Agradeço também aos colegas Leila Bernart e Vlandiney Eschemback pelo auxílio nas coletas.

Muito Obrigada!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Grade de amostragem de solo. Guarapuava-PR, 2014.....	13
Figura 2. Distribuição espacial das classes quanto ao teor de argila na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.	19
Figura 3. Distribuição espacial das classes quanto ao teor cálcio (Ca) na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.	19
Figura 4. Distribuição espacial das classes quanto ao teor de potássio (K) na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.	20
Figura 5. Distribuição espacial das classes quanto ao teor de magnésio (Mg) na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.....	20
Figura 6. Distribuição espacial das classes quanto ao teor de fósforo (P) na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.....	21
Figura 7. Distribuição espacial das classes quanto ao teor de matéria orgânica (MO) na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.	22
Figura 8. Distribuição espacial das classes quanto a capacidade de troca de cation (CTC) na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.	23
Figura 9. Distribuição espacial das classes quanto a saturação de bases (V%) na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.....	24
Figura 10. Distribuição espacial das classes quanto ao pH na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.	24
Figura 11. Distribuição espacial das classes quanto a saturação de alumínio (m%) na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.	25
Figura 12. Espectrorradiômetro Fieldspac, marca ASD. UEM, Maringá, 2015.....	31
Figura 13. Curva espectral média para amostras de solo com diferentes intervalos no teor de matéria orgânica (g dm ⁻³). UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.....	33
Figura 14. Curva espectral média para amostras de solo com diferentes intervalos no teor de cálcio (cmol _c dm ⁻³). UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.	34

Figura 15. Curva espectral média para amostras de solo com diferentes intervalos na saturação de bases (%). UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016. 35

Figura 16. Curva espectral média para amostras de solo com diferentes intervalos no teor de argila (g kg^{-1}). UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016. 36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica do solo da área de estudo. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.	14
Tabela 2. Valores dos atributos químicos e da granulometria para os solos analisados. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.	17
Tabela 3. Número e porcentagem de amostras nas distintas classes para cada atributo. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.	18
Tabela 4. Classes de intervalo dos atributos do solo. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.	32

SUMÁRIO

RESUMO	I
ABSTRACT	II
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	2
2.1. Geral.....	2
2.2. Específicos.....	2
3. REFERENCIAL TEÓRICO	3
3.1. Variabilidade dos atributos do solo	3
3.2. Curvas espectrais.....	5
3.2.1. Óxidos de ferro	5
3.2.2. Minerais de argila silicatados	6
3.2.3. Umidade do solo	6
3.2.4. Matéria Orgânica.....	7
3.2.5. Cálcio e Saturação de bases.....	6
3.3. Referências.....	9
4. ESPACIALIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E DO TEOR DE ARGILA... 12	
4.1. Introdução.....	12
4.2. Materiais e Métodos	13
4.2.1. Localização da área e condições edafoclimáticas	13
4.2.2. Amostragem e análises de solo	13
4.2.3. Mapas	14
4.2.4. Análise Estatística	15
4.3. Resultados e Discussão	16
4.4. Conclusão.....	26
4.5. Referências.....	27
5. CURVAS ESPECTRAIS DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E TEOR DE ARGILA EM LATOSSOLO BRUNO.....	29

5.1. Introdução	29
5.2. Material e Métodos	30
5.2.1. Amostragem e análises de solo	30
5.2.2. Espectrorradiometria	30
5.2.3. Geração das curvas espectrais.....	31
5.3. Resultados e Discussão	33
5.4. Conclusões.....	37
5.5. Referências	38

ESPACIALIZAÇÃO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E DO TEOR DE ARGILA E SUAS RELAÇÕES COM AS CURVAS ESPECTRAIS EM ÁREA DE LATOSSOLO BRUNO

RESUMO

O solo apresenta uma variabilidade natural nos seus atributos químicos e físicos assim como gerada pelo seu manejo sendo de importância agrícola e ambiental cada vez maior perceber esta variabilidade e saber como manejar. Para tanto, diferentes estratégias podem ser usadas como a geração de mapas de atributos e o uso da resposta espectral do solo para verificar tal variação. Desta forma, o objetivo do trabalho foi avaliar a espacialização dos atributos químicos do solo e do teor de argila em área de Latossolo Bruno em Guarapuava-PR e a sua influência nas curvas espectrais. O estudo foi realizado em Guarapuava, PR coletando-se amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm em um gride de 50x50 m. Na sequência as amostras de solo foram secas, moídas, peneiradas em malha de 2 mm para a realização das análises químicas, granulométricas e leituras espectrais. Após a obtenção dos dados analíticos e espectrais os mesmos foram correlacionados com suas coordenadas geográficas e separados em classes para cada atributo químico a ser avaliado. Posteriormente, foram gerados os mapas dos atributos químicos e argila do solo pelo método do inverso da distância (IDW) e as curvas espectrais médias em função das classes pré-definidas. Os atributos químicos do solo apresentaram elevada variabilidade em ambas as camadas de solo amostradas, sendo os atributos de maior variabilidade fósforo, potássio e a saturação de alumínio. Todas as amostras apresentaram valores maiores que 25 g dm⁻³ para a matéria orgânica, porém foi observada baixa variabilidade para este atributo e também para o teor de argila e pH. Maiores teores de matéria orgânica e a argila proporcionam menor intensidade de reflectância em todo o espectro eletromagnético. Para os atributos químicos, a saturação por bases apresenta maior intensidade com maiores teores na faixa de 350 – 1350 nm enquanto o teor de cálcio demonstra efeito apenas em 1950 nm, com maior reflectância nos menores do nutriente.

Palavra-chave: quantificação de atributos, variabilidade, curvas espectrais.

SPACIALIZATION OF CHEMICAL ATTRIBUTOS AND CLAY CONTENT AND THEIR RELATIONS WITH SPECTRAL CURVES IN A BROWN LATOSOL AREA

ABSTRACT

The soil has a natural variability in their chemical and physical attributes as well as generated by its management and agricultural and environmental importance increasingly perceive this variability and know how to handle. To achieve this, different strategies can be used to generate maps attributes and use the spectral response of soil to verify this variation. Thus, the objective of this study was to evaluate the spatial distribution of soil chemical properties and clay content in Oxisol area in Guarapuava-PR and its influence on the spectral curves. The study was conducted in Guarapuava, PR by collecting soil samples from depths of 0-20 and 20-40 cm in a gride 50x50 m. Following the soil samples were dried, ground, sieved through a 2 mm mesh for carrying out chemical, grain size and spectral readings analysis. After obtaining the analytical and spectral data they were correlated with their geographical coordinates and separated into classes for each chemical attributes to be evaluated. Subsequently, the maps of the chemical attributes and soil clay by the inverse distance method (IDW) and the average spectral curves as a function of the predefined classes were generated. The soil chemical properties showed high variability in both sampled soil layers, the higher phosphorus variability attributes, potassium and aluminum saturation. All samples showed values greater than 25 g dm⁻³ for the organic matter, but there was a low variability for this attribute and for the clay content and pH. Higher levels of organic matter and clay provide lower reflectance intensity throughout the electromagnetic spectrum. For chemical attributes, base saturation has greater intensity with higher levels in the range of 350 - 1350 nm while the calcium content demonstrates an effect only in the 1950 nm with higher reflectance at lower nutrient.

Keywords: quantification of attributes; variability; spectral curves.

1. INTRODUÇÃO

Estudos têm sido realizados para caracterizar e mapear solos para o uso agrícola e ambiental, as pesquisas desenvolvidas estão focadas na necessidade de desenvolvimento de técnicas rápidas e menos onerosas para a geração de mapas e análise de solos (HUETE, 2004). Sabe-se que a variabilidade do solo existe e que influencia fortemente as suas características e trabalhos têm sido realizados com o intuito de conseguir minimizar os seus efeitos. A origem da variabilidade do solo e de seus atributos está relacionada diretamente à ação dos cinco fatores de formação, sendo o relevo e a geologia, os que influenciam o movimento da água na superfície e subsuperfície, afetando diretamente a distribuição das propriedades do solo na paisagem.

O estudo da variabilidade do solo vem sendo avaliada a partir da aplicação da análise geoestatística e geração de mapas, por meio do uso de distintos métodos de interpolação. Com isso, é possível verificar como as condições de solo estão distribuídas no espaço e, assim, melhor manejar o solo (CAON e GENÚ, 2013).

Outra tecnologia passível de ser utilizada na avaliação dos atributos do solo é a espectrorradiometria cujos primeiros trabalhos referentes a resposta espectral de solos foram desenvolvidos por Bowers e Hanks (1965) e a partir de então mais estudos vêm sendo realizados incrementando o conhecimento sobre as propriedades da reflectância dos solos e quais atributos influenciam na resposta espectral dos solos e de que forma isso acontece.

Cada constituinte do solo responde de modo diferente quando colocado sob a radiação eletromagnética, devido à combinação heterogênea existente entre os diversos componentes. A combinação entre minerais do solo, matéria orgânica e umidade influencia o comportamento espectral dos solos possibilitando seu uso na observação da variabilidade dos atributos do solo.

2. OBJETIVO

2.1. Geral

Avaliar a espacialização dos atributos químicos do solo e do teor de argila em área de Latossolo Bruno em Guarapuava-PR e a sua influência nas curvas espectrais.

2.2. Específicos

- Analisar a espacialização de atributos químicos e granulométricos do solo;
- Caracterizar os atributos químicos e o teor de argila por meio de curvas espectrais médias.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Variabilidade dos atributos do solo

A variabilidade espacial não é uma preocupação recente, com os primeiros estudos sobre o tema datando de 1910 e abordando temas como o estudo de parcelas no campo buscando eliminar efeitos da variabilidade, o efeito da variabilidade no nitrogênio, umidade e infiltração de água no solo (DUARTE, 2015).

Mesmo em locais considerados uniformes, a tomada de medidas de uma característica em alguns pontos pode apresentar grande variação. O solo é heterogêneo e a sua heterogeneidade e variabilidade, sendo espacial, horizontal (em superfície) ou vertical (em profundidade) é uma soma dos fatores de formação do solo e o manejo utilizado ao longo dos anos na área (SOUZA et al., 2001).

Quanto aos fatores de formação do solo, diversos autores relatam a associação entre a variabilidade do solo e a forma da paisagem (GUIMARÃES et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2013; SOUZA et al., 2003) uma vez que isso define o fluxo, distribuição e sazonalidade da água na paisagem de forma que a compreensão da forma do relevo é fundamental para o entendimento e quantificação de processos erosivos e da variabilidade dos atributos do solo (SANCHEZ et al., 2009). A pedoforma é, então, fator de grande importância na variabilidade dos atributos físicos e químicos do solo, sendo que a pedoforma linear apresenta menor variabilidade em relação a côncava ou a convexa. A pedoforma côncava leva a concentração de água, enquanto a convexa facilita a dispersão e perda de água do sistema (SOUZA, 2006).

