

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Daniely Vaz Rodrigues da Silva

**ESPECTRORRADIOMETRIA DIFUSA DE SOLOS E SUA
APLICABILIDADE NA AGRICULTURA**

**Santa Maria, RS
2018**

Daniely Vaz Rodrigues da Silva

**ESPECTRORRADIOMETRIA DIFUSA DE SOLOS E SUA APLICABILIDADE NA
AGRICULTURA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Agricultura de Precisão, Área de Concentração em Tecnologia em Agricultura de Precisão, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Prof. Dr. Elódio Sebem

Santa Maria, RS
2018

Silva, Daniely Vaz Rodrigues da
Espectrorradiometria difusa de solos e sua
aplicabilidade na Agricultura. / Daniely Vaz Rodrigues
da Silva.- 2018.
105 p.; 30 cm

Orientador: Elódio Sebem
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em
Agricultura de Precisão, RS, 2018

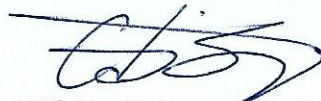
1. Agricultura de Precisão 2. Espectrorradiometria de
Solos 3. Geoestatística 4. Regressão Linear Múltipla I.
Sebem, Elódio II. Título.

Daniely Vaz Rodrigues da Silva

**ESPECTRORRADIOMETRIA DIFUSA DE SOLOS E SUA
APLICABILIDADE NA AGRICULTURA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Agricultura de Precisão, Área de Concentração em Tecnologia em Agricultura de Precisão, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Aprovado em 9 de julho de 2018.



Elódio Sebem, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Lúcio de Paula Amaral, Dr. (UFSM)



Ademir Wendling, Dr. (BASE Agricultura de Precisão)

Santa Maria,
RS 2018

DEDICATÓRIA

Ao meu esposo e companheiro pelo apoio incondicional em todos os momentos, principalmente nos de incerteza, muito comum para quem quer trilhar novos caminhos. Estamos na luta para sempre melhorar a nossa família.

Dedico também ao meu filho, meu maior presente, que absteve de horários do dia e alguns da madrugada da presença da mamãe. Ele é quem me impulsiona para a direção das vitórias dos meus desafios.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, por este trabalho, por ser essencial e autor de meu destino, meu guia.

Ao meu orientador, Professor Elódio, a quem me concedeu a sua confiança para orientação. Agradeço pelos seus ensinamentos, por ser um exemplo de profissional e também pela amizade.

À minha família, pelo amor, apoio, confiança e motivação incondicional. Sem vocês nenhuma conquista valeria a pena.

À empresa Base Agricultura de Precisão, por toda sua equipe, em especial à Grazielle Feltrin Wendling e Ademir Wendling, pela disponibilidade de amostras para a pesquisa.

A UFSM, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Agricultura de Precisão, coordenadores e professores, pelo apoio e dedicação.

Agradeço também à Banca, pela colaboração e disponibilidade em participar de minha defesa, tenho certeza que vão acrescentar muito conhecimento em meu trabalho.

Aos meus colegas e amigos, Marcos, Alessandra, Michele, Letícia, Márcio, pela parceria a toda hora, passamos bons momentos, vou sentir saudades dessa turma que formamos.

Agradeço a todos que me ajudaram de alguma forma para realização deste trabalho.

RESUMO

ESPECTRORRADIOMETRIA DIFUSA DE SOLOS E SUA APLICABILIDADE NA AGRICULTURA

AUTOR: Daniely Vaz Rodrigues da Silva

ORIENTADOR: Elódio Sebem

Esta dissertação apresenta um estudo da espectrorradiometria de solos. A necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias e novos equipamentos que permitam obter dados mais precisos e que possam ser correlacionados com outras propriedades de difícil obtenção é constante, haja vista reduzir os gastos e o impacto ambiental. Produção agrícola de ponta e sustentável. Nesta ótica, o aperfeiçoamento das geotecnologias na Agricultura de Precisão vem colaborando juntamente com outras áreas de conhecimento com a agroeconomia, exatamente a partir da identificação das características e variantes essenciais da produção agrícola que otimizam e potencializam os recursos aplicados. Especificadamente, a espectrorradiometria de solos se utiliza da obtenção dos dados por reflectância, a medida é feita pela comparação entre o fluxo de radiação refletida e a quantidade de radiação incidente sobre o solo. A partir dessas premissas, a proposta desta pesquisa objetiva analisar a relação existente entre os dados obtidos mediante espectrorradiometria, com o auxílio da estatística e geoestatística, cujas observações, de natureza quantitativa ou qualitativa, serão usadas para inferir as propriedades do fenômeno espacial em estudo. Dessa forma, a dissertação se dividiu em dois artigos. O primeiro objetivou a avaliação dos dados espectrais de diversas amostras de solo, para se estabelecer correlações com atributos químicos. Obteve-se equações múltiplas de regressão mediante os softwares estatísticos IBM SPSS (Statistics versão 12) e R (R CORE TEAM, 2015), o que tornou possível a quantificação daqueles atributos. E o segundo artigo, foi utilizar equações de regressão preditas anteriormente, para avaliar a possibilidade de estimar os teores de argila em amostras de solo, a partir de sua energia refletida em uma área de Viticultura de Precisão. Os resultados demonstraram o grande desempenho para a geração das equações de predição, atingindo adequados R^2 nessas equações com o procedimento de regressão linear múltipla. Porém, para a aplicação da estimativa na área necessita-se levar em consideração os fatores que interferem na reflectância, necessitando de mais estudos principalmente quanto a influência da mineralogia na reflectância do solo.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, espectrorradiometria de solos, geoestatística, regressão linear múltipla.

ABSTRACT

DIFFUSE SOIL SPECTRORADIOMETRY AND ITS APPLICABILITY IN AGRICULTURE

AUTHOR: Daniely Vaz Rodrigues da Silva
ADVISER: Elódio Sebem

This dissertation presents a study of soil spectroradiometry. The need to develop new technologies and new equipment to obtain more accurate data that can be correlated with other properties difficult to obtain is constant, in order to reduce costs and environmental impact. State-of-the-art technology and sustainable agricultural production. In this perspective, the improvement of the geotechnologies in Precision Agriculture has been collaborating along with other areas of knowledge with agro-economics, from the identification of the characteristics and essential variants of the agricultural production that optimize and potentiate the applied resources. Specifically, soil spectroradiometry is used to obtain the data by reflectance, the measurement is made by the comparison between the reflected radiation flux and the amount of radiation incident on the ground. Based on these premises, this research aims to analyze the relationship between the data obtained by means of spectroradiometry, with the aid of statistics and geostatistics, whose quantitative or qualitative observations will be used to infer the properties of the spatial phenomenon under study. Thus, the dissertation was divided into two articles. The first objective was to evaluate the spectral data of several soil samples to establish correlations with chemical attributes. Multiple regression equations were obtained using the statistical software IBM SPSS (Statistics version 12) and R (R CORE TEAM, 2015), which made it possible to quantify these attributes. And the second article was to use regression equations previously predicted to evaluate the possibility of estimating clay content in soil samples from its energy reflected in a Precision Viticulture area. The results demonstrated the great performance for the generation of the prediction equations, reaching adequate R^2 in these equations with the multiple linear regression procedure. However, for the application of the estimation in the area it is necessary to take into account the factors that interfere in the reflectance, necessitating further studies mainly regarding the influence of mineralogy on soil reflectance.

Keywords: Precision agriculture, soil spectroradiometry, geostatistics, multiple linear regression.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Disposição das amostras nas placas de Petri, espectrorradiômetro FieldSpec 3, probe de contato, leitura espectral das amostras.....	25
Figura 2 - Assinaturas espectrais das leituras VNIR de solo.....	27
Figura 3 - Pontos notáveis nas curvas da primeira derivada.....	29
Figura 4 - Exemplo de Banco de dados utilizado para a interpolação espacial.	46
Figura 5 - Boxplot para a % de Argila Medida e Predita na profundidade de 0-20cm.	49
Figura 6 - Boxplot para a % de Argila Medida e Predita na profundidade de 20-40cm.	49
Figura 7 - Envelopes para a % de Argila Medida e Preditas na profundidade de 0-20cm.	51
Figura 8 - Envelopes para a % de Argila Medida e Preditas na profundidade de 20-40cm.	52
Figura 9 - Interpolação espacial por krigagem ordinária para a variável % de Argila Medida e Preditas na profundidade de 0-20 cm.....	57
Figura 10 - Interpolação espacial por krigagem ordinária para a variável % de Argila Medida e Preditas na profundidade de 20-40 cm.....	58
Figura 11 - Classes de % de Argila obtidas para a profundidade de 0-20cm.....	59
Figura 12 - Classes de % de Argila obtidas para a profundidade de 20-40cm.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística descritiva dos dados utilizados no trabalho.	30
Tabela 2 - Coeficiente de Correlação de Pearson entre as VE e Argila e Matéria Orgânica.....	32
Tabela 3 - Equações Matemáticas para % de Argila obtidos na Regressão Linear Múltipla.....	33
Tabela 4 - Resultados estatísticos da análise de regressão múltipla para a variável % de Argila.....	34
Tabela 5 - Resultados estatísticos da análise de regressão múltipla para a variável Matéria Orgânica.....	34
Tabela 6 - Equações dos modelos de regressão para a variável % de Argila.	35
Tabela 7 - Equações Matemáticas para % de Argila obtidos na Regressão Linear Múltipla.....	45
Tabela 8 - Estatística Descritiva para Argila Medida a 0-20cm e Estimadas pelas Equações apresentadas no artigo 1.....	47
Tabela 9 - Estatística Descritiva para Argila Medida a 20-40cm e Estimada pelas Equações apresentadas no artigo 1.....	48
Tabela 10 - Número de pares utilizados para calcular o semivariograma para % de Argila Medida e Predita a 0-20cm e 20-40 cm de profundidade.....	50
Tabela 11 - Ajustes dos Modelos Teóricos aos semivariogramas empíricos para cada variável de análise em 0-20 cm de profundidade.....	53
Tabela 12 - Ajustes dos Modelos Teóricos aos semivariogramas empíricos para cada variável de análise em 20-40 cm de profundidade.....	54
Tabela 13 - Estatísticas de Validação Cruzada do dado Original X Preditos para os modelos teóricos ajustados a 0-20 cm de profundidade.	54
Tabela 14 - Estatísticas de Validação Cruzada do dado Original X Preditos para os modelos teóricos ajustados a 20-40 cm de profundidade.	55

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO.....	12
1.1 Referencial Teórico.....	14
1.1.1 Análise de Regressão Múltipla.....	14
1.1.2 Geoestatística.....	15
1.2 Proposição.....	17
1.3 Material e Métodos.....	17
2 ARTIGO 1: RELAÇÃO DE VARIÁVEIS ESPECTRORRADIMÉTRICAS COM A % DE ARGILA EM AMOSTRAS DE SOLO DO RIO GRANDE DO SUL.....	21
2.1 Introdução.....	22
2.2 Material e Métodos.....	24
2.2.1 Amostras de Solo e Análise Química.....	24
2.2.2 Espectrorradiometria.....	24
2.2.3 Tratamento dos Dados.....	26
2.3 Resultados e Discussões.....	27
2.3.1 Reflectância do Solo.....	27
2.3.2 Análise Derivativa.....	28
2.3.3 Análise de Correlação entre as VE e de Solo.....	31
2.3.4 Regressão Linear Múltipla.....	32
2.4 Conclusões.....	37
2.5 Referências.....	38
3 ARTIGO 2 – ESTIMATIVAS DE % DE ARGILA EM LATOSSOLO VERMELHO POR MEIO DE VARIÁVEIS ESPECTRORRADIOMÉTRICAS.....	41
3.1 Introdução.....	42
3.2 Material e Métodos.....	43
3.2.1 Solos da região de estudo.....	43
3.2.2 Preparação dos dados.....	44
3.2.3 Estatística e Geoestatística.....	44
3.3 Resultados e Discussão.....	47
3.3.1 Análise dos dados.....	47
3.3.2 Análise semivariográfica.....	49
3.3.3 Validação Cruzada.....	52
3.3.4 Krigagem Ordinária Pontual.....	56

3.4 Conclusões	61
3.5 Referências	61
4 DISCUSSÃO GERAL	65
5 CONCLUSÕES GERAIS.....	67
REFERÊNCIAS.....	68
APENDICE A - Correlação Linear de Pearson entre as Variáveis Estudadas	
APENDICE B - Ajustes Variográficos e Validação Cruzada	

1 APRESENTAÇÃO

Para a humanidade, o solo é um recurso tão importante quanto o ar e a água, haja vista que a vida humana não existiria sem a maior fonte de produção de alimentos (SILVA, 2009). Se em uma fase inicial apenas colhíamos o que dele brotava, observa-se que o desenvolvimento posterior de nossa sociedade dependeu diretamente de aprendermos a cultivá-lo com eficiência. É fundamental ter em mente que o solo é um sistema dinâmico e valiosamente complexo, uma vez que abriga diversas formas de vida importantes para sua manutenção, advindas a partir de um processo gradual evolutivo. Exatamente por isso a preservação e a gestão sustentável dos solos são cruciais tanto para se obter uma maior produção de alimentos, como também para a manutenção da biosfera, especialmente da vida humana.

Sob essa ótica, a Agricultura de Precisão (AP) voltada a área de geotecnologias de precisão revela-se de extrema importância, pois é uma das ciências que busca a adoção de técnicas que propiciem o aumento da produtividade aliado ao respeito ambiental dos solos. E a humanidade precisa cada vez mais assegurar a produção de alimentos em larga escala. Pois, as projeções da Organização das Nações Unidas (ONU, 2017) indicam que a população mundial chegará a 8,6 bilhões até 2030, um aumento de 1 bilhão de pessoas em 13 anos, chegando a 9,8 bilhões em 2050 e 11,2 bilhões em 2100. Conseqüentemente, existe a necessidade de aumento da produção de alimentos em âmbito mundial. Ao mesmo tempo, se o solo não estiver saudável, não responderá à ação humana.