A caracterização dos atributos físicos e químicos do solo apresenta diversas aplicações, como estudar e compreender o efeito da curvatura do terreno sobre a variabilidade espacial das características físicas do solo (CAMARGO et al, 2010), planejar adequadamente a amostragem do terreno, relacionar a produtividade com os atributos do solo, estudar o processo de erosão e perda do solo e melhor compreender o processo de degradação das pastagens

Ainda, segundo Guimarães et al. (2016), a variabilidade espacial não é apenas atribuída ao processo de formação dos solos, mas também ao sistema de preparo empregado, pois estes podem levar a modificações ou perdas na camada superficial do solo além de que com o passar dos anos conduz ao aumento da heterogeneidade, por meio do preparo do solo,

pelo desmatamento realizado, rotação de cultura, localização da aplicação dos fertilizantes (aplicados em linhas ou em faixas) (CAVALCANTE et al, 2007).

Conhecer a variabilidade dos atributos do solo sob diferentes usos e sistemas de manejo constitui-se numa importante ferramenta para que se possa empregar manejo mais adequado (CAVALCANTE et al., 2007). O número de amostras para que análise química de uma área seja representativa pode variar de acordo com o manejo empregado, culturas anteriores e a aplicação de fertilizantes (SILVEIRA et al., 2000).

Após realizar análises, interpretá-las e definir a fertilidade média são realizadas as aplicações de adubos, muitas vezes excessivas, pois a análise química expressa um único valor para todo um talhão, não levando em consideração a variabilidade do solo. Isso contribui para superestimar ou subestimar os teores de nutrientes no solo, levando a um excesso ou déficit nutricional em distintos locais da mesma área (MATIAS et al., 2015).

Conhecer e caracterizar a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo é de fundamental importância para o gerenciamento de uma cultura. Com estas informações é possível o mapeamento dos atributos e a construção de mapas de recomendação, uma vez que levando em conta a variabilidade natural dos fatores de produção é possível otimizar as aplicações de corretivos e fertilizantes, realizando-as de maneira localizada, diminuindo a degradação do meio ambiente e melhorando os fatores de produção (SILVA et al., 2007; ALVES et al., 2014).

Nos sistemas de cultivo, há discordância em relação a redução da variabilidade espacial com o aumento do tempo de adoção do sistema. Em estudo conduzido por Chiba et al. (2010), foi verificada homogeneização dos atributos químicos após manejo da área por dois anos sob sistema de plantio direto. Já Negreiros Neto et al. (2014) verificou heterogeneidade em um Latossolo Vermelho Amarelo quanto aos aspectos químicos e físicos em área manejada sob sistema de plantio direto por 8 anos.

Cavalcante et al. (2007) estudando a variabilidade de atributos químicos de solo do Cerrado sob sistema de manejo convencional, plantio direto, pastagem e vegetação natural observaram que a variabilidade para o pH foi baixa e similar para todos os sistemas. Os teores de Ca apresentaram coeficiente de variação médio para o sistema de plantio direto e pastagens nas profundidades estudadas (0 – 10 e 10 – 20 cm) e no sistema convencional de 0 – 10 cm, para os demais sistemas e profundidades os valores foram considerados altos. K e Mg apresentaram coeficiente de variação para todos os sistemas, já a saturação de bases

(V%) apresentou valores de CV classificados como baixos para o plantio direto, e médio para os demais sistemas de manejo.

Em Latossolo, Cambissolo e Argissolo de áreas destinadas a pastagem, Guimarães et al. (2016) verificaram que as características físicas do solo (condutividade hidráulica em solo saturado, densidade do solo, macro e microporosidade e porosidade total) estão correlacionadas com a declividade das áreas e que a dependência espacial foi afetada pela classe de solo, declividade e uso da terra.

3.2. Curvas espectrais

Sensoriamento remoto pode ser definido como “a arte e a ciência de aquisição de informações sobre um objeto sem estar em contato físico direto com ele” (JENSEN, 2007). O sensoriamento é tido como ferramenta utilizada na Agronomia, mais aprofundada no estudo de solos, sendo buscado maior compreensão nesta área quanto as curvas espectrais e suas características mais específicas capazes de caracterizar e discriminar os solos (DEMATTE e GARCIA, 1999).

Uma das principais técnicas de sensoriamento remoto é a espectrorradiometria de reflectância (MENESES e MADEIRA NETTO, 2001), que consiste em mensurar a quantidade de radiação refletida do solo, sem o contato direto entre a fonte de radiação, uma lâmpada, e o objeto irradiado, a amostra de solo. O sensor mede o quão intensa é a energia refletida pelo objeto ao longo do espectro eletromagnético, resultando em curvas espectrais, gráficos ou dados numéricos (DALMOLIN et al., 2005).

A intensidade e forma da curva espectral possibilita a identificação de atributos do solo, uma vez que respostas específicas ocorrem nas curvas de acordo com os atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo (FORMAGGIO e EIPHANIO, 2001). Tais respostas ocorrem devido aos tipos de transição de energia que acontecem no processo de interação entre o solo e a radiação que incide sobre ele.

3.2.1. Óxidos de ferro

A hematita e a goethita são óxidos de ferro e ocorrem em solos tropicais e subtropicais e influenciam os solos, tanto no comportamento espectral, como na sua química e física. Para quantificar a relação hematita/goethita, a técnica espectrofotométrica já era

indicada por Rezende (1980). Estes autores observaram diferentes comportamentos para os espectros obtidos em estudos com solos brasileiros. O autor encontrou feição característica destes minerais, sendo identificada por um pico de absorção na curva espectral entre 440 nm e 460 nm que foi caracterizada e relacionada com o aumento da goethita.

Inúmeras feições espectrais são atribuídas à presença de ferro, influenciando os intervalos do espectro entre 530nm para a hematita e 480 nm para a goethita havendo também uma banda em 900 nm e essas bandas são ainda mais intensas conforme o aumento dos teores de ferro (SHERMAN e WAITE, 1985).

A ilmenita e a magnetita, também minerais do grupo dos óxidos, são encontradas em rochas máficas como o basalto e não possuem bandas de absorção, mas por serem minerais de alta absorção da energia eletromagnética e opacos, quando estão presentes a intensidade de reflectância diminui em todo o espectro eletromagnético (DEMATTE et al., 2003)

3.2.2. Minerais de argila silicatados

O intemperismo do solo e o material de origem influenciam fortemente a composição mineralógica do solo. Conhecer a composição mineralógica é imprescindível para se saber analisar o comportamento espectral dos solos, por ele ter várias feições de absorção e estar diretamente relacionado com o albedo que conferem às curvas espectrais (DALMOLIN et al., 2005).

Os estudos sobre os minerais de argila são dirigidos aos minerais 2:1, 1:1 e gibsitita. Nestes estudos foi observado que a curva de reflectância possui feições de absorção em 1400 e 1900 para os minerais 2:1 como a montmorilonita, causadas pelas vibrações das moléculas de água na estrutura cristalina dos minerais de argila, essas vibrações também ocorrem em 2200 nm, devido à caulinita sem, no entanto, apresentar bandas tão intensas em 1400 e 1900 nm (DEMATTE et al., 2004; HUNT e SALISBURY, 1970). Já a gibsitita, por sua vez, apresenta banda de absorção em 2245 nm (DEMATTE et al., 2004).

3.2.3. Umidade do solo

Todas as formas de água do solo estão ativas na região do visível ao infravermelho ondas curtas, porque se baseiam nas vibrações dos grupos OH, podendo ser classificadas em três grandes categorias: a) água de hidratação: que está inserida à estrutura do mineral. b)

água higroscópica: água absorvida na camada mais superficial do solo e c) água livre: que está ocupando os poros. Cada uma destas categorias faz com que a curva espectral seja diferente, sendo possível identificar a condição da água no solo (BEN-DOR, 2001).

Para a água de hidratação minerais como a gibsita demonstram fortes ligações com OH, que são feições características entre 1400 e 1900 nm (HUNT et al., 1971). A água higroscópica é adsorvida na superfície de minerais e matéria orgânica. O formato das curvas é afetado pela presença da água em torno de 1400 e 1900 nm de maneira acentuada, e nas bandas em torno de 950 e 1200 nm são menos acentuados (BEN-DOR, 2001). Água livre, é aquela que não se encontra na fase higroscópica e também não está completando todo o poro.

Stoner et al. (1991) em estudo demonstrou que se houver aumento da umidade do solo, haverá uma diminuição da refletância e que a forma das curvas espectrais permanece inalterada, apenas as bandas de absorção típicas, nas regiões 1400 nm e 1900 nm são exceções.

3.2.4 Matéria Orgânica

A matéria orgânica (MO) interfere em características do solo, estando relacionada com a coloração do solo, agregação, geração de carga dentre outras e por consequência afeta a refletância do solo. Ao longo do espectro eletromagnético influencia no albedo e na forma da curva espectral, existindo trabalhos que fazem inferência à intervalos espectrais para predições do teor deste elemento (DALMOLIN et al., 2005)

Ainda não está totalmente elucidada a dinâmica da matéria orgânica, não apenas desta, mas também de outros elementos do solo, fazendo com que exista dificuldade para realizar tais estudos. Em regiões de clima frio e úmido, como a região de Guarapuava, ocorre maior acúmulo de matéria orgânica. A resposta espectral dos solos é influenciada pela matéria orgânica, com a diminuição da intensidade de refletância (DEMATTÊ e GARCIA, 1999).

Demattê et al. (2003), ao retirar a matéria orgânica dos solos trabalhados, demonstraram que a resposta principal foi a elevação da refletância no espectro, o que se pode constatar em comparação com a testemunha.

Segundo Bellinaso et al. (2010) a presença da matéria orgânica leva a uma diminuição da intensidade da curva, mais exatamente na faixa espectral de 350-1350 nm. Ademais, a presença da MO pode mascarar os óxidos de ferro que estão presentes no solo,

o que faz com que as bandas de absorção destes minerais sejam afetadas (DEMATTÊ et al., 2003). Foram mascarados os efeitos dos óxidos de ferro na cor e na reflectância, quando foram encontrados valores maiores que 17 kg de matéria orgânica, esse efeito foi mais intenso na região do visível.

A matéria orgânica apresenta processos vibracionais, que ao entrar em contato com iluminação incidente, absorvem energia. Um mesmo elemento, como a matéria orgânica, no caso, possui a capacidade de estar presente e influenciando em várias feições do espectro, demonstrado o potencial de reagir com outros componentes e tendo efeito em muitas bandas de absorção em diferentes proporções.

3.2.5 Cálcio e Saturação de bases

A influência das propriedades químicas na resposta espectral dos solos tem sido pouco explicada, devido à natureza dinâmica das reações do solo. Montgomery (1976) demonstrou que a capacidade de troca de cátions pode alterar a reflectância dos solos. Outros fatores indicadores das condições químicas do solo, como os teores de cálcio e potássio, contribuíram para alteração da energia refletida, conforme relatado por Schreier (1977). Boluda et al. (1993) concluíram que solos com maiores teores de carbonato de cálcio apresentaram maior intensidade de reflectância.

A grande maioria dos solos brasileiros são quimicamente dessaturados, como os Latossolos. Por este motivo o manejo químico é realizado frequentemente, com o propósito de melhorar a fertilidade desses solos, alterando a CTC efetiva, os teores de alumínio e as bases trocáveis (RAIJ, 1991).

3.3. Referências

- ALVES, S.M. F; DE QUEIROZ, D.M.; DE ALCÂNTARA, G.R.; DOS REIS, E.F. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo usando técnicas de análise de componentes principais e geoestatística. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, p. 22-30, 2014.
- BELLINASSO, H.; DEMATTÊ, J. A. M.; ROMEIRO, S. A. Soil spectral library and its use in soil classification. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 861-870, 2010.
- BEN-DOR, E. Quantitative Remote Sensing of Soil Properties. **Advances in Agronomy**, v.75, p. 173-243, 2001.
- BOLUDA, R.; COLOMER, J.C.; MORELL, C.; SÁNCHEZ, J. Estudio de las curvas de reflectividad y su relacion con las propiedades de los suelos en zona semiárida (Castilla-la Mancha, España), 1993.In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE LA CIÊNCIA DEL SUELO, España, **Anais...** Salamanca, 1993. p.1-8.
- BOWERS, S.A.; HANKS, R.J. Reflection of radiant energy from soils. **Soil Science**, v.100, n.2, p.130-138, 1965.
- CAON, D.; GENÚ, A.M. Mapeamento de atributos químicos em diferentes densidades amostrais e influência na adubação e calagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.6, p.629–639, 2013.
- CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Spatial variability of physical attributes of an alfisol under different hillslope curvatures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.617-630, 2010.
- CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z.M.D.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 31, p. 1329-1339, 2007.
- CHIBA, M.K.; VIEIRA, S.R.; GONZÁLEZ, A.P.; DECHEN, S.C. MARIA, I.C. Alteration and spatial variability of soil fertility en successive years under no tillage system. **Bragantia**, v. 69, supl., p. 29-38, 2010.
- DALMOLIN, R.S.D.; GONÇALVES, C.N.; KLAMT, E.; DICK, D.P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, v. 35, n. 2, p. 481-489, 2005.
- DEMATTÊ, J. A. M; GARCIA, G. J. Avaliação de atributos de Latossolo Bruno e de terra bruna estruturada da região de Guarapuava, Paraná, por meio de sua energia refletida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p.343-355, 1999.
- DEMATTÊ, J.A.M.; EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A. Influência da matéria orgânica e de formas de ferro na reflectância de solos tropicais. **Bragantia**, v. 62, n. 3, p. 451-464, 2003.

DEMATTE, J. A. M.; TOLEDO, A. M. A.; SIMÕES, M. S. Metodologia para reconhecimento de três solos por sensores: laboratorial e orbital. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 877-889, 2004.

DUARTE, S.D.J. **Variabilidade espacial do solo em sistema plantio direto estabilizado**. 2015. 72 f. Dissertação (Mestre em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N. Feições espectrais e parâmetros analíticos de solos tropicais brasileiros, 2001. Foz do Iguaçu. **Anais... X SBSR: INPE**, 2001. p. 1399-1401.

GUIMARÃES, W.D.; JUNIOR, J.G.; MARQUES, E.A.; SANTOS, N.T.; FERNANDES, R.B. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 47, n. 2, p. 247, 2016.

HUETE, A. R. Remote sensing of soils and soil processes. Remote sensing for natural resources management and environmental monitoring. **Manual of remote sensing**, v. 4, n. 1, p. 3-52. 2004.

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.

HUNT, G. R., SALISBURY, J. W., LENHOFF, C. J. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: Sulfides and sulfates. **Modern Geology**, v. 3, p 1-14, 1971.

JENSEN, J.R. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**, Saddle River: Prentice-Hall, 2007. 609 p.

MATIAS, S.S.R.; BAPTISTEL, A.C.; NOBREGA, J.C.A.; ANDRADE, F.R.; SILVA, J.B.L.D. Variabilidade espacial dos atributos do solo em duas áreas de manejo convencional no Cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 58, n. 2, p. 217-227, 2015.

MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO J.S. Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais. Brasília: Embrapa Cerrados, 2001. 262 p.

MONTGOMERY, O.L. **An investigation of the relationship between spectral reflectance and chemical, physical, and genetic characteristics of soils**. 1976. 143 f. Tese (Doutorado) –, Purdue University, West Lafayette.

NEGREIROS NETO, J.V.; DOS SANTOS, A.C.; GUARNIERI, A.; SOUZA, D.J.D.A.T.; DARONCH, D.J.; DOTTO, M.A.; DOS SANTOS ARAÚJO, A. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 193-204, 2014.

OLIVEIRA, D.P.; FERREIRA, T.O.; ROMERO, R.E.; FARIAS, P.R.; COSTA, M.C. Microrrelevo e a distribuição de frações granulométricas em Cambissolos de origem calcária. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 4, p. 676-684, 2013.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, **Agronômica Ceres**. p. 343, 1991.

REZENDE, S. **Geomorphology, mineralogy and genesis of four soils on gneiss in southeastern Brazil**. 1980. 143 f. Tese (Doutorado) –, Purdue University, West Lafayette.

SANCHEZ, R.B.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.D.; PEREIRA, G.T.; MARTINS FILHO, M.V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, v. 68, n. 4, p. 1095-1103, 2009.

SCHREIER, H. Quantitative predictions of chemical soil conditions from multi-spectral airborne, ground and laboratory measurements. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 4., Ottawa, 1977. Proceedings. **Ottawa, Canadian Aeronautics & Space Inst.** p.106-112, 1977.

SHERMAN, D.M.; WAITE, T.D. Electronic spectra of Fe oxides and oxide hydroxides in the near IR to near UV. **American Mineralogist**, v.70, p.1262-1269, 1985.

SILVA, F.M.; AUGUSTO, Z.M.D.S.C.; DE FIGUEIREDO, P.; MACHADO, J.M.J.R.V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, p. 401-407, 2007.

SILVEIRA, P.M.; ZIMMERMANN, F.O.P.; SILVA, S.C.; CUNHA, A.A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 2057-2064, 2000.

SOUZA Z.M.; SILVA, M.L.S.; GUIMARÃES, D.T.S.; CARVALHO, M.P.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.25, p.699-707, 2001.

SOUZA, C.K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, G.T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1067-1074, 2003.

SOUZA, C. K. **Variabilidade espacial de atributos de solo e produtividade em área cultivada com café orgânico e convencional**. 2006. 74 p. Tese (Doutorado Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2006.

STONER, E.; DERKSEN, I.; MACEDO, J. Discriminação espectral de Latossolos do Planalto Central Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 10, p. 1599-1606, 1991.

4. ESPACIALIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E DO TEOR DE ARGILA

4.1. Introdução

O solo, por mais uniforme que seja visualmente, ainda pode apresentar variabilidade nos seus atributos químicos e físicos. Em solos considerados homogêneos e que são alocados na mesma classe de solo é possível identificar variabilidade espacial dos atributos em níveis suficientes para afetar a produtividade das culturas (AMARO FILHO et al., 2007).

O solo é um sistema heterogêneo e a sua variabilidade, sendo ela espacial horizontal ou vertical é uma soma dos fatores de formação e do manejo empregado durante vários anos. A forma da paisagem também é um fator que apresenta grande influência sobre as características do solo, pois os em locais planos tendem a apresentar menor variabilidade que os localizados em áreas de relevo mais ondulado ou acidentado (OLIVEIRA et al., 2013; SOUZA, 2006).

Essa variabilidade deve ser considerada no procedimentos e técnicas de manejo, reduzindo despesas com amostragens e análises desnecessárias, otimizando a aplicação de corretivos e fertilizantes, evitando sub e superestimativas das doses de corretivos e fertilizantes, o que auxilia na diminuição de contaminações ambientais por uso excessivo destes produtos e contribui para a redução dos custos de produção, além de proporcionar a utilização do máximo potencial produtivo da área (CAVALCANTE et al., 2007; SILVEIRA et al., 2000; MATIAS et al., 2015).

Segundo Duarte (2015), o desenvolvimento de estudos com enfoque voltado a variabilidade espacial é fundamental, pois por meio deste conhecimento é possível auxiliar no manejo dos solos, agricultura de precisão, no planejamento de propriedades e na modelagem de dados socioambientais.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi analisar a espacialização dos atributos químicos e do teor de argila de um Latossolo Bruno em Guarapuava-PR.

4.2. Materiais e Métodos

4.2.1. Localização da área e condições edafoclimáticas

O estudo foi realizado no distrito de Entre Rios, Guarapuava (PR). O clima da região é do tipo Cfb, segundo classificação climática de Köppen (IAPAR, 2016), sem estação seca durante o ano e com geadas frequentes e severas no inverno, a precipitação média anual é de 2.022 mm, a temperatura média anual de 16,5 °C e a altitude do local é de 1127 metros.

A área de estudo encontra-se na unidade de mapeamento LBD7 – Associação de Latossolo Bruno distrófico úmbrico e Cambissolo Háptico Tb distrófico úmbrico, de acordo com o mapa de solos do Estado do Paraná (EMBRAPA, 2008).

4.2.2. Amostragem e análises de solo

Para a amostragem de solo foi realizada a definição do perímetro da área a partir da utilização da imagem de satélite. Posteriormente, com o limite da área, gerou-se uma grade amostral de 50 x 50 m (Figura 1), a qual foi inserida em GPS de navegação para guiar a coleta de solo. A coleta foi realizada nos 42 pontos estabelecidos pela grade nas profundidades de 0-20, 20-40 cm com trado holandês.

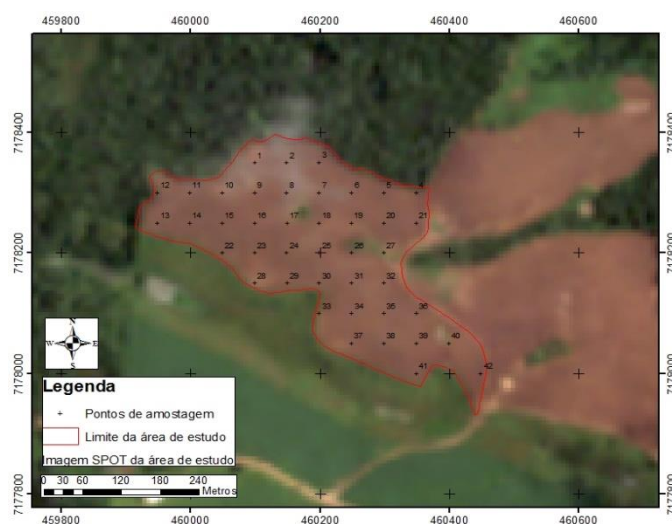


Figura 1. Grade de amostragem de solo. Guarapuava-PR, 2014.

As amostras foram levadas para o Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Estadual do Centro Oeste, secas em estufa a 40° por 48 horas e então moídas

e peneiradas, para na sequencia serem encaminhadas para análise química e granulométrica.