Para Molin et al. (2015), o usuário de AP deve usufruir do maior número de técnicas possível para identificar parâmetros do solo, como o levantamento de sua fertilidade e da variação de atributos físicos. Sendo consenso entre os pesquisadores e parte dos usuários, que a densidade amostral que vem sendo adotada, não está sendo suficiente para representar fielmente a variabilidade de alguns atributos de solo, principalmente os químicos. Porém, ao aumentar a densidade amostral conseqüentemente aumenta-se os custos, aumenta também o tempo para as coletas e muitas vezes esse processo inviabiliza para o produtor rural. Por isso, prepondera a necessidade de pesquisas científicas para a adoção de técnicas que harmonizem maior produção com redução dos custos e menores impactos ambientais. Historicamente, nossa compreensão do sistema do solo e avaliação de suas

propriedades foi obtida por meio de análises laboratoriais convencionais. Este último, embora útil e praticamente insubstituível para investigações detalhadas, é dispendioso e consome tempo, por isso não é adequado quando é necessário analisar um grande número de amostras de solo, como por exemplo na agricultura de precisão (LEONE, 2012).

A partir dessas premissas, a Espectrorradiometria de solos pode auxiliar no aumento da produção a partir da redução dos custos e do tempo dispendidos no processo tradicional de análise de solos laboratorial, inclusive o risco ambiental advindo do posterior descarte do material analisado. A economia destes ativos aumenta o volume de capital disponível para ser investido no processo produtivo.

Diante disso, a espectrorradiometria mostra-se como uma alternativa não destrutiva e eficiente em termos de custo para medições em laboratório de propriedades do solo utilizando a região do visível, infravermelho próximo e Infravermelho onda curta (VNIR/SWIR), entre 400 e 2500 nm (GOMES et al., 2018). Aliás, no mesmo pensamento, Madeira Netto (2001) leciona que a espectrorradiometria é um dos métodos não invasivo utilizados para avaliar de forma qualitativa e quantitativa propriedades físicas e químicas dos solos.

Nesse sentido, a aplicação da espectroscopia como método de análise do solo começou depois que Bowers e Hanks (1965) demonstraram que é possível quantificar os atributos do solo, como teor de umidade e matéria orgânica, utilizando energia refletida. Evoluindo aos estudos de hoje, onde ocorre a utilização da espectrorradiometria inclusive para os estudos da Agência Espacial Americana (NASA), que utiliza esse procedimento afim de conhecer as características dos solos e rochas do planeta Marte (NASA, 2018). Existem muitos estudos realizados sobre a espectrorradiometria de solos comparando dados radiométricos com os valores determinados por análises químicas ou físicas, a exemplo, os trabalhos de Dalmolin, (2005); Demattê, (2004; 2006; 2015); Souza Júnior et al., (2008); Dotto (2012); Cezar et al., (2012). Porém, diante da complexidade dos cálculos envolvidos para a predição dos atributos, necessita-se cada vez mais pesquisas relacionadas a essa área.

Para o estudo da geoestatística, ela trata do estudo das variáveis regionalizadas (YAMAMOTO e LANDIN, 2013) e parte do princípio que a diferença de valor entre duas observações é função da distância e da direção em que ocorre este afastamento entre os pontos de medida (ANDRIOTTI, 2003). E o estudo da distribuição espacial e sua variabilidade, bem como a determinação das incertezas

associadas a elas são relacionados à caracterização espacial de uma determinada variável de interesse, definindo o objetivo principal da geoestatística (YAMAMOTO e LANDIN, 2013).

Dessa forma, a dissertação se dividiu em dois artigos. O primeiro objetivou a avaliação dos dados espectrais de diversas amostras de solo coletadas no estado do Rio Grande do Sul, para se estabelecer correlações com atributos químicos. Ato seguinte, obteve-se equações múltiplas de regressão o que tornou possível a quantificação daqueles atributos. Já no segundo artigo, apurou-se a predição de valores de argila em uma área de Latossolo Vermelho, na região dos campos de cima da Serra Gaúcha, com base naquelas equações de regressão, preditas anteriormente, em uma área de Viticultura de Precisão.

1.1 Referencial Teórico

1.1.1 Análise de Regressão Múltipla

A análise de regressão múltipla envolve uma variável dependente métrica e várias variáveis independentes métricas (HAIR et al., 2009). Deste modo, a análise de regressão estuda o relacionamento entre uma variável dependente e outras variáveis chamadas variáveis independentes, sendo assim representado por um modelo matemático, por uma equação que associa a variável dependente com as variáveis independentes. Para Henriques (2011), este modelo é denominado por modelo de regressão linear simples quando se define uma relação linear entre a variável dependente e uma variável independente. E se em vez de uma, forem incorporadas várias variáveis independentes, o modelo passa a denominar-se modelo de regressão linear múltipla.

Segundo Alves (2013), o método stepwise é usado para selecionar quais variáveis mais influenciam o conjunto de saída podendo, assim, diminuir o número de variáveis a compor a equação de regressão. O método é feito de forma iterativa, adicionando (passo forward) e removendo variáveis (passo backward), a partir de um critério de seleção, onde um dos critérios de seleção mais usados é o teste F, mas também pode ser feito com o coeficiente correlação linear múltipla, erro quadrático total.

1.1.2 Geoestatística

A geoestatística utiliza os dados duas vezes, primeiramente para estimar a autocorrelação espacial e depois para fazer previsões, estimativas (ANDRIOTTI, 2003).

O semivariograma experimental ou amostral, a partir dos dados de campo, pode ser calculado a partir da metade da diferença média quadrática entre pares de dados que pertencem a certa classe de distância (*lag*), que compõe a distância máxima de análise, dado pela equação (1) (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989; VIEIRA, 1998; SOARES, 2006; YAMAMOTO e LANDIM, 2013):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n_{(h)}} \sum_{i=1}^{n_{(h)}} [Z_{(x_i)} - Z_{(x_i+h)}]^2 \quad (1)$$

Onde, $\gamma(h)$ = semivariância estimada; $n_{(h)}$ = número de pares de valores medidos para a distância h ; $Z_{(x_i)}$ = valor da variável no ponto x_i ; $Z_{(x_i+h)}$ = valor da variável no ponto x_i mais uma distância h .

O semivariograma é composto por, efeito pepita (C_0), que corresponde ao erro amostral e as microestruturas não captadas pela escala de amostragem, alcance (a), sendo a distância em que as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente (zona de influência da amostra), onde a partir do alcance os dados não são correlacionados, contribuição (C_1), variância espacialmente estruturada, dada pelo incremento de variabilidade, obtida no pareamento de dados (diferenças), mediante o aumento da distância, e patamar ($C_0 + C_1$), valor determinado a partir do alcance, onde não há acréscimo de variabilidade com o aumento da distância, caracterizando as regiões de comportamento aleatório da amostra, sendo o valor de patamar próximo ao da variância da amostra dada pela estatística clássica (VIEIRA, 1998; CAMARGO, 2001; ANDRIOTTI, 2003; LANDIM, 2003; SOARES, 2006; YAMAMOTO e LANDIM, 2013). Os modelos teóricos mais utilizados são aqueles que apresentam patamar e conforme Landim (2006) são Esférico, Exponencial e Gaussiano.

Quando o ajuste variográfico não é satisfatório opta-se por processos não estocásticos de interpolação como pode ser por meio do inverso do quadrado da distância, conforme equação (2) (MELLO et al., 2005).

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} X_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \right)} \quad (2)$$

Onde: X_p : variável interpolada; X_i : valor da variável da i ésima localidade vizinha; d_i : distância euclidiana entre o i -ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado.

Já quando o ajuste variográfico é satisfatório, utiliza-se a Krigagem Ordinária Pontual. A Krigagem é um processo de estimativa de valores distribuídas no espaço, e/ou no tempo, a partir de valores adjacentes enquanto considerados como interdependentes pelo variograma.

Desta forma, conhecido o semivariograma da variável, e havendo dependência espacial entre as amostras, podem-se interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, sem tendência e com variância mínima (Vieira, 2000). Corroborando com os autores acima, GENÚ (2004), afirma que a krigagem tem como base os dados amostrais da variável regionalizada e as propriedades estruturais do semivariograma obtido a partir destes dados o que permite visualizar o comportamento da variável na região através de um mapa de isolinhas ou de superfície.

Para Landim (2006) a metodologia geoestatística apresenta diversas técnicas de estimativas disponíveis e a mais usual é a krigagem ordinária. A krigagem ordinária é um método local de estimativa e, dessa forma, a estimativa em um ponto não amostrado resulta da combinação linear de valores encontrados na vizinhança próxima (YAMAMOTO e LANDIM, 2013), conforme a equação (17).

$$Z^*_{KO(x_0)} = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (3)$$

Onde: $Z^*_{KO(x_0)}$ é o valor estimado da variável para o ponto x_0 ; λ_i a matriz de pesos obtidas do semivariograma e $Z(x_i)$ são os valores da variável dos pontos em torno ao ponto em que se está estimando.

Para Isaaks e Srivastava (1989), Faraco (2008) a validação cruzada é uma técnica de avaliação de erros de estimativas que permite comparar os valores da amostra com os preditos. O valor da amostra, em certa localização $Z_{(x_i)}$, é temporariamente descartado do conjunto de dados e, então, é feita uma previsão por krigagem no local $\hat{Z}_{(x_i)}$, usando-se as amostras restantes (FARACO et al., 2008).

Assim, segundo Faraco et al. (2008), McBratney e Webster (1986) e Cressie (1993), o erro médio reduzido (\overline{ER}), desvio-padrão dos erros médios (DP_{EM}), desvio-padrão dos erros reduzidos (S_{ER}) e do erro absoluto (EA), são parâmetros estatístico que podem ser utilizados como instrumento para avaliar modelos.

1.2 Proposição

A presente dissertação tem como propósito analisar a relação existente entre os dados obtidos mediante espectrorradiometria, com o auxílio da estatística e geoestatística, cujas observações, de natureza quantitativa ou qualitativa, serão usadas para inferir as propriedades do fenômeno espacial em estudo.

Assim, têm-se como objetivos específicos:

- Determinar a relação dos atributos físicos e químicos do solo com a espectrorradiometria VNIR (Visible and Near Infra Red - Região Visível e Infravermelho Próximo, médio do Espectro Eletromagnético) e elaborar equações de predição.

- Utilizar as equações de regressão preditas anteriormente, para avaliar a possibilidade de estimar os teores de argila em amostras de solo, a partir da resposta espectral na região do Visível, Infravermelho Próximo e Médio em uma área de Viticultura de Precisão.

1.3 Material e Métodos

Inicialmente as amostras de solos analisadas foram coletadas no estado do Rio Grande do Sul representando diversos tipos de solos, sem a identificação da tipologia classificatória. As 87 amostras foram codificadas entre R1 e R87 (onde R representa a reflectância do solo). Estas amostras foram fornecidas por produtores rurais não identificados, onde realizaram-se as análises tradicionais de laboratório e

posteriormente realizou-se às leituras espectrais. As amostras foram secas em estufa à temperatura de 55°C por 3 dias, moídas e peneiradas (malha 2 mm) para homogeneização do tamanho de partícula e para redução dos efeitos da umidade e rugosidade (EMBRAPA, 1997). As varreduras espectrais foram realizadas no Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria e as análises químicas e físicas na empresa Base Agricultura de Precisão.

Os atributos do solo analisados primeiramente foram pH do solo em água 1:1, Índice SMP, Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Alumínio (Al) trocáveis, Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC) e (CTC pH7), Acidez potencial (H+Al), Saturação por bases (V), Saturação por Al (M), Fósforo (P), Potássio (K), Teor de argila, Matéria orgânica (MO), Relação Ca/K, Relação (Ca+Mg) /K, Relação Ca/CTC pH7, Relação K/CTC pH7, Relação Mg/K, Relação Mg/CTC pH7, Relação Ca/Mg, Textura, totalizando 22 variáveis.

A leituras das assinaturas espectrais das amostras de solo foram realizadas com o solo disposto em placas de Petri com 9 cm de diâmetro e 1,5 cm de altura para serem submetidas à leitura espectral. O equipamento utilizado para as leituras espectrais foi o espectrorradiômetro FieldSpec 3, que cobre a faixa espectral de 350 a 2.500 nm. Ele contém fibra ótica com intervalo de amostragem de 1,4 nm entre 350 e 1000 nm e 2 nm entre 1000 e 2500 nm, sendo armazenados os dados com intervalo de 1nm. Para obtenção dos dados, utilizou-se uma placa padrão branca (spectralon) com 100 % de reflectância para calibração.

No tratamento dos dados, foram realizados o cálculo da primeira derivada da curva de reflectância média, para cada amostra de solo buscando regiões com mudanças bruscas no gráfico resultante (pontos de máximo ou mínimo). Da observação dos pontos de máxima e mínima no gráfico da primeira derivada determinaram-se intervalos de comprimentos de ondas (em nanômetros) onde poderíamos relacionar estes valores com os atributos físicos e químicos do solo, sendo eles: M1 (Máximo 997-1004), M2 (Mínimo 560:585), M3 (Mínimo 1301:1318), M4 (Máximo 1375:1385), M5 (Máximo 1330:1413), M6 (Mínimo 1420:1423), M7 (Máximo 1797:1804), M8 (Máximo 1852:1917), M9 (Máximo 2157:2160), M10 (Mínimo 2181:2188), M11 (Máximo 2196:2201), e M12 (Mínimo 2213:2217).