Foram realizadas a determinação do pH em CaCl₂, matéria orgânica (MO), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio mais alumínio (H + Al), potássio (K) e fósforo (P) conforme metodologias apresentadas por Pavan et al. (1992). Com base nos resultados obtidos, foram calculados a capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%). A análise granulométrica, para quantificar o teor de areia, silte, argila, foi realizada pelo método do densímetro de acordo com Embrapa (1997). O resultado das análises químicas e granulométricas nas duas camadas de solo amostradas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica do solo da área de estudo. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

Camada	pH	MO ¹	P ²	K ³	Ca ⁴	Mg ⁵	H + Al ⁶	V ⁷	Argila	Silte	Areia
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³			%	g kg ⁻¹		
0-20	4,42	42,23	3,95	0,19	2,6	2,18	7,19	41,65	558,3	246,1	195,6
20-40	4,1	37,98	2,41	0,12	2,4	2,42	8,8	36,65	565,6	241	193,4

¹Matéria orgânica; ²Fósforo; ³Potássio; ⁴Cálcio; ⁵Magnésio; ⁶Acidez potencial; ⁷Saturação por bases.

4.2.3. Mapas

Os dados referentes ao perímetro da área e das coordenadas dos pontos amostrados, foram inseridos no programa ArcGIS 10.2 e os dados analíticos obtidos relacionados aos pontos georreferenciados no próprio programa. Na sequencia, os dados para cada atributo foram analisados quanto a dependência espacial, sendo verificado efeito pepita puro. Desta forma, os atributos do solo analisados foram interpolados pelo método do inverso da distância (IDW) gerando um mapa de distribuição para cada atributo do solo.

Na sequencia, cada mapa foi reclassificado a partir de três classes baseando-se nos valores estatísticos dos quartis. A primeira classe refere-se aos valores menores ou iguais ao quartil inferior (25%), a terceira classe refere-se aos valores maiores ou iguais ao quartil superior (75%) e a segunda classe corresponde aos valores entre estes dois quartis. Utilizou-se esta metodologia para a definição das classes tendo em vista que não

existem limites críticos dos elementos químicos do solo para a cultura da batata, a qual que seria implantada na área, no Paraná.

4.2.4. Análise Estatística

Inicialmente, foi realizada estatística descritiva para para descrever e sumarizar o conjunto de dados sendo que o coeficiente de variação foi classificado conforme Pimentel-Gomes (1984), em baixo quando inferior a 10%, médio quando entre 10 e 20%, alto entre 20 e 30% e muito alto quando acima de 30%.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa SAS 8.2 (SAS,1999).

4.3. Resultados e Discussão

A estatística descritiva dos atributos do solo foi realizada para as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm (Tabela 2). Para a camada superficial (0-20 cm) os menores valores de desvio padrão foram dos atributos K, pH, Mg e Ca, com os valores de 0,10, 0,34, 0,37 e 0,39 respectivamente. Na camada de 20-40, os menores valores foram: 0,06 e 0,29 para K e pH. Os maiores valores foram para m%, 6,71 em 0-20 e 5,82 em 20-40 cm.

Os menores valores de coeficiente de variação (CV) foram para o atributo argila, nas duas profundidades. O maior CV foi obtido pelo m% em 0-20 com valor foi de 75,01 enquanto em 20-40 cm o valor foi de 50,65 para K, coeficientes considerados muito altos de acordo com Pimentel-Gomes (1984).

A média de V% para a camada de 0-20 cm foi de 41,65, sendo desta maneira considerado distrófico, no entanto o valor máximo foi de 50,32%, indicando a presença de pontos com solo eutrófico, porém com um valor não muito acima do limite para a classificação de solos distróficos. Já para a camada de 20-40 cm o maior valor encontrado foi o de 49,35, dessa forma, pode-se observar que os valores de ambas as camadas foram limítrofes ou abaixo de 50%, assim sendo classificados como distróficos na sua maioria.

Os valores de magnésio ficaram acima do nível crítico para solos de alta e média fertilidade, ou seja, todas as amostras apresentaram valores maiores que $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

O cálcio apresentou valores aproximados nas duas profundidades, uma maior quantidade deste nutriente em subsuperfície faz com que a raiz cresça e se aprofunde beneficiando a produtividade da cultura (CAIRES et al., 2001).

Todas as amostras apresentaram valores maiores que 25 g dm^{-3} para a matéria orgânica, nas duas profundidades, este resultado demonstra que os teores de matéria orgânica estão mantidos em quantidades adequadas para o sistema de manejo utilizado.

O teor de argila médio foi de $565,61 \text{ g kg}^{-1}$, classificando o solo como argiloso, porém com maiores teores em 630 g kg^{-1} o que alteraria para muito argiloso (Tabela 2).

Alguns atributos químicos como o fósforo, potássio e saturação de alumínio apresentaram elevados valores de coeficiente de variação e conseqüentemente elevada variabilidade. Esse alto valor para estes atributos provavelmente se deve aos efeitos residuais de adubações anteriores, já que a adubação é realizada na linha de plantio, enquanto a aplicação de corretivos como gesso e calcário e a deposição de restos culturais é realizada a lanço, não ocorrendo homogeneidade na área (CAVALCANTE et al., 2007)

Tabela 2. Valores dos atributos químicos e da granulometria para os solos analisados. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

Atributos	Média	DP ¹	Mín ²	Máx ³	CV ⁴
0-20 cm					
pH em CaCl ₂	4,42	0,34	3,91	4,98	7,78
Matéria Orgânica (g dm ⁻³)	42,23	1,00	40,00	44,57	2,36
Fósforo (mg dm ⁻³)	3,95	2,23	2,04	14,27	56,51
Potássio (cmol _c dm ⁻³)	0,19	0,10	0,07	0,51	55,92
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	2,60	0,39	1,86	3,33	14,97
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	2,18	0,37	1,68	3,02	16,76
Acidez potencial (cmol _c dm ⁻³)	7,19	1,77	5,02	10,95	24,75
CTC (cmol _c dm ⁻³)	12,16	1,74	9,86	15,76	14,34
V (%)	41,65	5,89	30,52	50,32	14,15
m (%)	8,95	6,71	0	19,96	75,01
Argila (g kg ⁻¹)	558,29	2,88	520,00	620,00	0,52
20-40 cm					
pH em CaCl ₂	4,10	0,29	3,61	4,87	7,16
Matéria Orgânica (g dm ⁻³)	37,98	1,59	35,17	40,81	4,18
Fósforo (mg dm ⁻³)	2,41	1,01	1,12	4,53	41,72
Potássio (cmol _c dm ⁻³)	0,12	0,06	0,05	0,29	50,65
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	2,40	0,40	1,74	3,05	16,89
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	2,42	0,46	1,68	3,26	18,90
Acidez potencial (cmol _c dm ⁻³)	8,80	1,90	4,95	11,88	21,62
CTC (cmol _c dm ⁻³)	13,75	1,89	9,77	16,95	13,72
V (%)	36,65	5,45	26,98	49,35	14,86
m (%)	13,73	5,82	0,00	22,37	42,42
Argila (g kg ⁻¹)	565,61	3,24	480,00	630,00	0,60

¹ Desvio padrão; ² Mínimo; ³ Máximo; ⁴ Coeficiente de variação

Diante da variação observada para os atributos químicos e argila na área de estudo as amostras foram divididas em classes (Tabela 3) de acordo com os quartis para a geração dos mapas. Tendo em vista o uso deste método para os atributos químicos pela ausência de limites críticos dos elementos químicos do solo para a cultura da batata, como já mencionado, observa-se um número semelhante de amostras para os quartis inferior e superior e mais amostras para a média com excessão da argila, para a qual utilizou-se a classificação já existente na área de solos (EMBRAPA, 2013)

Tabela 3. Número e porcentagem de amostras nas distintas classes para cada atributo. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

Atributo	Classes de Intervalo					
	N	%	N	%	N	%
pH	$\leq 4,20$		4,20 – 4,71		$\geq 4,71$	
	12	29,27	17	41,46	12	29,27
MO (g dm ⁻³)	$\leq 41,48$		41,48 – 42,95		$\geq 42,95$	
	12	29,27	17	41,46	12	29,27
P (mg dm ⁻³)	$\leq 2,59$		2,59 – 4,53		$\geq 4,53$	
	11	26,83	19	46,34	11	26,83
K (cmol _c dm ⁻³)	$\leq 0,10$		0,10 – 0,23		$\geq 0,23$	
	11	26,83	19	46,34	11	26,83
Ca (cmol _c dm ⁻³)	$\leq 2,38$		2,38 – 2,87		$\geq 2,87$	
	11	26,83	19	46,34	11	26,83
Mg (cmol _c dm ⁻³)	$\leq 1,93$		1,93 – 2,30		$\geq 2,30$	
	11	26,83	19	46,34	11	26,83
CTC (cmol _c dm ⁻³)	$\leq 10,83$		10,83 – 13,32		$\geq 13,32$	
	11	26,83	19	46,34	11	26,83
m (%)	$\leq 1,72$		1,72 – 14,11		$\geq 14,11$	
	11	26,83	19	46,34	11	26,83
V (%)	$\leq 37,08$		37,08 – 46,36		$\geq 46,36$	
	11	26,83	19	46,34	11	26,83
Argila (g kg ⁻¹)	-		350 - 600		≥ 600	
	-	-	37	90,24	4	9,76

Através dos mapas, pode-se visualizar a distribuição espacial de todos os atributos químicos e do teor de argila. Os mapas são importantes no estudo de solos e na agricultura de precisão, pois sua interpretação auxilia na tomada de decisão para o manejo local.

Em relação ao teor de argila (Figura 2) na camada de 0-20 cm se observa predomínio da classe argilosa, com alguns poucos pontos apresentando classificação de muito argilosa. Conforme dados apresentados na Tabela 3, somente 9,76% das amostras foram classificadas como muito argilosas e esta característica apresentou variabilidade horizontal baixíssima, sendo o seu coeficiente de variação de 0,52% na camada de 0-20 (Tabela 2). Estes dados corroboram com os apresentados por Bottega et al. (2013) que verificaram coeficiente de variação baixo (4,22%) para o teor de argila de um Latossolo Vermelho distroférico. Os mesmos autores levantam a hipótese de que a baixa variabilidade e continuidade nos teores de argila está associada ao material de origem do solo e a ação dos processos de intemperismo, sendo o relevo e o transporte de sedimentos considerados irrelevantes.

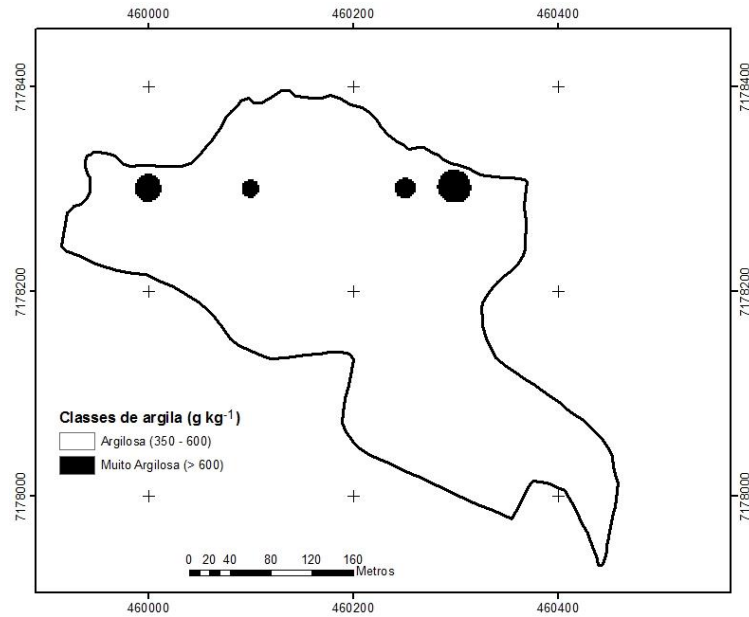


Figura 2. Distribuição espacial das classes quanto ao teor de argila na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

Para cálcio (Figura 3) verificou-se variabilidade classificada como média (CV=15%) sendo este valor próximo ao de Matias et al. (2015) que verificaram valores de coeficiente de variação de 17 e 23% para dois Latossolo no Piauí.

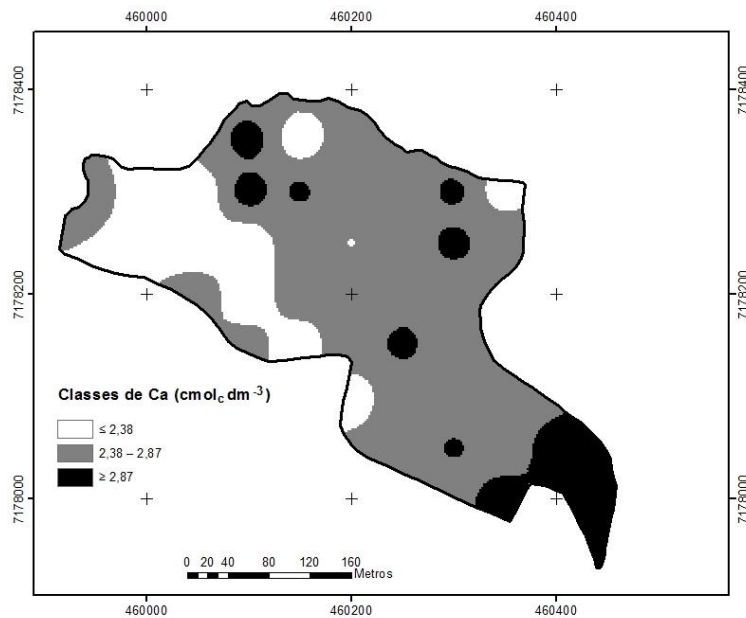


Figura 3. Distribuição espacial das classes quanto ao teor cálcio (Ca) na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

Em relação ao teor de K, foi observada elevado elevado CV e conseqüentemente alta variabilidade deste elemento no solo (Figura 4) relacionado, possivelmente, a maior dinâmica deste nutriente no solo.

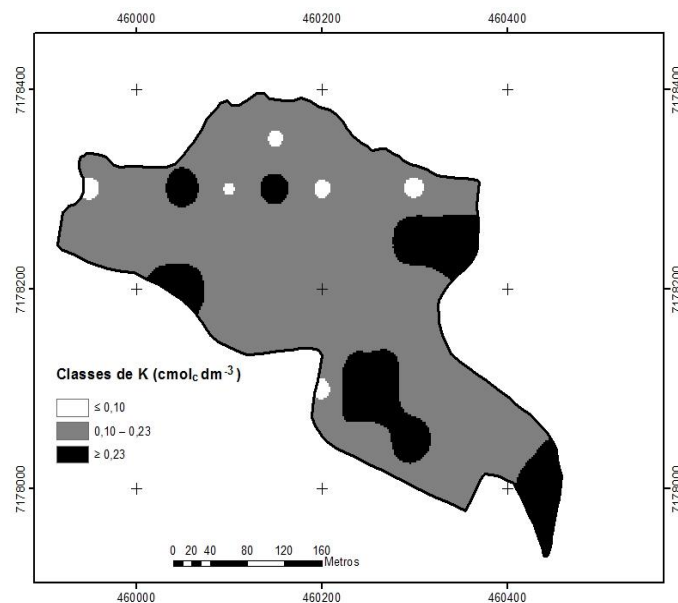


Figura 4. Distribuição espacial das classes quanto ao teor de potássio (K) na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

Para magnésio (Figura 5) percebe-se predominância da classe intermediária e comparando os mapas de Ca e Mg se observa que nos locais onde ocorrem os menores teores de Mg são observados os maiores teores de Ca.

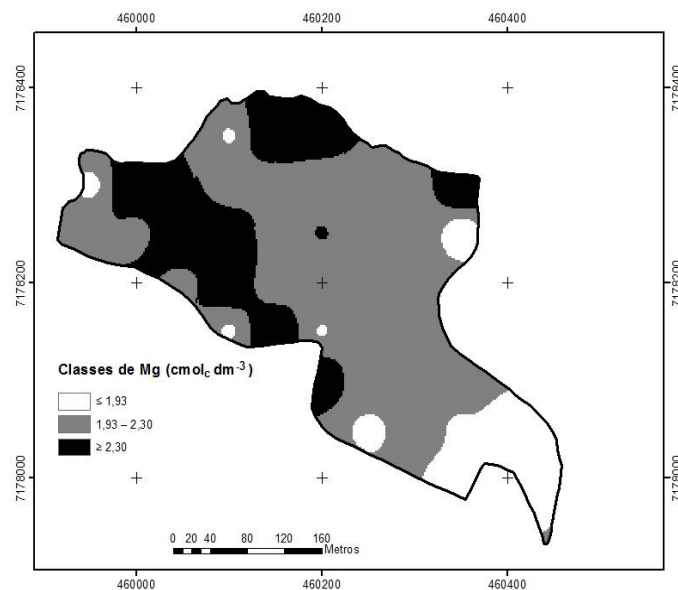


Figura 5. Distribuição espacial das classes quanto ao teor de magnésio (Mg) na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

O mapa com as distintas classes de P é apresentado na Figura 6. Observa-se que pequena porção do mapa é coberta pela classe inferior de fósforo. A variabilidade para este nutriente é considerada muito alta, com os teores de P variando de 2,04 a 14,27 com média de 2,23 mg dm⁻³ e com coeficiente de variação de 56,5% na camada de 0 a 20. De acordo com Oliveira (2003) esses valores são considerados médios e baixos para as principais culturas agrícolas. Segundo Silva et al. (2010) a disponibilidade de P esta relacionada aos teores de argila do solo em questão, sendo reduzida quando os teores de argila são elevados, caso do presente estudo onde o teor médio de argila foi de 565 g kg⁻¹ de solo. No entanto apesar da estreita relação entre a quantidade de argila e o teor de P, os teores de P apresentaram variabilidade muito alta, já os teores de argila possuem variabilidade baixa. Isso pode ser explicado, em parte, pelo fato de que a aplicação de P é realizada na linha de plantio, o que ligado a baixa mobilidade desse nutriente no solo contribui para aumento da variabilidade deste elemento.

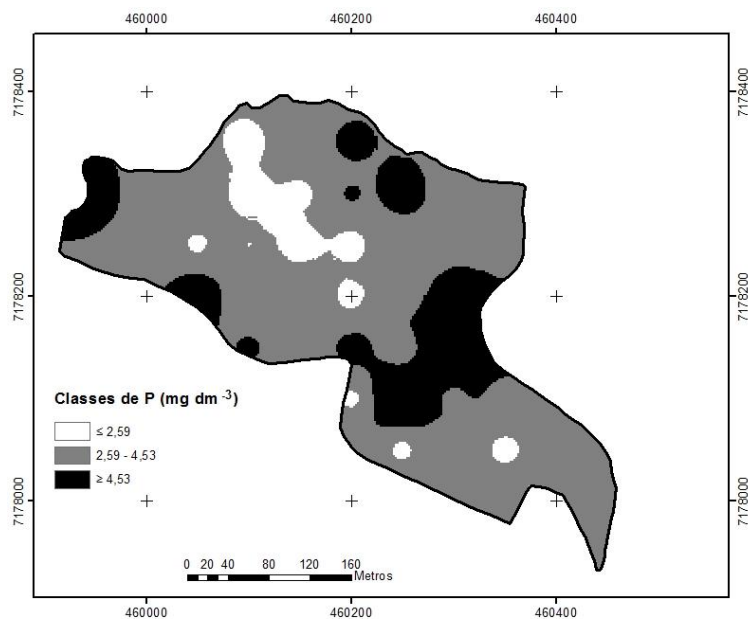


Figura 6. Distribuição espacial das classes quanto ao teor de fósforo (P) na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

Os teores de matéria orgânica (Figura 7) apresentaram coeficiente de variação de 2,36% (Tabela 2), o que caracteriza baixa variabilidade para este atributo. O valor mínimo observado para o teor de matéria orgânica foi de 40 g dm⁻³, sendo todas amostras classificadas como com alto teor de MO. Os elevados teores de matéria orgânica observados para toda área de estudo podem ser explicados pelas características climáticas

da região, que apresenta temperaturas amenas, contribuindo para reduzir a velocidade de decomposição e mineralização da matéria orgânica (DAVIDSON e JANSSENS, 2006).

Dados similares aos do presente estudo foram verificados por Bernardi et al. (2014) para um Argissolo Vermelho Amarelo no município de São Carlos-SP, onde a média de matéria orgânica do solo foi de $43,6 \text{ g kg}^{-1}$ e o coeficiente de variação de 11%. Zanão Junior et al (2015) também verificaram baixa variabilidade nos teores de matéria orgânica de um Latossolo Vermelho distrófico típico em Uberlândia-MG, porém os teores médios foram inferiores, como média de 1,67% na camada de 0-10 cm e de 1,51 na camada 10-20 cm.

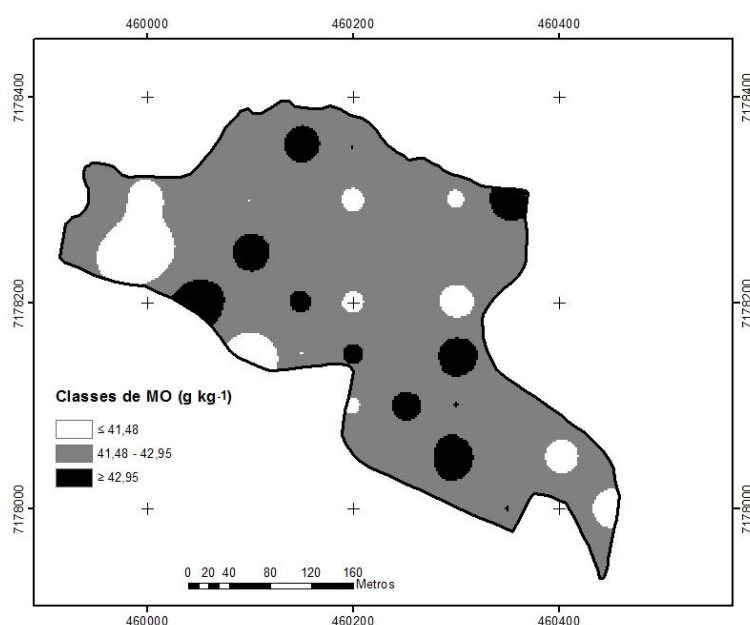


Figura 7. Distribuição espacial das classes quanto ao teor de matéria orgânica (MO) na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

A CTC (Figura 8) média da área foi de $12,16 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ com um coeficiente de variação de 14,37% considerado médio de acordo com classificação de Pimentel-Gomes (1984). Mattioni et al. (2013) verificaram valores médios de CTC de 14,5 e $16 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, que são superiores ao valor do presente estudo e variabilidade inferior, com valor de coeficiente de variação de 6,4%. Para Artur et al. (2014), os maiores valores de CTC normalmente ocorrem em locais onde os teores de MO e argila são elevados. Esses atributos contribuem com o aumento de cargas negativas favorecendo, assim, a retenção de nutrientes. Outra característica que deve ser considerada é a inclinação no terreno o

que, provavelmente, pode contribuir com o acúmulo de argila e incremento da CTC em determinados locais, aumentando a variabilidade.