Além deste novos pontos notáveis no gráfico da primeira derivada, utilizaram-se neste estudo os valores médios de reflectância por bandas seguindo como referência os trabalhos de Henderson et al. (1992), Madeira Neto (1993, 1996),

Demattê e Garcia (1999), Peterson (2002), e Nanni (2002), sendo eles: B1 = 450:481, B2 = 481, B3 = 481:596, B4 = 596:710, B5 = 710:814, B6 = 814:975, B7 = 975:1350, B8 = 1350:1417, B9 = 1069, B10 = 1417:1449, B11 = 1449:1793, B12 = 1793:1831, B13 = 1865:1927, B14 = 1927, B15 = 1927:2102, B16 = 2101:2139, B17 = 2139:2206, B18 = 2206, B19 = 2206:2258, B20 = 2258, B21 = 2258:2389 e B22 = 2389:2498. Da mesma forma, a diferença dos valores de reflectância em determinados comprimentos de onda, sendo H1 = 469-532, H2 = 532-768, H3 = 768-876, H4 = 876-1353, H5 = 1353-1411, H6 = 1411-1439, H7 = 1439-1783, H8 = 1860-1923, H9 = 1923-2120, H10 = 2120-2206, H11 = 2206-2258, H12 = 2258-2389, H13 = 2389-2498. Este conjunto de índices e valores notáveis foram chamados Variáveis Espectrorradiométricas (VE)

Partiu-se para a elaboração das equações de predição de argila através da análise de regressão linear múltipla, após testou-se essas equações em uma área de agricultura de precisão, no município de Muitos Capões – RS. Todas as amostras destinadas à leitura espectral dessa nova área de estudo, foram secas em estufa à seguindo a mesma metodologia (EMBRAPA, 1997).

Com os dados, foi realizada a média aritmética simples das cinco leituras para cada amostra de reflectância os resultados foram confrontados, por meio de estatística descritiva, correlação de Pearson, teste t de Student e significância a 5%. Separamos as equações de regressão geradas para testarmos a predição do atributo argila em 148 amostras de solos. Após, testou-se a argila medida em laboratório pelos métodos tradicionais de análise de solo e a argila estimada através das equações de regressão, espacializou-se com as coordenadas de cada ponto de coleta de amostra de solo. E posteriormente se analisou a geoestatística dos dados.

Ao realizar-se o estudo da estatística descritiva com o objetivo de obter informações para identificar tendência dos dados, dispersão e forma de distribuição, calculou-se média, mediana, desvio padrão, mínimo e máximo, coeficiente de variação, variância e valores de primeiro quartil, terceiro quartil.

Para o estudo geoestatístico também foi adotado a análise da existência de dependência espacial entre as variáveis relacionadas, foram realizados ajuste à sentimento de semivariogramas, obtendo-se os parâmetros efeito pepita (C0), patamar (C0 + C), alcance (a), coeficiente de determinação (R²), Dependência Espacial (DE) utilizando a classificação de Biondi et al. (1994) e Índice de Dependência Espacial (IDE), conforme Seidel e Oliveira (2014, 2016).

Assim como, Ribeiro JR. e Diggle, (2001) e Sebem (2017) foi utilizado para os procedimentos de análise variográfica, ajuste de modelos teóricos, validação cruzada e krigagem ordinária, a utilização da biblioteca geoR. Também se utilizou o programa geoestatístico GS+ para a geração dos mapas, pela interpolação por Inverso da distância quando não se obteve bom ajuste variográfico. Para esses casos utilizou-se a interpolação por inverso da distância. E ao contrário, utilizou-se interpolação por krigagem ordinária pontual. A partir disso realizou-se o processamento dos dados e obtenção de mapas temáticos.

2 ARTIGO 1: RELAÇÃO DE VARIÁVEIS ESPECTRORRADIOMÉTRICAS COM A % DE ARGILA EM AMOSTRAS DE SOLO DO RIO GRANDE DO SUL.

RESUMO - A saúde do solo é a raiz da produção agrícola, mostrando-se o papel importante que ele ocupa nas sociedades agrárias. Apresentando-se assim, como tendência cada vez mais importante, compreender a saúde dele e as suas restrições. Por isso, a busca por métodos de quantificação de atributos físicos e químicos do ambiente de produção, com base na reflectância do solo, tem sido muito pesquisada. O objetivo deste trabalho foi determinar a possibilidade de estimar os teores de atributos químicos em amostras de solo, a partir da espectrorradiometria utilizando a região do visível, infravermelho próximo e Infravermelho onda curta (VNIR/SWIR). As curvas espectrais das amostras foram separadas em bandas, alturas e pontos de inflexão da primeira derivada dos solos do Rio Grande do Sul, que se relacionaram com cada atributo por meio de regressão linear múltipla pelo método de *stepwise*. A partir da análise de correlação foram selecionadas as variáveis com maior correlação com os parâmetros bandas, alturas e a média dos comprimentos de ondas em pontos de máxima e mínima da primeira derivada. Assim, para variável selecionada foram construídas equações de predição através do mesmo método de regressão. A espectrorradiometria difusa evidenciou-se mais eficiente na estimação de argila, com altas correlações negativas encontradas entre os dados espectrais e a variável argila dos solos estudados e não para matéria orgânica. As equações de estimativa apresentaram R^2 para argila entre 0,693 a 0.914. Indicando potencial de predição para este atributo.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, assinatura espectral de solos, predição de argila.

2 ARTICLE 1: RELATIONSHIP OF SPECTRORRADIOMETRIC VARIABLES WITH% CLAY IN SOIL SAMPLES OF RIO GRANDE DO SUL.

ABSTRACT - Soil health is the root of agricultural production, showing the important role that it occupies in agrarian societies. In this way, as an increasingly important trend, understanding its health and its restrictions. Therefore, the search for methods of quantification of physical and chemical attributes of the production environment, based on soil reflectance, has been much researched. The objective of this work was to determine the possibility of estimating chemical attribute levels in soil samples from spectroradiometry using the visible, near infrared and short wave infrared (VNIR / SWIR) regions. The spectral curves of the samples were separated into bands, heights and inflection points of the first derivative of the soils of Rio Grande do Sul, which were related to each attribute by means of multiple linear regression by stepwise method. From the correlation analysis we selected the variables with the highest correlation with the parameters bands, heights and the mean of the wavelengths in points of maximum and minimum of the first derivative. Thus, for selected variables, prediction equations were constructed using the same regression method. Diffuse spectroradiometry was more efficient in clay estimation, with high negative correlations

found between the spectral data and the clay variable of the studied soils and not for organic matter. The estimation equations presented R^2 between 0.693 and 0.914. Indicating prediction potential for this attribute.

Keywords: Precision agriculture, spectral signature of solos, clay prediction.

2.1 Introdução

Não há comida suficiente no mundo para alimentar todos, 925 milhões de pessoas ainda passam fome. No centro do problema estão a pobreza e a falta de poder aquisitivo, que impedem o acesso a alimentos nutritivos. Esta situação é agravada pela degradação constante dos solos, da água doce, dos oceanos e da biodiversidade. A cada ano a população mundial aumenta em 83 milhões de pessoas (ONU, 2018). Nesse contexto, torna-se essencial o aumento da produtividade agrícola para atender as necessidades de segurança alimentar. Por sua vez, o solo é o principal fator da produção agrícola. E, em razão dessa sua condição de raiz da produtividade, é indispensável a necessidade do desenvolvimento de soluções para um manejo correto dos insumos e para uma produção sustentável. O solo é um sistema complexo composto por constituintes orgânicos e minerais, habitado por diversos micro-organismos que catalisam várias reações importantes (BRAGATO, 2006). Não obstante, por apresentar natureza e configuração complexas, a mensuração de alguns de seus atributos químicos e físicos torna-se desafiadora. Pois, cada vez mais, métodos espectroscópicos estão sendo considerados como possíveis alternativas para substituir métodos laboratoriais convencionais de análise do solo (JANIK et al., 1995; VISCARRA ROSSEL e MCBRATNEY, 1998). Neste sentido, os avanços científicos referentes as análises laboratoriais do solo, mediante testes espectrais, abriram a porta para uma medida mais objetiva e mais rápida.

As técnicas espectroscópicas visíveis e infravermelhas são altamente sensíveis a componentes orgânicos e inorgânicos do solo, fazendo seu uso na agricultura e no meio ambiente de forma relevante (ENGLAND et al., 2018). Sendo assim, essa técnica permite a obtenção de informações sobre propriedades químicas do solo em tempo real, sem a necessidade de análises laboratoriais com reagentes que geram altas quantidades de resíduos contaminantes do ecossistema (DUNN et al., 2002; NANNI e DEMATTÊ, 2006; BROWN et al., 2006). Por isso, os altos custos e tempo despendidos com o uso de métodos tradicionais de avaliação de solos levam à

necessidade de utilização de novos métodos, principalmente na Agricultura de Precisão (DEMATTÊ et al. 2015), que demanda grandes quantidades de amostras de solos.

A técnica da espectrorradiometria consiste na interação de uma fonte de energia eletromagnética (EEM) com a amostra de solo. Sendo que, a EEM incide na amostra e interage com ela e um sensor capta a quantidade refletida. Existe uma relação física entre os componentes da amostra e os diferentes comprimentos de onda da luz, proporcionando a assinatura espectral daquele determinado solo. Para Epiphany et al. (1992), existem diversos parâmetros que influenciam a reflectância do solo, nos quais podemos citar: cobertura vegetal verde, resíduos estranhos ao solo, rugosidade e formação de crosta superficial, umidade do solo, matéria orgânica, distribuição do tamanho de partículas, óxidos de ferro, mineralogia de argila, material de origem e o comportamento espectral de constituintes mineralógicos importantes como por exemplo, caulinita ($\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$), gibsitita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), goetita e hematita, magnetita (Fe_3O_4) e ilmetita (FeTiO_3), quartzo. Entretanto, o crescente interesse em espectroscopia NIR (*Near Infra Red* – Infravermelho Próximo) como técnica instrumental alternativa à análise de solos pode ser justificado pelas inúmeras e marcantes vantagens que esta técnica apresenta em relação às análises convencionais (SOUZA, 2014). Assim, a quimiometria envolve a aplicação de métodos matemáticos, estatísticos e computacionais para planejar, investigar e fazer previsão de conjuntos de dados de interesse químico através da espectrorradiometria (WOLD, 1995).

Portanto, novos métodos de análise do solo que são menos onerosos e mais rápidos devem ser pesquisados. Por isso, o objetivo deste trabalho foi determinar a relação de variáveis espectrorradiométricas com a % de argila em amostras de solo do Rio Grande do Sul e elaborar equações de predição.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Amostras de Solo e Análise Química

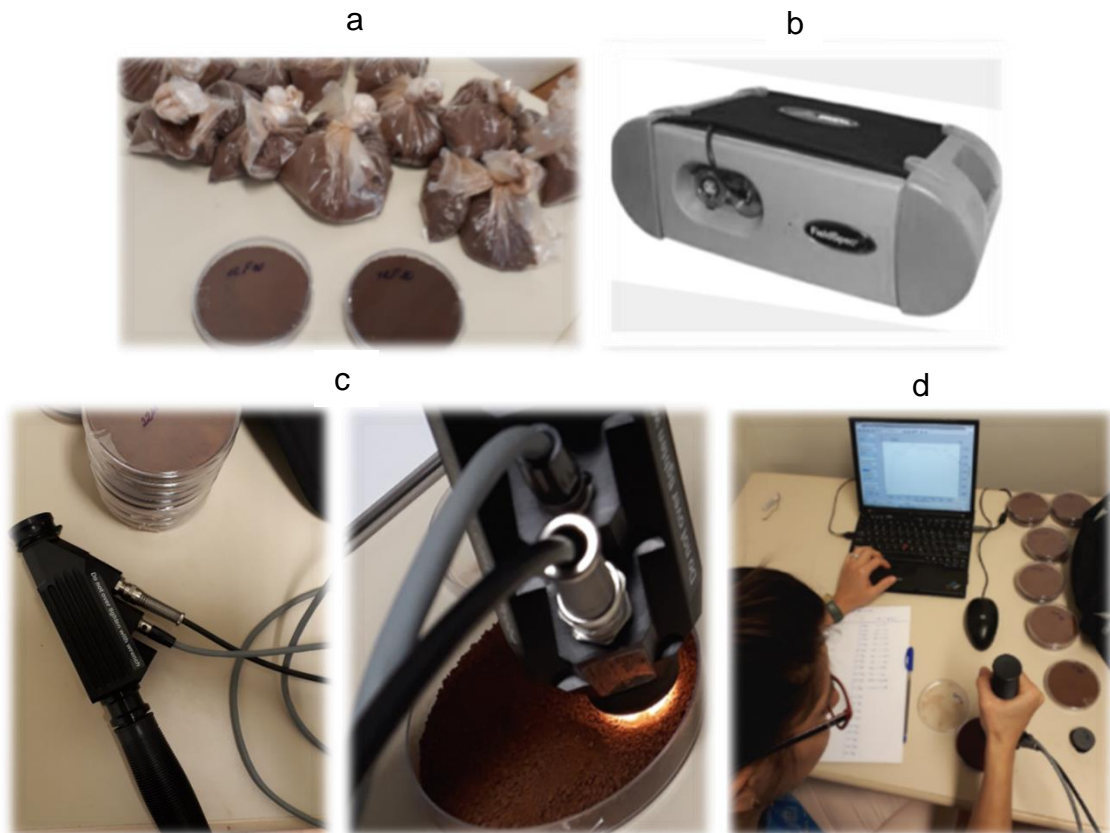
As amostras de solos analisadas foram coletadas no estado do Rio Grande do Sul e representam diversos tipos de solos, sem qualificação *a priori* da tipologia classificatória. Cada uma das 87 amostras fora codificada entre R1 e R87 (onde R representa a reflectância do solo). Estas amostras foram fornecidas por produtores rurais não identificados, onde realizaram-se as análises tradicionais de laboratório e posteriormente destinadas às leituras espectrais. As amostras foram secas em estufa à temperatura de 55°C por 3 dias, moídas e peneiradas (malha 2 mm) para homogeneização do tamanho de partícula e para redução dos efeitos da umidade e rugosidade (EMBRAPA, 1997). As varreduras espectrais foram realizadas no Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria e as análises químicas e físicas na empresa Base Agricultura de Precisão.