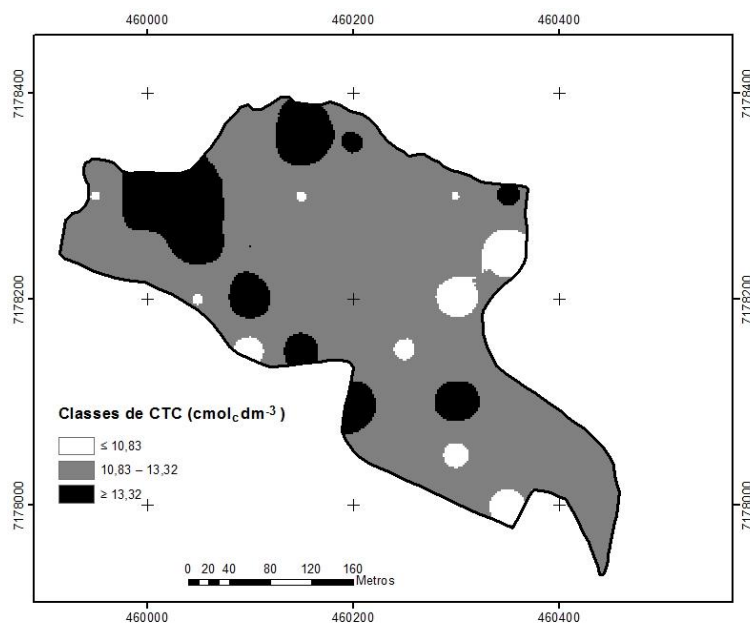


Figura 8. Distribuição espacial das classes quanto a capacidade de troca de cation (CTC) na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

A saturação de bases (V%) possui valor médio de 41,65% e variabilidade classificada como média, com valor de CV de 14,15%. No mapa (Figura 9) para o V% observa-se que os valores de menor saturação coincidem com os valores de menor pH (Figura 10). Também onde ocorrem os menores valores de pH e saturação de bases ocorrem os maiores valores de saturação de alumínio (Figura 11).

O conhecimento da CTC associada a dados de pH e a variabilidade destes atributos no solo é importante para a aplicação adequada de corretivos no solo. (MATTIONI et al., 2013).

De acordo com Bottega et al. (2013) os atributos físicos relacionados a características texturais apresentam menor variabilidade que os atributos químicos. Esta baixa variabilidade destes atributos é explicada pela maior facilidade em modificar os atributos químicos e físicos relacionados a estrutura do solo (compactação, agregação, porosidade). Os constituintes que determinam a textura do solo dependem em grande parte do material de origem e do processo de intemperismo deste solo, assim, modificações na textura podem levar muito tempo para que sejam identificadas.

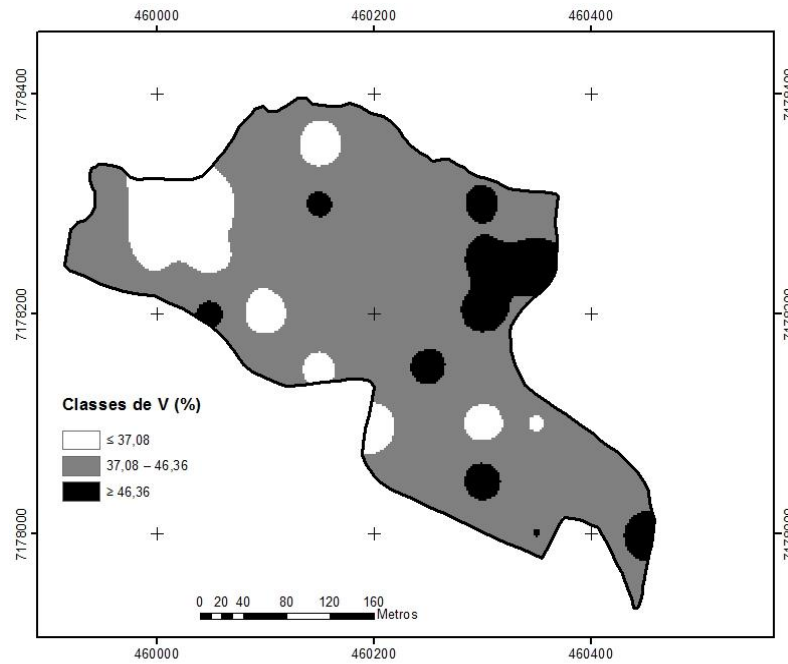


Figura 9. Distribuição espacial das classes quanto a saturação de bases (V%) na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

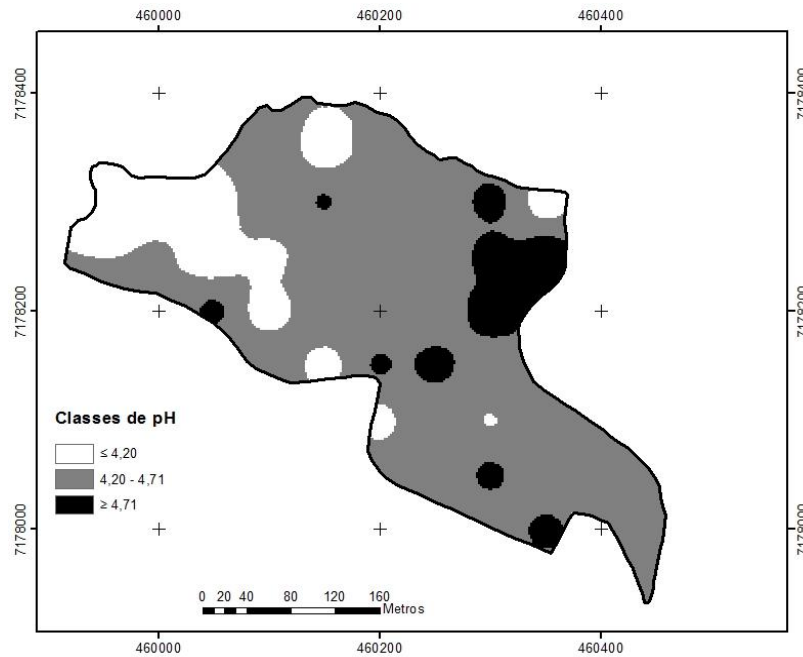


Figura 10. Distribuição espacial das classes quanto ao pH na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

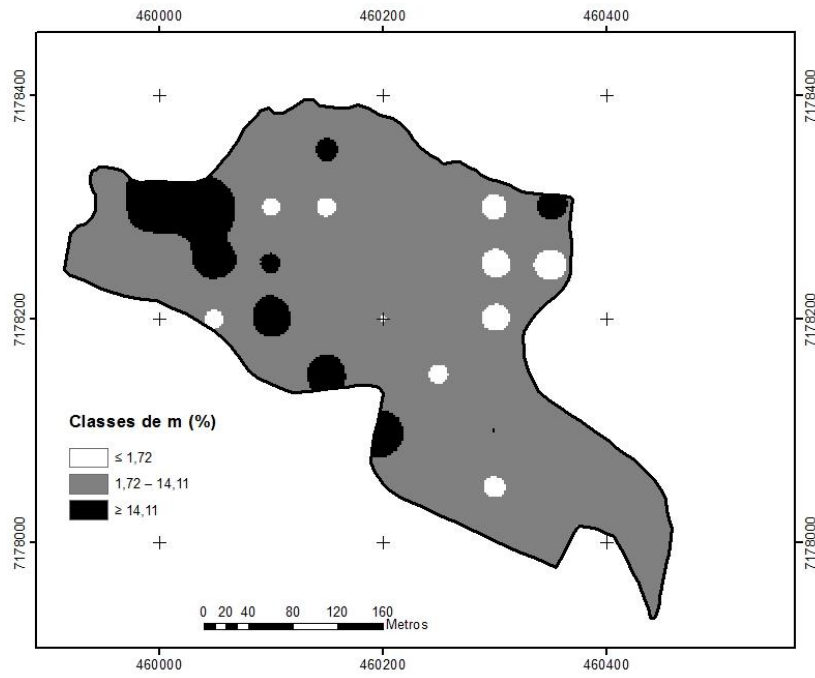


Figura 11. Distribuição espacial das classes quanto a saturação de alumínio (m%) na profundidade de 0-20 cm. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

4.4. Conclusão

Os atributos teor de argila, matéria orgânica e pH apresentaram baixa variabilidade espacial na área estudada ao contrário dos teores de fósforo, potássio e saturação por alumínio.

4.5. Referências

- AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R.D.; ASSIS JÚNIOR, R.; MOTA, J.C.A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 415-422, 2007.
- ARTUR, A.G.; OLIVEIRA, D.P.; COSTA, M.C.; ROMERO, R.E.; SILVA, M.V.; FERREIRA, T.O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 141-149, 2014.
- BERNARDI, A.C.D.C.; RABELLO, L.M.; INAMASU, L.; GREGO, C.R.; ANDRADE, R.G. Variabilidade espacial de parâmetros físico-químicas do solo e biofísicos de superfície em cultivo do sorgo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 6, p. 623-30, 2014.
- BOTTEGA, E.L.; QUEIROZ, D.; PINTO, F.; SOUZA, C. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.
- CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.1029-1040, 2001.
- CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z.M.D.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 31, p. 1329-1339, 2007.
- DAVIDSON, E.A.; JANSSENS, I.A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. **Nature**, v. 440, n. 7081, p. 165-173, 2006.
- DUARTE, S.D.J. **Variabilidade espacial do solo em sistema plantio direto estabilizado**. 2015. 72 f. Dissertação (Mestre em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013, 353 p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de solos do estado do Paraná**. Rio de Janeiro, 2008.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997, 212 p.
- IAPAR – INTITUTO AGRONOMICO DO PARANÁ. Cartas climáticas do Paraná. Classificação Climática – Segundo Köppen, Disponível em: <<http://www.iapar.br/module/conteudo.php?conteudo=597>> Acesso em: 9 de abril de 2016.

MATIAS, S.S.R.; BAPTISTEL, A.C.; NOBREGA, J.C.A.; ANDRADE, F.R.; SILVA, J.B.L.D. Variabilidade espacial dos atributos do solo em duas áreas de manejo convencional no Cerrado piauiense., v. 58, **Revista de Ciências Agrárias** n. 2, p. 217-227, 2015.

MATTIONI, N.M.; SCHUCH, L.O.B.; VILLELA, F.A. Variabilidade espacial e efeito de atributos químicos de um Latossolo na população de plantas e produtividade da cultura da soja. **Revista da FZVA**, v. 19, n. 1, p. 20-32, 2013.

OLIVEIRA, E.L. **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 2003. 30 p. (Circular, nº 128).

OLIVEIRA, D.P.; FERREIRA, T.O.; ROMERO, R.E.; FARIAS, P.R.; COSTA, M.C. Microrrelevo e a distribuição de frações granulométricas em Cambissolos de origem calcária. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 676-684, 2013.

PAVAN, M. A.; BLACH, M. F.; ZEMPULSKY, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**, Londrina: IAPAR, 1992. 39 p.

PIMENTEL-GOMES, F. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba: POTAFOS - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 160 p.

SAS INSTITUTE. **SAS, software: user's guide**, version 8.2. Cary, 1999. 219p.

SILVA, S.D.A.; DE SOUZA LIMA, J.S.; DE SOUZA, G.S.; DE OLIVEIRA, R.B.; DA SILVA, A.F. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2010.

SILVEIRA, P.M.; ZIMMERMANN, F.O.P.; SILVA, S.C.; CUNHA, A.A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 2057-2064, 2000.

SOUZA, C. K. **Variabilidade espacial de atributos de solo e produtividade em área cultivada com café orgânico e convencional**. 2006. 74 p. Tese (Doutorado Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2006.

ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LANA, R.M.Q.; CARVALHO-ZANÃO, M.P.; GUIMARÃES, E.C. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. *Ceres*, v. 57, n. 3, p. 429-438, 2015.

5. CURVAS ESPECTRAIS DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E TEOR DE ARGILA EM LATOSSOLO BRUNO

5.1. Introdução

Assim como outras propriedades do solo, a reflectância é influenciada não somente pela composição química dos constituintes do solo, como também pelo tamanho e arranjo das partículas.

A avaliação da resposta espectral do solo no nível terrestre teve início nas décadas de 60 e 70, com os trabalhos de Obukhov e Orlov (1964) que verificaram baixa reflectância espectral pela presença dos ácidos húmicos. Depois, Bowers e Hanks (1965) avaliaram o efeito da matéria orgânica, tamanho de partícula e umidade na reflectância do solo. Hunt e Salisbury (1970) verificaram as bandas de absorção dos minerais de argila, centradas em 1400 e 1900 nm devido a vibrações das moléculas de água e grupos OH⁻ da estrutura destes minerais. A banda de absorção da caulinita ocorre em 2200 por causa das vibrações de Al-OH (HUNT, 1979) e segundo Madeira Netto (1996) em 2265 nm é o local de absorção da gibsitita.

Muitos autores trabalharam para caracterizar as curvas espectrais, os principais foram Condit (1970) e Stoner e Baumgardner (1981). Posteriormente Ben-Dor (2002) citou a importância destes trabalhos antecessores que foram imprescindíveis para mostrar as possibilidades da utilização do sensoriamento remoto para o estudo de solos.

Após os estudos básicos de compreensão do comportamento espectral de solos, a tecnologia tem sido utilizada para quantificar os atributos do solo, dentre os quais estão a CTC, elementos trocáveis (Ca, Mg, K), pH, saturação por bases, matéria orgânica, argila e ferro assim como para realizar mapeamento de solos e de espacialização de atributos.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi caracterizar os atributos químicos saturação de bases, matéria orgânica, cálcio e o teor de argila por meio de curvas espectrais médias para um Latossolo Bruno.

5.2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado no distrito de Entre Rios, em Guarapuava, no Paraná. O clima da região é do tipo Cfb, segundo classificação climática de Köppen (IAPAR, 2016) sem estação seca durante o ano e com geadas frequentes e severas no inverno, a precipitação média anual é de 2.022 mm, a temperatura média anual de 16,5 °C e a altitude do local é de 1127 metros.

A área de estudo encontra-se na unidade de mapeamento LBD7 – Associação de Latossolo Bruno distrófico úmbrico e Cambissolo Háplico Tb distrófico úmbrico, de acordo com o mapa de solos do Estado do Paraná (EMBRAPA, 2008).

5.2.1. Amostragem e análises de solo

Para a amostragem de solo foi realizada a definição do perímetro da área a partir da utilização da imagem de satélite. Posteriormente, com o limite da área, gerou-se uma grade amostral de 50 x 50 m, a qual foi inserida em GPS de navegação para guiar a coleta de solo. A coleta foi realizada nos 42 pontos estabelecidos pela grade nas profundidades de 0-20, 20-40 cm com trado holandês.

As amostras foram levadas para o laboratório de solos e nutrição de plantas da Universidade Estadual do Centro Oeste, secas em estufa a 40° por 48 horas e então moídas e peneiradas e então encaminhadas para análise química e granulométrica. Para realizar as análises no espectrorradiômetro as amostras foram novamente maceradas e peneiradas em malha de 0,5 mm. Na sequência, as amostras foram utilizadas para obtenção do pH em CaCl₂, matéria orgânica, cálcio, magnésio, hidrogênio mais alumínio, potássio, fósforo (PAVAN et al., 1992). Com base nos resultados obtidos, calculou-se a capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m) A análise granulométrica, para quantificar o teor de areia, silte, argila, foi realizada pelo método do densímetro de acordo com EMBRAPA (1997). O resultado das análises químicas e granulométricas nas duas camadas de solo amostradas são apresentadas na Tabela 1.

5.2.2. Espectrorradiometria

As análises espectrorradiométricas foram realizadas na Universidade Estadual de Maringá (UEM) utilizando-se o FieldSpec, 3 JR, fabricado pela Analytical Spectral

Devices Inc. (ASD), o qual realiza medidas espectrais na faixa de 350 nm a 2500 nm. O intervalo de leitura é de 1,4 nm na faixa de 350 nm a 1050 nm e de 2nm na faixa de 1000 nm a 2500 nm. Sua resolução espectral é de 3 nm na faixa espectral de 350 nm a 700 nm e de 30 nm na faixa de 1400 nm a 2100 nm (Figura 12).



Figura 12. Espectrorradiômetro Fieldspac, marca ASD. UEM, Maringá, 2015.

O local onde foram realizadas as análises é um ambiente controlado para as amostras não sofrerem interferências de outras fontes de radiação. Para tal análise, as amostras de solo foram colocadas em placas de petri de 9 cm de diâmetro e 1,5 cm de altura. Foi utilizada uma placa padrão (branca), em que a reflectância é de 100% a qual foi usada como referência antes da primeira análise e a cada 10 leituras. Foram realizadas 3 leituras de cada amostra do solo, usadas como repetição. Posteriormente foi realizada a média das três repetições para representar cada ponto.

Para a leitura espectral foi utilizado um spot tipo Mako, e para iluminar as amostras de solo foi usada uma lâmpada de 650 W. O ângulo da plataforma em relação ao plano horizontal foi de 25°. A área de leitura foi de aproximadamente 2 cm². Para se gerar o fator de reflectância, o aparelho lê a relação entre a energia que é refletida pelo alvo e a energia refletida pela placa padrão e essa relação foi utilizada para quantificar a resposta espectral do solo.

5.2.3. Geração das curvas espectrais

Inicialmente foi correlacionado o ponto amostrado com os resultados da análise de solo e com a resposta espectral em planilha excel. Na sequência, para cada atributo avaliado, as amostras foram divididas de acordo com as classes pré-estabelecidas (Tabela

4) e gerada uma curva espectral média para cada classe década atributo para, na sequência, serem avaliadas de acordo com sua intensidade e forma.

Tabela 4. Classes de intervalo dos atributos do solo. UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

Atributo	Classes de Intervalo		
pH	$\leq 4,20$	4,20 – 4,71	$\geq 4,71$
MO (g dm^{-3})	$\leq 41,48$	41,48 – 42,95	$\geq 42,95$
P (mg dm^{-3})	$\leq 2,59$	2,59 – 4,53	$\geq 4,53$
K ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	$\leq 0,10$	0,10 – 0,23	$\geq 0,23$
Ca ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	$\leq 2,38$	2,38 – 2,87	$\geq 2,87$
Mg ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	$\leq 1,93$	1,93 – 2,30	$\geq 2,30$
CTC ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	$\leq 10,83$	10,83 – 13,32	$\geq 13,32$
m (%)	$\leq 1,72$	1,72 – 14,11	$\geq 14,11$
V (%)	$\leq 37,08$	37,08 – 46,36	$\geq 46,36$
Argila (g kg^{-1})	-	350 - 600	≥ 600

5.3. Resultados e Discussão

Variações nas curvas espectrais demonstraram de que maneira os atributos estão influenciando o comportamento espectral do solo, este efeito foi estudado para avaliar a intensidade de reflectância das curvas espectrais do solo.

A matéria orgânica tem o mesmo comportamento da argila, quanto maior o teor de matéria orgânica menor é a reflectância do solo (Figura 13), pois a mesma absorve a radiação eletromagnética em todo o espectro eletromagnético diminuindo a intensidade de reflectância. Segundo Demattê et al. (2003a), quando esta é removida, há intensificação da reflectância do solo em todo o espectro.

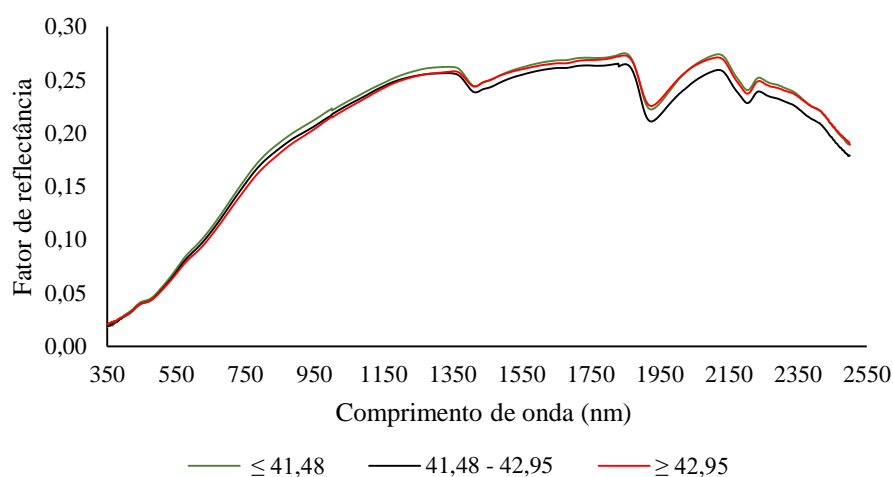


Figura 13. Curva espectral média para amostras de solo com diferentes intervalos no teor de matéria orgânica (g dm^{-3}). UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

A presença da matéria orgânica também pode recobrir os óxidos de ferro que existem no solo, assim afetando as bandas de absorção destes minerais (DEMATTÊ et al., 2003a). O mesmo comportamento da MO foi observado por Al Abbas et al. (1972), Demattê e Garcia (1999) e Dalmolin (2002), nos quais houve aumento na resposta espectral dos solos com decréscimo de matéria orgânica. Este resultado demonstra que há uma correlação negativa entre a reflectância do solo e a matéria orgânica, a existência dessa correlação indica que quanto maior é quantidade deste atributo, menor será a intensidade da reflectância ao longo da curva espectral.