Os atributos do solo analisados primeiramente foram pH do solo em água 1:1, Índice SMP, Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Alumínio (Al) trocáveis, Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC) e (CTC pH7), Acidez potencial (H+Al), Saturação por bases (V), Saturação por Al (M), Fósforo (P), Potássio (K), Teor de argila, Matéria orgânica (MO), Relação Ca/K, Relação (Ca+Mg)/K, Relação Ca/CTC pH7, Relação K/CTC pH7, Relação Mg/K, Relação Mg/CTC pH7, Relação Ca/Mg, Textura, totalizando 22 variáveis.

2.2.2 Espectrorradiometria

As amostras de solo foram dispostas em placas de Petri com 9 cm de diâmetro e 1,5 cm de altura para serem submetidas à leitura espectral (Figura 1a). O equipamento utilizado para as leituras espectrais foi o espectrorradiômetro FieldSpec 3 (Figura 1b), que cobre a faixa espectral de 350 a 2.500 nm. Ele contém fibra ótica com intervalo de amostragem de 1,4 nm entre 350 e 1000 nm e 2 nm entre 1000 e 2500 nm, sendo armazenados os dados com intervalo de 1nm. Para obtenção dos dados, utilizou-se uma placa padrão branca (spectralon) com 100 % de reflectância para calibração.

Figura 1 - Disposição das amostras nas placas de Petri, espectrorradiômetro FieldSpec 3, probe de contato, leitura espectral das amostras.



Fonte: do Autor.

O leitor de fibra óptica foi colocado em um *probe* de contato, equipamento de leitura por contato, onde realiza-se as leituras em contato com as amostras, esse método é utilizado para que não haja influência de outras radiações eletromagnéticas disponíveis no ambiente de trabalho, ou seja, só houve a incidência de radiação controlada. As leituras espectrais foram repetidas cinco vezes para cada amostra de solo, com deslocamento da leitura na placa de Petri em 360° no sentido anti-horário. Com os dados, foi realizada a média aritmética simples das reflectâncias, das cinco leituras para cada amostra. Figura 2, foto da realização da leitura espectral com o *probe* de contato nas amostras de solo.

No tratamento dos dados, foram realizados o cálculo da primeira derivada da curva de reflectância média, para cada amostra de solo buscando regiões com mudanças bruscas no gráfico resultante (pontos de máximo ou mínimo). Da observação dos pontos de máxima e mínima no gráfico da primeira derivada

determinaram-se intervalos de comprimentos de ondas (em nanômetros) onde poderíamos relacionar estes valores com os atributos físicos e químicos do solo, sendo eles: M1 (Máximo 997-1004), M2 (Mínimo 560:585), M3 (Mínimo 1301:1318), M4 (Máximo 1375:1385), M5 (Máximo 1330:1413), M6 (Mínimo 1420:1423), M7 (Máximo 1797:1804), M8 (Máximo 1852:1917), M9 (Máximo 2157:2160), M10 (Mínimo 2181:2188), M11 (Máximo 2196:2201), e M12 (Mínimo 2213:2217).

Além deste novos pontos notáveis no gráfico da primeira derivada, utilizaram-se neste estudo os valores médios de reflectância por bandas seguindo como referência os trabalhos de Henderson et al. (1992), Madeira Neto (1993, 1996), Demattê e Garcia (1999), Peterson (2002), e Nanni (2002), sendo eles: B1 = 450:481, B2 = 481, B3 = 481:596, B4 = 596:710, B5 = 710:814, B6 = 814:975, B7 = 975:1350, B8 = 1350:1417, B9 = 1069, B10 = 1417:1449, B11 = 1449:1793, B12 = 1793:1831, B13 = 1865:1927, B14 = 1927, B15 = 1927:2102, B16 = 2101:2139, B17 = 2139:2206, B18 = 2206, B19 = 2206:2258, B20 = 2258, B21 = 2258:2389 e B22 = 2389:2498. Da mesma forma, a diferença dos valores de reflectância em determinados comprimentos de onda, sendo H1 = 469-532, H2 = 532-768, H3 = 768-876, H4 = 876-1353, H5 = 1353-1411, H6 = 1411-1439, H7 = 1439-1783, H8 = 1860-1923, H9 = 1923-2120, H10 = 2120-2206, H11 = 2206-2258, H12 = 2258-2389, H13 = 2389-2498. Este conjunto de índices e valores notáveis foram chamados Variáveis Espectrorradiométricas (VE)

2.2.3 Tratamento dos Dados

Os dados obtidos nas análises de solo laboratoriais (22 variáveis) e os índices espectrais (47 variáveis) foram tabulados em planilha única para os 87 pontos amostrais. Primeiramente foram analisadas as estatísticas básicas das 70 variáveis em estudo e foi aplicada a Correlação de Pearson para identificar relações lineares entre os dados, no software MS Excel 2016.

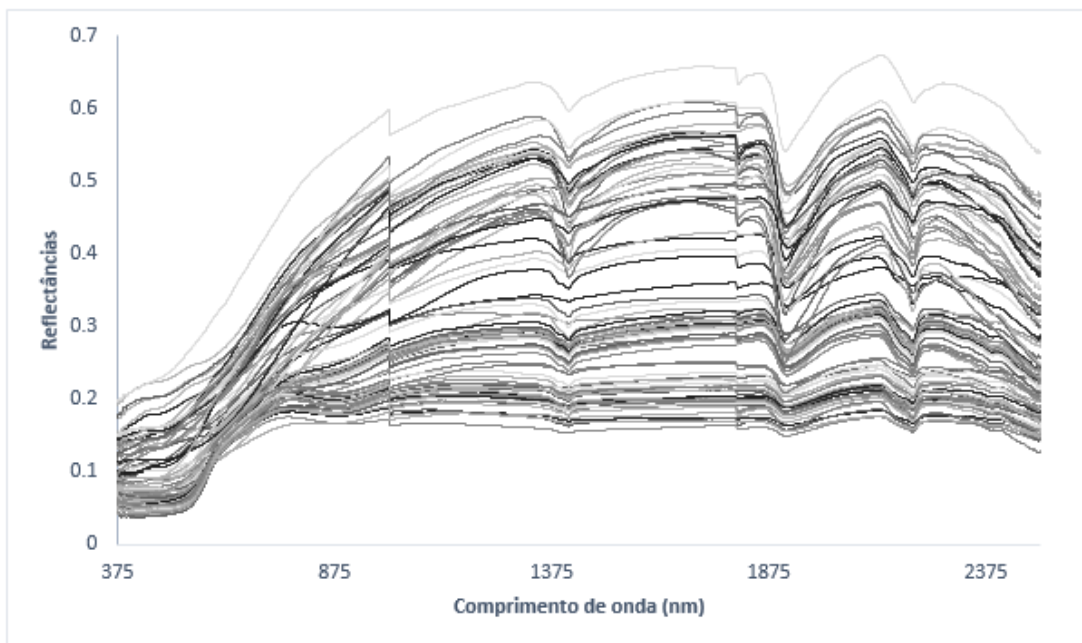
As melhores correlações lineares encontradas foram então processadas no Software IBM SPSS 12 em um estudo de regressão linear múltipla pelo método *stepwise*.

2.3 Resultados e Discussões

2.3.1 Reflectância do Solo

De acordo com Novo (1998), a resposta espectral é diretamente influenciada pelos componentes contidos no alvo. Assim, podemos observar as regiões de absorção e reflexão na assinatura espectral da Figura 2. Os solos estudados são de variados tipos e de diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul, por isso, pode-se notar as diferentes reflectâncias espectrais, variando entre 5 e 65%.

Figura 2 - Assinaturas espectrais das leituras VNIR de solo.



Fonte: do Autor.

Dentre os fatores que influenciam no comportamento espectral dos solos está a umidade do solo, a distribuição do tamanho das partículas do solo e a presença de diferentes argilominerais que influenciam na sua resposta espectral (MENESES & MADEIRA NETTO, 2001). A primeira afirmativa fica descartada já que as amostras de solo analisadas foram secas a peso constante e as outras duas são fortemente dependentes do grau de intemperismo do solo e do seu material de origem.

Absorções na região visível (400–700 nm) são devidas principalmente a excitações eletrônicas e estão associadas à escuridão da matéria orgânica do solo e

aos cromóforos de minerais contendo ferro (VISCARRA ROSSEL e MCBRATNEY, 2008). Os espectros de infravermelho são resultantes de diferentes tipos de vibração molecular. Enquanto o espectro no infravermelho médio com refletância difusa, apresenta os sinais referentes às vibrações fundamentais das moléculas no infravermelho próximo detectando-se as vibrações harmônicas com combinações dos minerais (FERRARESI et al., 2012).

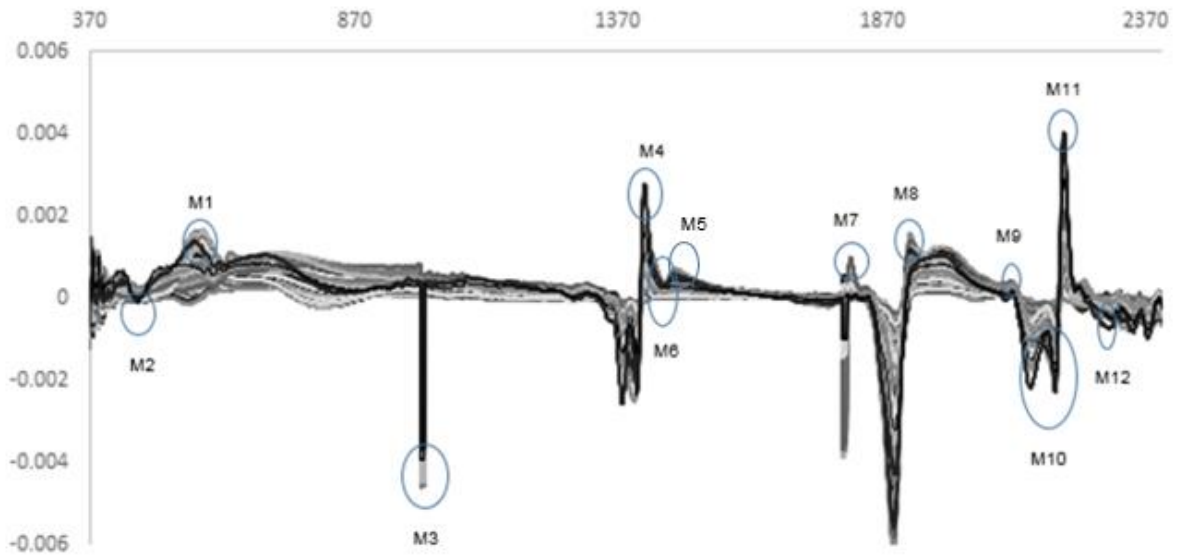
2.3.2 Análise Derivativa

Ao analisar a primeira derivada calculada para as médias de reflectância das 87 amostras de solo (Figura 3) utilizadas no trabalho pode-se observar os pontos de máximo e mínimo que podem indicar locais de interesse na definição de características físico químicas dos solos.

As feições de curvatura que ocorrem na resposta de reflectância são destacadas nos pontos onde as curvas espectrais encontram o comprimento de onda da derivativa. As feições de mudanças bruscas no espectro original de reflectância do solo podem ser atribuídas a absorção ou espalhamento de determinados componentes opticamente ativos. Nesse sentido, a técnica de análise derivativa é um instrumento que visa derivar esta feição em função do comprimento de onda que ocorre. O realce de feições que se destacaram na assinatura espectral dos solos estudados, tanto em picos de reflectância como em bandas de absorção. Essa técnica é considerada como uma taxa de mudança da reflectância em relação ao comprimento de onda (RUNDQUIST et al., 1996).

A maior curvatura positiva no gráfico da derivada corresponde ao comprimento de onda em torno de 2196:2201 nm (M11), onde a curva de reflectância tem um aumento positivo acentuado. Ocorre uma pequena feição de absorção que é mostrada na reflectância do solo em torno de 560:585nm (M2), uma feição grande em 1301:1318 (M3). Valores de absorção também em 2181:2188 (M10). E de reflectância também em M1, mais acentuada em M4, menor em M5, absorção em M6, reflexão em M7 e M8, pequena reflexão em M9 e absorção pequena em M12. Na Figura 4, pode-se constatar as curvas derivativas das amostras de solo obtidas neste trabalho.

Figura 3 - Pontos notáveis nas curvas da primeira derivada.



Fonte: do Autor.

No início das análises das amostras, haja vista a grande gama de curvas espectrais, se buscou aquelas que se mostravam mais representativas. No entanto, na formatação dos resultados finais, com a elaboração dos gráficos totais se constatou que alguns picos ficaram de fora de todo o processo, sem a possibilidade de se reiniciar todo o trabalho, além do que os resultados foram expressivamente positivos para a análise de correlação de Pearson e para a geração das equações de regressão, demonstra que os resultados seriam ainda mais positivos.

Ao observar a estatística descritiva dos dados como apresenta-se na Tabela 1, nota-se o coeficiente de variação, que mostra a dispersão dos dados em relação à média, com valores medianos. Pois, de acordo com a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), em que considera variabilidade baixa para CV menor que 12%, média para CV entre 12 e 62% e alta para CV maior 62%. A variância foi maior para argila e valores próximos de 0 para o restante das variáveis.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos dados utilizados no trabalho.