Para as três classes de cálcio ocorreu uma sobreposição das curvas (Figura 14), apenas em 1950 nm houve separação entre as classes sendo que com o aumento do cálcio ocorreu uma menor intensidade na resposta, resultado diferente do observado por Demattê et al. (2003b), que verificaram que quanto maior o teor deste atributo maior é a intensidade de reflectância ao avaliarem solos tratados com distintas doses de calcário.

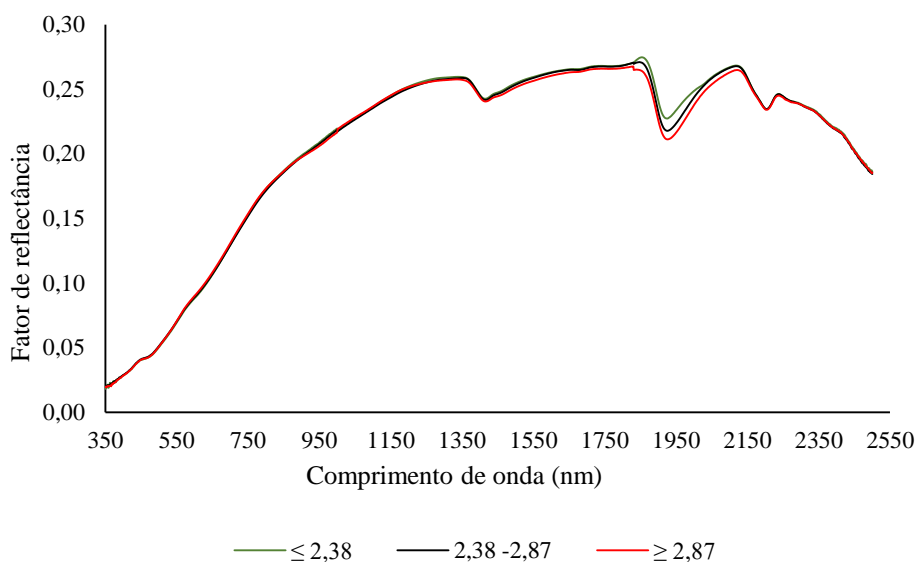


Figura 14. Curva espectral média para amostras de solo com diferentes intervalos no teor de cálcio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$). UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

Para a saturação por bases (V%) foi verificado que os solos com maior V% apresentaram maior reflectância no início do espectro (350 - 1350 nm) (Figura 15). Resultados semelhantes foram obtidos por Demattê et al. (1998), que demonstraram que a aplicação de carbonato de cálcio altera a resposta espectral do solo com aumento da intensidade de reflectância, assim como o trabalho de Demattê et al. (2003b), que também verificaram que a elevação do cálcio na saturação por bases aumenta a intensidade da reflectância.

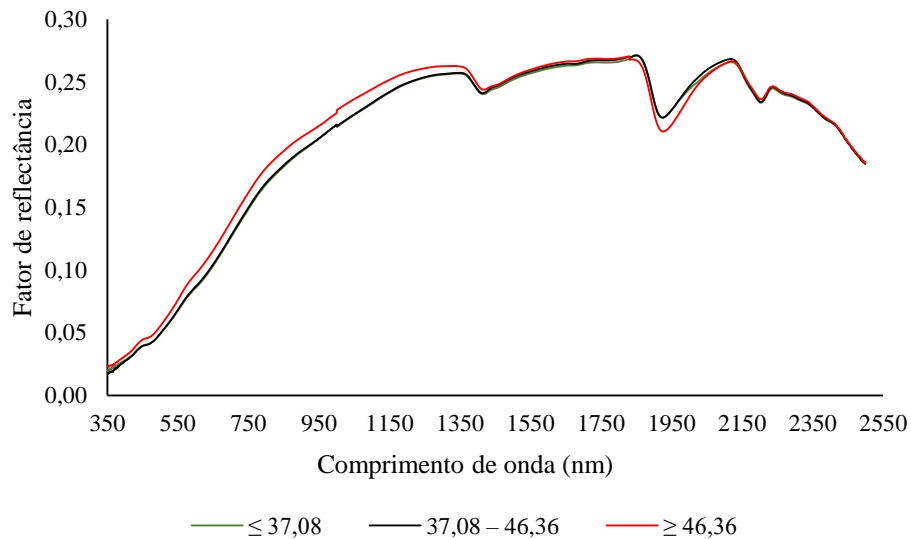


Figura 15. Curva espectral média para amostras de solo com diferentes intervalos na saturação de bases (%). UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

Para a granulometria, as amostras da área de estudo foram classificadas como argilosas e muito argilosas e verificou-se que a curva para textura muito argilosa apresentou menor reflectância do que a curva para textura argilosa (Figura 16). Isso ocorre porque solos com maiores teores de argila absorvem mais energia, devido ao fato de possuir menos quartzo na sua mineralogia e maiores teores de matéria orgânica, óxidos de ferro e água, elementos que afetam a intensidade da reflectância (DALMOLIN et al., 2005). Esse resultado corrobora os obtidos por Cezar et al. (2013), que observaram que com o aumento da quantidade de argila do horizonte superficial, a reflectância apresenta comportamento linear e decrescente para as classes de solos. Barnes e Baker (2000) também verificaram correlações negativas entre a reflectância e o aumento do conteúdo de argila.

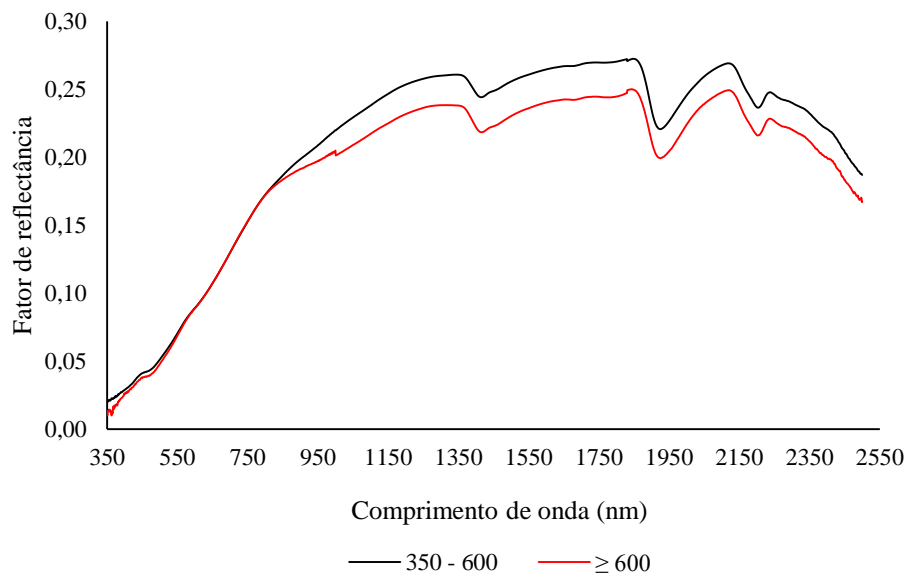


Figura 16. Curva espectral média para amostras de solo com diferentes intervalos no teor de argila (g kg^{-1}). UNICENTRO, Guarapuava-PR, 2016.

5.4. Conclusões

Maiores teores de matéria orgânica e a argila proporcionam menor intensidade de reflectância em todo o espectro eletromagnético.

Para os atributos químicos, a saturação por bases apresenta maior intensidade com maiores teores na faixa de 350 – 1350 nm enquanto o teor de cálcio demonstra efeito apenas em 1950 nm, com maior reflectância nos menores do nutriente.

5.5. Referências

- AL-ABBAS, A.H. et al. Relating organic matter and clay content to multispectral radiance of soils. **Soil Science**, v. 114, p. 477-485, 1972.
- BARNES, E. M.; BAKER, M.G. Multispectral data for mapping soil texture: possibilities and limitations. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 16, p. 731-741, 2000.
- BEN-DOR, E. Quantitative remote sensing of soil properties. **Advances in Agronomy**, v.75, p.173-243, 2002.
- BOWERS, S. A.; HANKS, R. J. Reflection of radiant energy from soils. **Soil Science**, v. 100, n. 2, p. 130-138, Feb. 1965.
- CEZAR, E; NANNI, M. R, DEMATTÊ, J. A. M.; CHICATI, M. L.; OLIVEIRA, R. B. Estimativa de atributos do solo por meio de espectrorradiometria difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 858, 2013.
- CONDIT, H. R. The spectral reflectance of American soils. **Photogrammetric Engineering**, v. 36, n. 9, p. 955-968, 1970.
- DALMOLIN, R.S.D. **Matéria orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de Latossolos de diferentes ambientes**. 2002. 151f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DALMOLIN, R.S.D.; GONÇALVES, C.N.; KLAMT, E.; DICK, D.P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, v. 35, n. 2, p. 481-489, 2005.
- DEMATTÊ, J.A.M.; GARCIA, G.J.; PROCHNOW, L.I. Variações induzidas de atributos químicos e sua influência na refletância espectral de três solos do Estado do Paraná. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 22, p. 479-490, 1998.
- 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**, Madison, v.63, p.327-342, 1999.
- DEMATTÊ, J.A.M.; EIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A. Influência da matéria orgânica e de formas de ferro na refletância de solos tropicais. **Bragantia**, v. 62, n. 3, p. 451-464, 2003a.
- DEMATTÊ, J.A.M.; PEREIRA, H.S.; NANNI, M.R.; COOPER, M.; FIORIO, P.R. Soil chemical alterations promoted by fertilizer application assessed by spectral reflectance. **Soil science**, v. 168, n. 10, p. 730-747, 2003b.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997, 212 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de solos do estado do Paraná**. Rio de Janeiro, 2008.

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

HUNT, G. R. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. **Geophysics**, Tulsa, v. 42, n. 3, p. 501-513, Apr. 1979.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÓMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Paraná. Classificação Climática – Segundo Köppen**, Disponível em: <<http://www.iapar.br/module/conteudo.php?conteudo=597>> Acesso em: 9 de abril de 2016.

MADEIRA NETTO, J. S. Spectral reflectance properties of soils. **Photo Interprétation**, v.34, p. 59-70, 1996.

OBUKHOV, A. I.; ORLOV, O. S. Spectral reflectance of major soil groups and possibility of using diffuse reflections in soil investigations. **Soviet Soil Science**, v. 1, p. 174-184, 1964.

PAVAN, M. A.; BLACH, M. F.; ZEMPULSKY, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**, Londrina: IAPAR, 1992. 39 p.

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.