(Continua)

% de Argila	Média	Md	σ	σ^2	Mínimo	Máximo	CV (%)
Arg calc	40.01	34.00	22.40	501.59	11.00	79.00	55.97
MO calc	2.37	2.30	0.86	0.74	0.80	6.00	36.38
M1	0.32	0.27	0.11	0.01	0.17	0.60	34.65
M2	0.13	0.10	0.05	0.00	0.07	0.28	40.77
M3	0.34	0.29	0.13	0.02	0.16	0.63	38.97
M4	0.34	0.29	0.13	0.02	0.16	0.63	39.74
M5	0.34	0.29	0.14	0.02	0.16	0.64	39.41
M6	0.32	0.28	0.12	0.02	0.15	0.60	38.41
M7	0.36	0.31	0.14	0.02	0.16	0.66	40.62
M8	0.35	0.31	0.14	0.02	0.16	0.65	40.17
M9	0.35	0.30	0.14	0.02	0.17	0.66	39.58
M10	0.33	0.28	0.13	0.02	0.16	0.63	39.96
M11	0.32	0.28	0.13	0.02	0.16	0.62	39.95
M12	0.32	0.28	0.12	0.02	0.16	0.61	39.31
B1	0.10	0.07	0.05	0.00	0.04	0.23	49.34
B2	0.10	0.07	0.05	0.00	0.04	0.23	49.45
B3	0.12	0.10	0.05	0.00	0.06	0.27	41.98
B4	0.19	0.17	0.05	0.00	0.13	0.36	23.62
B5	0.25	0.22	0.06	0.00	0.16	0.47	25.75
B6	0.29	0.25	0.10	0.01	0.17	0.55	33.17
B7	0.33	0.28	0.12	0.01	0.16	0.61	36.51
B8	0.33	0.28	0.13	0.02	0.16	0.62	39.36
B9	0.32	0.27	0.12	0.02	0.15	0.60	38.53
B10	0.33	0.28	0.13	0.02	0.16	0.61	38.51
B11	0.35	0.30	0.14	0.02	0.16	0.65	40.55
B12	0.35	0.31	0.14	0.02	0.16	0.64	40.32
B13	0.31	0.28	0.12	0.01	0.15	0.59	37.13
B14	0.29	0.26	0.10	0.01	0.15	0.55	35.51
B15	0.33	0.30	0.12	0.02	0.16	0.62	37.22
B16	0.36	0.32	0.14	0.02	0.18	0.67	38.26
B17	0.33	0.29	0.13	0.02	0.16	0.64	39.71
B18	0.31	0.27	0.13	0.02	0.16	0.61	40.29
B19	0.33	0.29	0.13	0.02	0.17	0.62	38.09
B20	0.34	0.30	0.13	0.02	0.17	0.63	37.61
B21	0.33	0.29	0.12	0.02	0.17	0.63	37.89
B22	0.29	0.25	0.11	0.01	0.14	0.57	38.02
H1	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.04	55.98
H2	0.15	0.15	0.03	0.00	0.04	0.23	18.91
H3	0.03	0.02	0.03	0.00	0.00	0.09	85.33
H4	0.06	0.05	0.05	0.00	0.00	0.20	80.53
H5	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00	0.08	74.27
H6	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.04	58.20

% de Argila	Média	Md	σ	σ^2	Mínimo	Máximo	(Conclusão)
							CV (%)
H7	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00	0.06	72.79
H8	0.06	0.05	0.05	0.00	0.01	0.18	77.16
H9	0.07	0.06	0.04	0.00	0.02	0.17	59.31
H10	0.05	0.05	0.02	0.00	0.01	0.11	40.48
H11	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.07	41.97
H12	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.07	58.93
H13	0.04	0.04	0.02	0.00	0.01	0.08	48.48

Legenda: Mínimo = Porcentagem Mínima de Argila; Md = Mediana; Máximo = Porcentagem Máxima de Argila; σ = Desvio Padrão; σ^2 = Variância; CV = Coeficiente de Variação; Arg calc = Argila calculada; MO calc = Matéria orgânica calculada. M1 (Máximo 997-1004), M2 (Mínimo 560:585), M3 (Mínimo 1301:1318), M4 (Máximo 1375:1385), M5 (Máximo 1330:1413), M6 (Mínimo 1420:1423), M7 (Máximo 1797:1804), M8 (Máximo 1852:1917), M9 (Máximo 2157:2160), M10 (Mínimo 2181:2188), M11 (Máximo 2196:2201), M12 (Mínimo 2213:2217), B1= 450:481, B2= 481, B3= 481:596, B4= 596:710, B5= 710:814, B6= 814:975, B7= 975:1350, B8= 1350:1417, B9= 1069, B10= 1417:1449, B11= 1449:1793, B12= 1793:1831, B13= 1865:1927, B14= 1927, B15= 1927:2102, B16= 2101:2139, B17= 2139:2206, B18= 2206, B19= 2206:2258, B20= 2258, B21= 2258:2389, B22= 2389:2498, H1= 469-532, H2= 532-768, H3= 768-876, H4= 876-1353, H5= 1353-1411, H6= 1411-1439, H7= 1439-1783, H8= 1860-1923, H9= 1923-2120, H10= 2120-2206, H11= 2206-2258, H12= 2258-2389 e H13= 2389-2498, onde B = valor médio de reflectância para a banda e H = diferença no valor de reflectância para os comprimentos de onda relacionados.

2.3.3 Análise de Correlação entre as VE e de Solo

Altas correlações negativas foram encontradas entre os dados espectrais e a variável argila dos solos estudados e não para matéria orgânica, como é apresentado na Tabela 2. Para as demais variáveis de solo não foram encontrados valores consideráveis de correlação e, também não foram significativas. Portanto, não foram testadas na análise de regressão linear múltipla (No apêndice A podem ser observadas as demais correlações). Altas correlações foram encontradas para as todas as variáveis estudadas com relação a argila, com exceção da B4, H2, H5, H6, H11 e H12. Porém, baixas para a matéria orgânica.

Henderson et al. (1992) relata que para selecionar as melhores bandas para classificação do teor de matéria orgânica no solo, tiveram maior precisão no conjunto de dados que apresentava condições climáticas homogêneas. Nesta presente pesquisa foram utilizados solos de todas as regiões do Rio Grande do Sul, apresentando grande variabilidade de fatores influenciadores na matéria orgânica. Ainda, Henderson et al. (1992), estudando a faixa espectral de 400 a 2500 nm, concluíram que se pode prever teores de matéria orgânica em solos, porém, não a sua composição. Schulze et al. (1993), comentam que a granulometria é uma variável

que estabelece alta relação entre a matéria orgânica do solo e a reflectância, pois paisagens onde a granulometria é pouco uniforme, a relação torna-se imprevisível. Dalmolin (2002), fala que a remoção da matéria orgânica com H₂O₂ aumentou consideravelmente a reflectância do solo, ressaltando as feições em 900 nm típicas da presença de óxidos de ferro.

Tabela 2 - Coeficiente de Correlação de Pearson entre as VE e Argila e Matéria Orgânica.

VE	Argila	MO	VE	Argila	MO	VE	Argila	MO
M1	-0,721*	-0,120 ^{ns}	B5	-0,577*	-0,201 ^{ns}	B21	-0,824*	-0,115 ^{ns}
M2	-0,620*	-0,064 ^{ns}	B6	-0,700*	-0,133 ^{ns}	B22	-0,827*	-0,122 ^{ns}
M3	-0,757*	-0,076 ^{ns}	B7	-0,748*	-0,095 ^{ns}	H1	-0,536*	-0,049 ^{ns}
M4	-0,764*	-0,074 ^{ns}	B8	-0,772*	-0,076 ^{ns}	H2	-0,166 ^{ns}	-0,398*
M5	-0,760*	-0,075 ^{ns}	B9	-0,789*	-0,080 ^{ns}	H3	-0,652*	-0,115 ^{ns}
M6	-0,789*	-0,081 ^{ns}	B10	-0,786*	-0,083 ^{ns}	H4	-0,756*	0,043 ^{ns}
M7	-0,787*	-0,076 ^{ns}	B11	-0,778*	-0,076 ^{ns}	H5	-0,349*	-0,025 ^{ns}
M8	-0,797*	-0,077 ^{ns}	B12	-0,793*	-0,077 ^{ns}	H6	-0,450*	-0,134 ^{ns}
M9	-0,808*	-0,096 ^{ns}	B13	-0,828*	-0,100 ^{ns}	H7	-0,727*	-0,030 ^{ns}
M10	-0,808*	-0,090 ^{ns}	B14	-0,832*	-0,119 ^{ns}	H8	-0,564*	0,026 ^{ns}
M11	-0,811*	-0,090 ^{ns}	B15	-0,823*	-0,108 ^{ns}	H9	-0,635*	-0,048 ^{ns}
M12	-0,819*	-0,093 ^{ns}	B16	-0,813*	-0,103 ^{ns}	H10	-0,503*	-0,160 ^{ns}
B1	-0,621*	-0,041 ^{ns}	B17	-0,809*	-0,093 ^{ns}	H11	-0,209 ^{ns}	-0,276*
B2	-0,626*	-0,040 ^{ns}	B18	-0,813*	-0,088 ^{ns}	H12	-0,367*	-0,027 ^{ns}
B3	-0,618*	-0,062 ^{ns}	B19	-0,823*	-0,102 ^{ns}	H13	-0,668*	-0,045 ^{ns}
B4	-0,454*	-0,215 ^{ns}	B20	-0,822*	-0,111 ^{ns}			

Legenda: VE = Variável Espectrorradiométrica, MO = Matéria Orgânica, M1 (Máximo 997-1004), M2 (Mínimo 560:585), M3 (Mínimo 1301:1318), M4 (Máximo 1375:1385), M5 (Máximo 1330:1413), M6 (Mínimo 1420:1423), M7 (Máximo 1797:1804), M8 (Máximo 1852:1917), M9 (Máximo 2157:2160), M10 (Mínimo 2181:2188), M11 (Máximo 2196:2201), M12 (Mínimo 2213:2217), B1= 450:481, B2= 481, B3= 481:596, B4= 596:710, B5= 710:814, B6= 814:975, B7= 975:1350, B8= 1350:1417, B9= 1069, B10= 1417:1449, B11= 1449:1793, B12= 1793:1831, B13= 1865:1927, B14= 1927, B15= 1927:2102, B16= 2101:2139, B17= 2139:2206, B18= 2206, B19= 2206:2258, B20= 2258, B21= 2258:2389, B22= 2389:2498, H1= 469-532, H2= 532-768, H3= 768-876, H4= 876-1353, H5= 1353-1411, H6= 1411-1439, H7= 1439-1783, H8= 1860-1923, H9= 1923-2120, H10= 2120-2206, H11= 2206-2258, H12= 2258-2389 e H13= 2389-2498, onde B = valor médio de reflectância para a banda e H = diferença no valor de reflectância para os comprimentos de onda relacionados. * significativo a 1% de probabilidade.

2.3.4 Regressão Linear Múltipla

Utilizaram-se modelos de regressão linear múltipla para estimativa dos atributos argila e matéria orgânica como variáveis dependentes. E como variáveis independentes as VE. Os modelos de regressão linear múltipla foram realizados pelo

IBM SPSS Statistics versão 12, utilizando o procedimento de regressão *stepwise* que é uma técnica computacional para seleção de variáveis, a ideia básica do método é incluir no modelo todas as variáveis, removendo passo a passo as de menor contribuição, até que o critério estatístico seja alcançado (DRAPER e SMITH, 1998). Assim, tendo-se os atributos como variáveis dependentes e a primeira derivada, bandas e alturas como variáveis independentes.

O procedimento de regressão por *stepwise* foi utilizado para determinar a melhor correlação, ou seja, calibração entre os dados de referência química e os dados espectrais para as amostras do solo. Assim, essa técnica associou o conteúdo desse atributo na amostra com sua influência na resposta espectral do solo e seu conteúdo foi estimado. E as variáveis que não apresentaram tal característica foram retiradas dos modelos.

Optou-se por não pré-selecionar as amostras de argila por tipos de textura. Assim, considerando todo o conjunto de dados para a argila e todo para matéria orgânica. A tabela 3 apresenta os modelos matemáticos obtidos na regressão linear múltipla para a variável % de argila e a tabela 4 as estatísticas de qualidade das equações obtidas.

Tabela 3 - Equações Matemáticas para % de Argila obtidos na Regressão Linear Múltipla.

EQUAÇÕES	
1	% Argila = 92,515 - 179,773 B14
2	% Argila = 75,679 - 235,225 B14 + 170,941 B4
3	% Argila = 61,717 - 228,731 B14 + 312,010 B4 - 1.117,221) H1
4	% Argila = 41,769 - 189,631 B14 + 531,467 B4 - 1.084,403) H1 - 272,459) M2
5	% Argila = 52,023 - 216,277 B14 + 1.206,995 B4 + 4.041,090 H1 - 4.470,278) M2 + 3.359,551 B1
6	% Argila = 48,414 - 279,874) B14 + 1.288,258 B4 + 3.709,629 H1 - 4.329,663) M2 + 3.207,623 B1 + 129,956 H4
7	% Argila = 44,194 - 309,697) B14 + 1.309,860 B4 + 3.474,202 H1 - 4.070,762) M2 + 2.996,546 B1 + 323,818 H4 - 459,388 H7
8	% Argila = 49,880 - 324,550 B14 + 1.144,303 B4 + 2.707,593 H1 - 3.266,297 M2 + 2.351,580 B1 + 289,480 H4 - 559,321 H7 + 222,527 H3
9	% Argila = 49,640 - 361,841 B14 + 1.164,760 B4 + 2.135,477 H1 - 2.671,533 M2 + 1.791,783 B1 + 382,465 H4 - 273,808 H7 + 392,161 H3 - 558,270 H13
10	% Argila = 50,475 - 358,228 B14 + 1.184,264 B4 + 2.175,985 H1 - 2.720,272 M2 + 1.809,518 B1 + 335,788 H4 + 408,456 H3 - 711,238 H13

Legenda: B14 = 1927; B4 = 596:710; H1 = 469-532; M2 = Mínimo 560:585; B1 = 450:481; H4 = 876-1353; H7 = 1439-1783; H3 = 768-876; e H13 = 2389-2498.

O R^2 ajustado ajusta de acordo com os graus de liberdade diferentes. Assim, para a variável argila obteve-se o menor valor de R^2 ajustado 0,689 para a equação 1

e de maior valor para a equação 9 de 0,904. E a estatística foi significativa para os coeficientes que atuaram na regressão ao nível de 1%.

Tabela 4 - Resultados estatísticos da análise de regressão múltipla para a variável % de Argila.

EQUAÇÕES	R ²	R ² Aj	EPE	Z	Significância
1	0,693	0,689	12,486	191,703	0,00
2	0,748	0,742	11,371	124,816	0,00
3	0,796	0,789	10,293	108,054	0,00
4	0,824	0,815	9,635	95,675	0,00
5	0,871	0,863	8,301	108,995	0,00
6	0,885	0,876	7,884	102,322	0,00
7	0,896	0,887	7,524	97,571	0,00
8	0,904	0,894	7,298	91,499	0,00
9	0,914	0,904	6,936	91,087	0,00
10	0,911	0,902	7,000	100,290	0,00

Legenda: R²: Coeficiente de Determinação, R² Aj = Coeficiente de Determinação Ajustado, EPE = Erro Padrão da Estimativa, Z = Valor Calculado de Z segundo a Normal Padrão, Significância < 0,01. Fonte: do autor.

A tabela 5 mostra as estatísticas de qualidade das equações obtidas para a variável Matéria Orgânica.

Tabela 5 - Resultados estatísticos da análise de regressão múltipla para a variável Matéria Orgânica.

EQUAÇÕES	R ²	R ² Aj	EPE	Z
1	0,158	0,148	0,794	15,966
2	0,214	0,195	0,771	11,441
3	0,312	0,287	0,726	12,537
4	0,357	0,326	0,706	11,384
5	0,439	0,404	0,664	12,662
6	0,424	0,396	0,668	15,078
7	0,473	0,440	0,643	14,540

Legenda: R²: Coeficiente de Determinação, R² Aj = Coeficiente de Determinação Ajustado, EPE = Erro Padrão da Estimativa, Z = Valor Calculado de Z segundo a Normal Padrão, Fonte: do autor.

Já para variável matéria orgânica, devido aos baixos coeficientes de determinação encontrados entre as VEs e a Matéria Orgânica não foram geradas equações preditoras para esta variável de solo.

Na Tabela 6, apresenta-se os dados estatísticos dos modelos para a variável % de argila, que apresentam as equações selecionadas.

Tabela 6 - Equações dos modelos de regressão para a variável % de Argila.

(Continua)

Modelo	Coef, Não Padronizados		Coef, Beta Padronizado	Valor t	Significância	
	B	Erro Padrão				
1	(Constante)	92,515	4,021		23,006	0,000*
	B14	-179,773	12,984	-0,832	-13,846	0,000*
2	(Constante)	75,679	5,361		14,116	0,000*
	B14	-235,225	17,497	-1,089	-13,444	0,000*
	B4	170,941	39,756	0,348	4,300	0,000*
3	(Constante)	61,717	5,792		10,656	0,000*
	B14	-228,731	15,906	-1,059	-14,380	0,000*
	B4	312,010	48,114	0,636	6,485	0,000*
	H1	-1.117,221	252,915	-0,380	-4,417	0,000*
4	(Constante)	41,769	7,788		5,363	0,000*
	B14	-189,631	18,488	-0,878	-10,257	0,000*
	B4	531,467	76,236	1,083	6,971	0,000*
	H1	-1.084,403	236,919	-0,369	-4,577	0,000*
	M2	-272,459	76,366	-0,625	-3,568	0,001*
5	(Constante)	52,023	6,971		7,463	0,000*
	B14	-216,277	16,668	-1,001	-12,975	0,000*
	B4	1.206,995	140,733	2,459	8,577	0,000*
	H1	4.041,090	966,162	1,374	4,183	0,000*
	M2	-4.470,278	776,225	-10,250	-5,759	0,000*
	B1	3.359,551	618,984	7,185	5,428	0,000*
6	(Constante)	48,414	6,720		7,204	0,000*
	B14	-279,874	25,760	-1,296	-10,865	0,000*
	B4	1.288,258	136,163	2,625	9,461	0,000*
	H1	3.709,629	923,726	1,261	4,016	0,000*
	M2	-4.329,663	738,605	-9,928	-5,862	0,000*
	B1	3.207,623	589,895	6,860	5,438	0,000*
	H4	129,956	41,526	0,288	3,129	0,002*
7	(Constante)	44,194	6,568		6,728	0,000*
	B14	-309,697	26,549	-1,434	-11,665	0,000*
	B4	1.309,860	130,142	2,669	10,065	0,000*
	H1	3.474,202	885,050	1,181	3,925	0,000*
	M2	-4.070,762	710,199	-9,334	-5,732	0,000*
	B1	2.996,546	567,387	6,409	5,281	0,000*
	H4	323,818	76,278	0,719	4,245	0,000*
	H7	-459,388	154,446	-,394	-2,974	0,004*
8	(Constante)	49,880	6,782		7,355	0,000*
	B14	-324,550	26,458	-1,503	-12,267	0,000*
	B4	1.144,303	143,248	2,332	7,988	0,000*
	H1	2.707,593	913,919	0,920	2,963	0,004*
	M2	-3.266,297	763,411	-7,490	-4,279	0,000*
	B1	2.351,580	610,299	5,029	3,853	0,000*
	H4	289,480	75,306	0,643	3,844	0,000*
	H7	-559,321	155,279	-0,480	-3,602	0,001*
	H3	222,527	91,031	0,270	2,445	0,017*
9	(Constante)	49,640	6,446		7,701	0,000*
	B14	-361,841	27,944	-1,675	-12,949	0,000*
	B4	1.164,760	136,304	2,373	8,545	0,000*
	H1	2.135,477	888,477	0,726	2,404	0,019*
	M2	-2.671,533	751,130	-6,126	-3,557	0,001*
	B1	1.791,783	608,200	3,832	2,946	0,004*
	H4	382,465	77,757	0,849	4,919	0,000*
	H7	-273,808	174,612	-0,235	-1,568	0,121 ^{ns}
	H3	392,161	102,760	0,476	3,816	0,000*
	H13	-558,270	182,499	-0,526	-3,059	0,003*

(Conclusão)						
Modelo	Coef, Não Padronizados		Coef, Beta Padronizado	Valor t	Significância	
	B	Erro Padrão				
10 (Constante)	50,475	6,484		7,785	0,000*	
B14	-358,228	28,108	-1,659	-12,745	0,000*	
B4	1.184,264	136,999	2,413	8,644	0,000*	
H1	2.175,985	896,369	0,740	2,428	0,018*	
M2	-2.720,272	757,473	-6,238	-3,591	0,001*	
B1	1.809,518	613,755	3,870	2,948	0,004*	
H4	335,788	72,502	0,745	4,631	0,000*	
H3	408,456	103,185	0,496	3,958	0,000*	
H13	-711,238	155,676	-0,671	-4,569	0,000*	

Legenda: M2 (Mínimo 560:585), B1= 450:481, B4= 596:710, B14= 1927, H1= 469-532, H3= 768-876, H4= 876-1353, H7= 1439-1783, H13= 2389-2498, onde B = valor médio de reflectância para a banda e H = diferença no valor de reflectância para os comprimentos de onda relacionados, * Significativo a 5%, ^{ns} = Não significativo a 5%. Fonte: do autor.

Antes de se detalhar como foi o processo das dez equações, desde já se ressalte o grande diferencial do presente trabalho: o pico M2 da primeira derivada ser o mais representativo.

A escolha da regressão linear para o estudo dos dados da predição dos atributos deu-se para analisar a relação das variáveis. Deste modo, examinando a variável de interesse, variável dependente, em função de outras variáveis, as covariáveis ou variáveis independentes, que irão ajudar a entendê-la. A seguir, encontra-se as variáveis espectrorradiométricas escolhidas pelo modelo para entrarem nas equações como variáveis das equações de predição. A estatística promoveu a escolha do pico da primeira derivada mais representativo e as bandas e alturas mais representativas para o atributo argila.

Assim, observa-se que a equação 1 utiliza o valor de reflectância em 1.927nm (B14), na região do infravermelho médio do espectro eletromagnético, ocorrendo nessa região um aumento da reflectância.

Na equação 2 as variáveis utilizadas foram a reflectância em 1.927nm (B14) e a média das reflectâncias entre 596 e 710nm (B4), compreendendo a região do vermelho e a borda do vermelho. Para Fiorio (2002), valores de reflectância entre 450 nm e 1.000 nm há a influência dos óxidos de ferro, com maior absorção nos comprimentos de onda menores que 550 nm, sendo tais absorções relacionadas a presença de formas trivalentes do ferro.

Regiões de absorção em feições de 1.950 nm, equivale a água e grupos OH. Em 2.200 nm, caulinita. Segundo Stoner & Baumgardner (1981), as baixas refletividades no visível e no infravermelho são devidas à presença de magnetita,

proveniente do intemperismo do basalto. Ainda segundo Hunt et al. (1971) a magnetita é um mineral tipicamente opaco e praticamente sem feições espectrais no visível e no infravermelho próximo.

A equação 3 utilizou além das variáveis descritas nas equações 1 e 2 a diferença entre a reflectância do solo em 469 e 532nm (H1), sendo que o primeiro comprimento de onda pertence a região do azul e o segundo na região do verde.

A equação 4 utilizou as variáveis descritas nas equações anteriores com o acréscimo da variável da primeira derivada em intervalos de 560 a 585 (M2). Ressaltando que este foi um ponto notável de mínimo detectado no estudo derivativo das curvas de reflectância e que agora contribui para estimativa da % de argila no solo. Sendo incluído pelo modelo nesta equação e nas equações posteriores também. Dos picos de absorção e reflexão selecionados no gráfico da primeira derivada, o pico M2 localiza-se na região do visível do espectro eletromagnético, mais especificadamente na região do verde.

Para a equação 5 foram usadas as mesmas variáveis anteriormente com a inclusão da B1, que são as bandas do intervalo entre 450 a 481, região do azul no espectro eletromagnético.

A equação 6 teve a abrangência de todas variáveis da equação anterior mais a variável H4, atuando na diferença de 876-1353. Região do infravermelho próximo.

Equação 7 incluiu as variáveis da equação anterior além disso a variável H7, que é a diferença de 1439-1783, região do infravermelho. Nessa região ocorre uma diferenciação entre as intensidades de reflectância entre os grupos.

Equação 8, adicionou as mesmas variáveis da equação 7, mas adicionou também a diferença dos comprimentos de onda 768-876 (H3).

A equação 9 acrescentou a variável (H13) compreendendo a diferença de 2389-2498 região do infravermelho médio do espectro eletromagnético.

E a equação 10 que retirou a variável H7 que constava a equação 9. Observando que todas as equações foram significativas em um nível de significância 0.05%, teste t de Student, com exceção da variável H7 na equação 9.

2.4 Conclusões

Este estudo objetivou obter correlações positivas entre as VE e o teor de MO e a % de Argila. Para o teor de matéria orgânica não houveram correlações

significativas. E apresentou menor capacidade de estimativa com o uso da espectrorradiometria difusa, obtendo-se R^2 entre 0,158 e 0,473.

Já para a % de Argila no solo obteve-se correlações significativas e adequados coeficientes de determinação com R^2 entre 0,693 e 0,914.

Obtiveram-se 10 equações de qualidade para estimar a % de argila em solos do Rio Grande do Sul que envolveram VE de várias regiões do espectro eletromagnético, o que demonstra a viabilidade deste tipo de análise.

O emprego da resposta espectral do solo na estimativa do atributo argila foi promissora, indicando que a técnica da espectrorradiometria de solos para a predição desta mostrou-se valiosa.

No entanto, novos estudos devem ser realizados para refinar as equações aqui apresentadas e testá-las em outros locais para validar os resultados obtidos.

2.5 Referências

BROWN, D.J.; SHEPHERD, K.D.; WALSH, M.G.; DEWAYNE MAYS, M.; REINSCH, T.G. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, v. 132, p. 273-290. 2006.

BRAGATO, M. **Tratamento 'in-situ' de solo contaminado por derivado de petróleo e metais**. São Paulo, Escola politécnica da USP, 2006, 104p. Tese de doutorado.

DALMOLIN, R.S.D. **Matéria orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de Latossolos de diferentes ambientes**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002, 169p. Tese de Doutorado.

DEMATTÊ, J.A.M.; Araújo S. R.; Fiorio P. R.; Fongar C. T.; Nanni M. R. Espectroscopia VIS-NIR-SWIR na avaliação de solos ao longo de uma topossequência em Piracicaba (SP). **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 4, p. 679-688, out-dez, 2015.

DEMATTÊ, J. A. M.; SOUSA, A. A.; ALVES, M. C.; NANNI, M. R.; FIORIO, P. R.; CAMPOS, R. C. Determining soil water status and other soil characteristics by spectral proximal sensing. **Geoderma** v. 135, p. 179-195. 2006.

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

DOTTO, A.C. **Funções de pedotransferência do solo: estimativa por radiometria**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012. 68 p. Dissertação de Mestrado.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied Regression Analysis**. JohnWiley & Sons, Inc., New York, 3rd edition, 706p. 1998.

DUNN, B.W.; BATTEN, G.D.; BEECHER, H.G.; CIAVARELLA, S. The potential of nearinfrared reflectance spectroscopy analysis – A case study from the Riverine Plain of south-eastern Australi. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v 42(5), p. 607-614. 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

ENGLAND, J. R. and VISCARRA ROSSEL, R. A. Proximal sensing for soil carbon accounting. **SOIL**, v. 4, p.101–122, 2018.

EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R.; VALERIANO, M.M.; OLIVEIRA, J.B. Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo. São José dos Campos, SP, **INPE**, 1992. 132 p. (INPE-5424-PRP/172).

FERRARESI, T. M.; SILVA, W. T. L.; NETO, L. M.; SILVEIRA, P. M.; MADARI, B. E. Espectroscopia de infravermelho na determinação da textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.1769-1777. 2012.

FIORIO, P. R. **Dados radiométricos obtidos nos níveis terrestre e orbital na avaliação de solos**. Piracicaba, 2002.198 p. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002. Tese de Doutorado.

HENDERSON, T.L.; BAUNGARDNER, M.F.; FRANSMEIER, D. High dimensional reflectance analysis of soils organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p. 865- 72, 1992.

HUNT, G. R. SALISBUNY, J. W.; LENHOFF, C. J. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: III. Oxides and hidroxides. **Modern Geology**, v.2, p.195-295, 1971.

JANIK, L.J.; SKJEMSTAD, J.O.; RAVEN, M.D. Characterisation and analysis of soils using mid-infrared partial least squares. I. Correlations with XRF-determined major element composition. **Australian Journal of Soil research**, v. 33, p. 621-636. 1995.

ONU – **Organização das Nações Unidas**

<http://www.onu.org.br/rio20/alimentacao.pdf>. Acesso em: 27 de maio de 2018.

MADEIRA NETTO, J.S. **Étude quantitative des relations constituants minéralogiques - réflectance diffuse des latosols brésiliens: application à l'utilisation pédologique des donées satellitaires TM** (région de Brasília). 1993. 236p. Doctorat (Thèse) - Université Pierre et Marie Curie, Paris.

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

MENESES, P.R. & MADEIRA NETTO, J.S., orgs. Sensoriamento remoto: Reflectância dos alvos naturais. **Brasília, UnB/Embrapa Cerrados**, 2001. 262p.

NANNI, M.R.; DEMATTE, J.A.M. Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis. **Soil Science Society of American Journal**, v 70, p. 393-407. 2006.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto, princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

WOLD, S. Chemometrics; what do we mean with it, and what do we want from it? **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 30, p. 109–115. 1995.

RUNDQUIST, D. C. et. al. Remote Measurement of Algal Chlorophyll in Surface Waters: The Case for the First Derivative of Reflectance Near 690 nm. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, vol. 62, no. 2, p. 195-200. 1996.

SCHULZE, D. G.; NAGEL, J. L.; VAN SCOYOC, G. E.; HENDERSON, T. L.; BAUMGARDNER, M. F.; SCOTT, D. E. Significance of organic matter in determining soils colors. In. BIGHAM, J.M.; CIOLKOSZ, E.J. **Soil color**. Madison: SSSA, p. 71-90. 1993.

SOUZA, A. M de. **Avaliação do potencial da espectroscopia no infravermelho próximo como método de rotina para a determinação de carbono orgânico do solo**. Tese (Doutorado em Ciências), 158 f., Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), São Paulo, 2014.

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.

VISCARRA ROSSEL, R.A. and MCBRATNEY, A.B. Laboratory evaluation of a proximal sensing technique for simultaneous measurement of clay and water content. **Geoderma**, v. 85(1), p. 19-39. 1998a.

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, p.319-344. 1980.

3 ARTIGO 2 – ESTIMATIVAS DE % DE ARGILA EM LATOSSOLO VERMELHO POR MEIO DE VARIÁVEIS ESPECTRORRADIOMÉTRICAS

RESUMO - Diversos avanços têm sido conquistados no campo da espectrorradiometria difusa, nas últimas décadas. Na área agrícola, a busca por métodos de quantificação de atributos físicos e químicos do ambiente de produção, com base na reflectância do solo, tem sido pesquisada constantemente. Por isso, o objetivo desse trabalho foi utilizar equações de regressão para avaliar a possibilidade de estimar os teores de argila em amostras de solo, a partir de sua energia refletida em uma área de Viticultura de Precisão. As amostras foram coletadas em uma área de 4 ha, localizada na região norte do estado do Rio Grande do Sul, composta por solo da classe Latossolo Vermelho. As profundidades de amostragem foram de 0-0,2 e 0,2-0,4 m, totalizando 148 pontos, georreferenciados, que recobriu toda a área de trabalho. As leituras espectrais foram obtidas em laboratório pelo sensor espectrorradiômetro FieldSpec que atua na faixa de 350 a 2.500 nm. As curvas espectrais das amostras foram separadas em picos de inflexão, bandas e alturas, que se relacionaram com cada atributo por meio de regressão linear múltipla. A espectrorradiometria difusa evidenciou-se eficiente na estimação da argila. Além da estatística tradicional utilizou-se a geoestatística que se apresenta como uma ferramenta importantíssima na agricultura de precisão (AP). Os resultados após a validação dos modelos indicaram se realizar mais pesquisas considerando a mineralogia que são grandes influenciadores na reflectância dos solos.

Palavras-chave: Espectrorradiometria de solos, geoestatística, mapas de predição.

3 ARTICLE 2 - ESTIMATES OF% CLAY IN RED LATOSSOLO THROUGH SPECTRORRADIOMETRIC VARIABLES

ABSTRACT - Several advances have been made in the field of diffuse spectroradiometry in the last decades. In the agricultural area, the search for methods of quantification of physical and chemical attributes of the production environment, based on soil reflectance, has been constantly researched. Therefore, the objective of this work was to use regression equations to evaluate the possibility of estimating clay content in soil samples, from its energy reflected in an area of Precision Viticulture . The samples were collected in an area of 4 ha, located in the northern region of the state of Rio Grande do Sul, composed by soil of the Red Latosol class. The sampling depths were 0-0.2 and 0.2-0.4 m, totaling 148 georeferenced points, which covered the entire work area. The spectral readings were obtained in the laboratory by the spectroradiometer FieldSpec 3 sensor that operates in the range of 350 to 2,500 nm. The spectral curves of the samples were separated into inflection peaks, bands and heights, which were related to each attribute by means of multiple linear regression. Diffuse spectroradiometry proved efficient in the estimation of clay. In addition to the traditional statistics, geostatistics was used as a very important tool in precision agriculture (AP). The results after the validation of the models indicated that more

research is done considering the mineralogy that are great influencers in soil reflectance.

Keywords: Soil spectroradiometry, geostatistics, predictive maps

3.1 Introdução

Técnicas de sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizadas na agricultura de precisão, que consiste no tratamento, armazenamento e análise dos dados coletados, de forma que se conheça melhor os fenômenos existentes na superfície monitorada. De tal modo, as informações são obtidas através de sensores e instrumentos de alta performance que estimam desde área plantada, levantamento do número de plantas em determinada área, saúde das plantas e culturas, detecção de pragas e doenças na plantação, entre outras. Dentre estas técnicas, a avaliação do comportamento espectral dos solos depende diretamente de sua composição química, biológica, física e mineralógica (Sousa et al., 2008). Por isso, atualmente, existe a necessidade de cada vez mais encontrar-se tecnologias e formas que propiciam melhorias no processo produtivo e com redução dos custos. Nos processos agropecuários, segundo Fiorin e Amado (2016), a obtenção de elevados rendimentos é uma necessidade em função dos altos custos de produção e a crescente competitividade. Também, Demattê et al. (2015) relatam os altos custos e tempo despendidos com o uso de métodos tradicionais de avaliação de solos que levam à necessidade de utilização de novos métodos, principalmente na Agricultura de Precisão. Assim, Demattê et al. (2001) mostram em seu trabalho que as análises de amostras de solo têm grande impacto nos custos de produção.

Por isso, desde que Bowers e Hanks (1965) demonstraram que foi possível quantificar os atributos do solo, como teor de umidade e matéria orgânica, utilizando energia refletida, iniciaram-se mais estudos a respeito da espectrorradiometria. Assim, a distinção de características físico-químicas do solo utilizando a espectrorradiometria pode ser incorporada para reduzir custos operacionais com análise de solo, e verificar variações e características do solo não observadas, pois com a utilização de faixas do espectro eletromagnético na região do infravermelho próximo e médio determina-se o que não é visto a olho nu. Portanto, existe uma grande demanda por uma rápida predição de atributos químicos no ambiente de produção, os quais são empregados

para o monitoramento ambiental, avaliação da qualidade do solo, agricultura de precisão (COHEN et al. 2005).

Para a geoestatística que se apresenta como uma ferramenta importantíssima na agricultura de precisão (AP). Ela tem sido muito utilizada nas pesquisas e estudos, pois tornou-se fundamental, com capacidade de explicar muitos fatores, dentre esses, poder fornecer mapas de predição de solos.

Portanto, o objetivo desse trabalho foi utilizar equações de regressão para estimar os teores de argila de amostras de solo, a partir da resposta espectral na região do Visível, Infravermelho Próximo e Médio em uma área de Viticultura de Precisão.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Solos da região de estudo

A formação dos solos no município e na região é fortemente influenciada pelo material de origem, rocha matriz, características do relevo e condições climáticas. No Município de Muitos Capões, os solos são formados a partir de rochas vulcânicas ácidas caracterizadas por riodacitos e riolitos, o relevo varia de suave a fortemente ondulado e a região apresenta o maior volume anual de precipitação do Estado do Rio Grande do Sul (STRECK et al., 2008).

Devido a esses fatores de formação, os solos do município, por sofrerem uma intemperização intensa, apresentam-se ácidos e com grandes profundidades. Os tipos de solo que ocorrem no Município de Muitos Capões, são: Latossolos Bruno Alumínico Câmbico, Latossolo Vermelho Alumínico Típico; Latossolo Vermelho Distroférico Típico; Chernossolo Argilúvico Férrico Típico. (RADAM Brasil, 1986). Por serem solos bastante intemperizados, apresentam elevadas concentrações de caulinita e óxido de ferro, o que lhes confere uma baixa CTC, e, portanto, uma baixa reserva de nutrientes. (MUITOS CAPÕES, 2010).

De acordo com a Embrapa (2006), os Latossolos são agrupamentos de solos que apresentam o Horizonte B Latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, formado principalmente por compostos inorgânicos em estágio avançado de intemperização. Apresentam-se destituídos de minerais primários e secundários menos resistentes ao intemperismo, são

normalmente muito profundos, fortemente ácido e bem drenados (STRECK et al., 2008).

3.2.2 Preparação dos dados

Todas as amostras destinadas à leitura espectral foram secas em estufa à temperatura de 40-45°C por 3 dias, moídas e peneiradas (malha 2 mm) para homogeneização do tamanho de partícula e para redução dos efeitos da umidade e rugosidade, os procedimentos de análise química e física de solo foram realizados seguindo a metodologia de Tedesco, (1985). Após, foram dispostas em placas de Petri com 9 cm de diâmetro e 1,5 cm de altura para serem submetidas à leitura espectral. O equipamento utilizado para as leituras espectrais foi o espectrorradiômetro FieldSpec, que cobre a faixa espectral de 350 a 2.500 nm. Ele contém fibra ótica com intervalo de amostragem de 1,4 nm entre 350 e 1000 nm e 2 nm entre 1000 e 2500 nm. Para obtenção dos dados, utilizou-se uma placa padrão branca (spectralon) com 100 % de reflectância para calibração.

O leitor de fibra ótica foi colocado em um *probe* de contato, equipamento de leitura por contato, onde realiza-se as leituras em contato com as amostras, esse método é utilizado para que não haja influência de outras radiações do ambiente, ou seja, houve somente incidência de radiação controlada, procedendo as leituras espectrais de certa forma vedada. As leituras espectrais foram repetidas cinco vezes, com deslocamento da leitura na placa de Petri em 360° no sentido anti-horário, possibilitando total varredura da amostra.

3.2.3 Estatística e Geoestatística

Com os dados, foi realizada a média aritmética simples das cinco leituras para cada amostra de reflectância o mesmo foi realizado com os dados da primeira derivada, que mostra os picos de máximo e de mínimo. Após, realizou-se o estabelecimento de modelos de regressão linear múltipla para estimativa do atributo argila como variável dependente e os valores da primeira derivada de máxima e de mínimo como variáveis independentes, para 87 amostras de solo, com tipos variados de solo.

Os cálculos estatísticos de regressão linear múltipla foram realizados no IBM SPSS Statistics versão 12, utilizando o procedimento de regressão *stepwise*. Aqui obteve-se as equações de predição para argila.

Na tabela 7 as equações matemáticas utilizadas para predição do atributo argila.

Tabela 7 - Equações Matemáticas para % de Argila obtidos na Regressão Linear Múltipla.

EQUAÇÕES	
1	% Argila = 92,515 - 179,773 B14
2	% Argila = 75,679 - 235,225 B14 + 170,941 B4
3	% Argila = 61,717 - 228,731 B14 + 312,010 B4 - 1.117,221) H1
4	% Argila = 41,769 - 189,631 B14 + 531,467 B4 - 1.084,403) H1 - 272,459) M2
5	% Argila = 52,023 - 216,277 B14 + 1.206,995 B4 + 4.041,090 H1 - 4.470,278) M2 + 3.359,551 B1
6	% Argila = 48,414 - 279,874) B14 + 1.288,258 B4 + 3.709,629 H1 - 4.329,663) M2 + 3.207,623 B1 + 129,956 H4
7	% Argila = 44,194 - 309,697) B14 + 1.309,860 B4 + 3.474,202 H1 - 4.070,762) M2 + 2.996,546 B1 + 323,818 H4 - 459,388 H7
8	% Argila = 49,880 - 324,550 B14 + 1.144,303 B4 + 2.707,593 H1 - 3.266,297 M2 + 2.351,580 B1 + 289,480 H4 - 559,321 H7 + 222,527 H3
9	% Argila = 49,640 - 361,841 B14 + 1.164,760 B4 + 2.135,477 H1 - 2.671,533 M2 + 1.791,783 B1 + 382,465 H4 - 273,808 H7 + 392,161 H3 - 558,270 H13
10	% Argila = 50,475 - 358,228 B14 + 1.184,264 B4 + 2.175,985 H1 - 2.720,272 M2 + 1.809,518 B1 + 335,788 H4 + 408,456 H3 - 711,238 H13

Legenda: B14 = 1927; B4 = 596:710; H1 = 469-532; M2 = Mínimo 560:585; B1 = 450:481; H4 = 876-1353; H7 = 1439-1783; H3 = 768-876; e H13 = 2389-2498.

Os resultados foram confrontados, por meio de estatística descritiva, correlação de Pearson, teste t de Student e significância a 5%. Separamos as equações de regressão geradas para testarmos a predição do atributo argila em 148 amostras de solos de uma área em Muitos Capões no estado do Rio Grande do Sul que pratica agricultura de precisão com a cultura de videiras. Após, testou-se a argila medida em laboratório pelos métodos tradicionais de análise de solo e a argila estimada através das equações de regressão, espacializou-se com as coordenadas de cada ponto de coleta de amostra de solo. E posteriormente se analisou a geoestatística dos dados.

Ao realizar-se a estatística descritiva com o objetivo de obter informações para identificar tendência dos dados, dispersão e forma de distribuição, calculou-se média, mediana, desvio padrão, mínimo e máximo, coeficiente de variação, variância e valores de primeiro quartil, terceiro quartil.

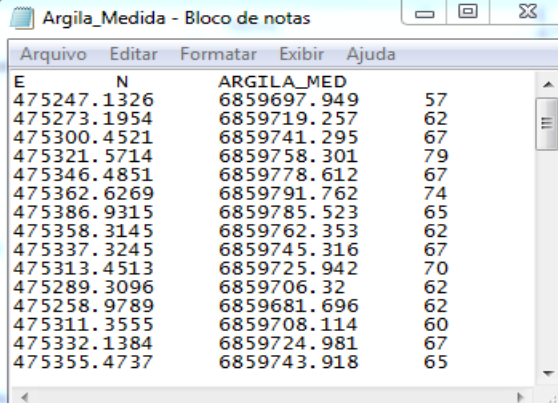
Para o estudo geoestatístico também foi adotado a análise da existência de dependência espacial entre as variáveis relacionadas, foram realizados ajuste à sentimento de semivariogramas, obtendo-se os parâmetros efeito pepita (C0),

patamar (C0 + C), alcance (a), coeficiente de determinação (R²), Dependência Espacial (DE) utilizando a classificação de Biondi et al. (1994) e Índice de Dependência Espacial (IDE), conforme Seidel e Oliveira (2014, 2016).

Assim como, Ribeiro JR. e Diggle, (2001) e Sebem (2017) foi utilizado para os procedimentos de análise variográfica, ajuste de modelos teóricos, validação cruzada e krigagem ordinária, a utilização da biblioteca geoR. Também se utilizou o programa geoestatístico GS+ para a geração dos mapas, pela interpolação por krigagem ordinária, quando se obteve dependência espacial e Inverso da distância quando não se obteve. Quando as variáveis apresentam ausência de variância estruturada, indicam uma distribuição totalmente aleatória, não sendo possível obter superfícies interpoladas por krigagem. Para esses casos a interpolação por inverso da distância mostra-se mais recomendado. Este método é utilizado para se verificar a autocorrelação espacial, observar a magnitude da correlação entre as amostras e sua similaridade ou não, com a distância, sendo que a dependência espacial é analisada por ajustes de semivariogramas. Obtendo-se a posição geográfica dos pontos de amostragem da área, a geoestatística proporciona conseguir o detalhamento da variabilidade espacial de sua fertilidade a partir do processamento dos dados e obtenção de mapas temáticos.

A criação de mapas em AP está muitas vezes dependente de técnicas de interpolação. Para cada equação de predição foi gerado um banco de dados no formato texto com as coordenadas espaciais dos locais de coletas de amostras de solo e as leituras, conforme Figura 4.

Figura 4 - Exemplo de Banco de dados utilizado para a interpolação espacial.



E	N	ARGILA_MED	
475247.1326	6859697.949		57
475273.1954	6859719.257		62
475300.4521	6859741.295		67
475321.5714	6859758.301		79
475346.4851	6859778.612		67
475362.6269	6859791.762		74
475386.9315	6859785.523		65
475358.3145	6859762.353		62
475337.3245	6859745.316		67
475313.4513	6859725.942		70
475289.3096	6859706.32		62
475258.9789	6859681.696		62
475311.3555	6859708.114		60
475332.1384	6859724.981		67
475355.4737	6859743.918		65

Fonte: do Autor.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Análise dos dados

A variável utilizada para análise espacial por geoestatística foram os valores de argila existente na área e os valores preditos dessa variável pelas equações descritas no Artigo 1 da presente dissertação de mestrado. Ao realizar-se a estatística descritiva dos dados com o objetivo de obter informações para identificar tendência dos dados, dispersão e forma de distribuição, calculou-se média, mediana, desvio padrão, valor mínimo e máximo, coeficiente de variação, variância e valores de primeiro quartil e terceiro quartil como apresenta-se nas Tabela 8 (0-20cm) e 9 (20-40cm).

Tabela 8 - Estatística Descritiva para Argila Medida a 0-20cm e Estimadas pelas Equações apresentadas no artigo 1.

% de Argila	Mínimo	1º Q	Md	Média	3º Q	Máximo	σ	σ^2	CV (%)
MED	25,000	57,000	64,000	61,257	69,000	79,000	11,637	135,426	18,998
PRED 1	54,782	63,458	65,407	64,862	66,571	69,338	2,605	6,784	4,016
PRED 2	53,769	60,058	61,420	61,236	62,727	64,453	2,213	4,896	3,613
PRED 3	46,494	51,294	54,069	53,465	55,528	59,410	2,808	7,887	5,253
PRED 4	43,164	48,601	51,573	50,986	53,194	58,739	3,083	9,503	6,046
PRED 5	42,830	52,038	54,768	54,030	57,075	62,515	4,251	18,069	7,867
PRED 6	40,731	50,743	53,202	52,827	56,493	62,413	4,703	22,120	8,903
PRED 7	41,282	52,916	55,048	54,868	58,897	66,879	5,374	28,880	9,795
PRED 8	44,164	54,359	57,051	56,949	60,299	68,366	5,130	26,317	9,008
PRED 9	45,085	53,683	56,733	56,514	58,951	67,945	5,111	26,126	9,044
PRED 10	44,658	52,751	55,149	55,236	57,859	67,191	4,904	24,047	8,878

Legenda: Mínimo = Porcentagem Mínima de Argila; 1º Q = 1º Quartil; Md = Mediana; 3º Q = 3º Quartil; Máximo = Porcentagem Máxima de Argila; σ = Desvio Padrão; σ^2 = Variância; CV = Coeficiente de Variação; MED = % de Argila obtida em laboratório para os pontos amostrais a 20cm de profundidade; PRED = % de Argila obtida pelas equações de 1 a 10 utilizadas neste trabalho.

O grau de variabilidade das variáveis na área de estudo foi classificado por meio do coeficiente de variação (CV%) de acordo com a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), em que considera variabilidade baixa para CV menor que 12%, média para CV entre 12 e 62% e alta para CV maior 62%.

Para as amostras adquiridas a 0-20cm de profundidade e suas respectivas predições, apenas a argila medida teve grau de variabilidade média (18,998%) e as predições foram classificadas como de baixa variabilidade (entre 3,613 e 9,795%).

Geralmente as predições tendem a diminuir a amplitude dos dados. O mesmo aconteceu para a % de argila medida a 20-40 cm de profundidade (14,798%, média variabilidade) e as respectivas predições com baixa variabilidade (entre 4,353 e 9,257%).

Tabela 9 - Estatística Descritiva para Argila Medida a 20-40cm e Estimada pelas Equações apresentadas no artigo 1.

% de Argila	Mínimo	1º Q	Md	Média	3º Q	Máximo	σ	σ^2	CV (%)
MED	42,000	70,000	80,000	76,878	87,500	88,000	11,369	129,259	14,789
PRED 1	56,981	60,145	62,065	62,519	65,079	69,219	3,102	9,622	4,962
PRED 2	53,515	58,314	60,184	60,084	61,847	66,296	2,615	6,839	4,353
PRED 3	46,496	51,317	53,065	52,830	54,499	59,052	2,616	6,842	4,951
PRED 4	44,938	50,676	52,419	52,443	54,460	57,296	2,510	6,299	4,786
PRED 5	43,951	53,519	56,357	55,847	58,445	62,262	3,780	14,286	6,768
PRED 6	42,496	52,119	55,399	54,953	57,986	63,425	4,243	18,005	7,721
PRED 7	45,176	54,707	57,655	57,642	60,755	70,013	5,051	25,508	8,762
PRED 8	47,190	56,585	59,397	59,459	62,519	72,075	4,839	23,417	8,139
PRED 9	48,099	55,720	58,943	59,395	62,399	74,851	5,452	29,725	9,179
PRED 10	46,936	54,230	57,682	57,994	61,190	73,146	5,369	28,823	9,257

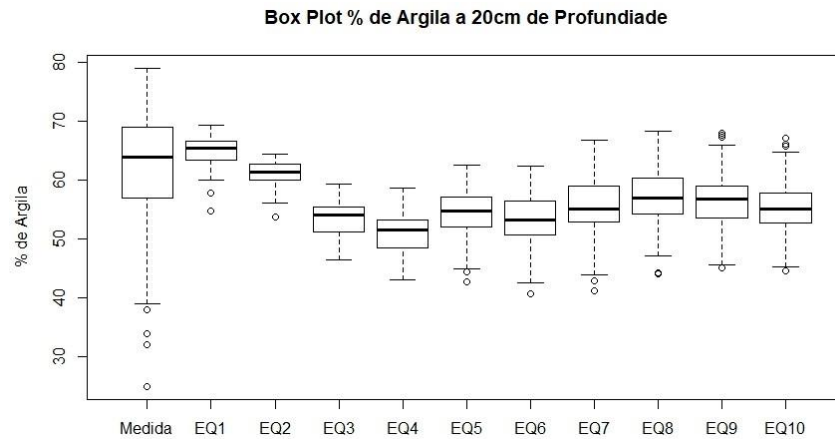
Legenda: Mínimo = Porcentagem Mínima de Argila; 1º Q = 1º Quartil; Md = Mediana; 3º Q = 3º Quartil; Máximo = Porcentagem Máxima de Argila; σ = Desvio Padrão; σ^2 = Variância; CV = Coeficiente de Variação; MED = % de Argila obtida em laboratório para os pontos amostrais a 20cm de profundidade; PRED = % de Argila obtida pelas equações de 1 a 10 utilizadas neste trabalho.

A geoestatística dos dados baseou-se em um conceito probabilístico. Utilizaram-se os dados em um primeiro momento para estimar a autocorrelação espacial e em um segundo momento para estimar a variável em locais não amostrados por meio de Krigagem Pontual. Esse é um conceito tradicional da geoestatística, assim a teoria das variáveis regionalizadas tem por objetivo o estudo e a representação estrutural da variável para resolução de problemas de estimativa, com base em dados experimentais medidos (Yamamoto e Landim, 2013). Por isso, para se analisar uma variável regionalizada, mostra-se necessário avaliar o semivariograma, sendo a técnica disponível para medir a variabilidade espacial.

A Figura 5 mostra o boxplot para as variáveis argila medida e para os 10 modelos de argila preditas em 0-20 cm. A argila predita 3 e 4 não foram observados pontos fora do limite de 1,5 vezes a distância interquartil somada ou diminuída do último quartil e do primeiro quartil, respectivamente. Para os resultados obtidos a 20-40 cm de profundidade (Figura 6), as argilas preditas 1, 2, 3 e 4 não se observaram

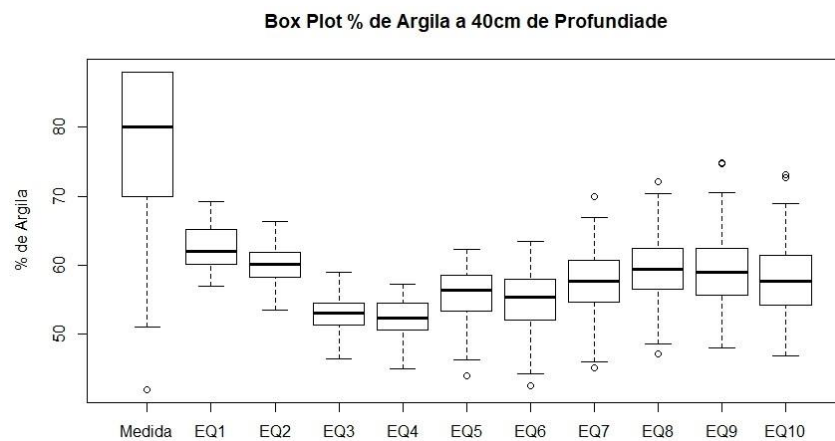
pontos fora do limite. No entanto optamos por não retirar os valores do estudo variográfico na tentativa de representar com maior fidelidade possível a realidade obtida a campo.

Figura 5 - Boxplot para a % de Argila Medida e Predita na profundidade de 0-20cm.



Fonte: do Autor.

Figura 6 - Boxplot para a % de Argila Medida e Predita na profundidade de 20-40cm.



Fonte: do Autor.

3.3.2 Análise semivariográfica

A metade da função variograma é denominada semivariograma ($\gamma(h)$), e é a função efetivamente utilizada para a investigação da continuidade espacial de uma variável regionalizada. Assim, realizou-se a estimação clássica do semivariograma para as distâncias máximas de análise de 100% (359,77m), 90% (323,79m), 80%

(287,82m), 70% (251,84%), 60% (215,86m) e 50% (179,88m) onde conforme a Tabela 10 podemos observar o número de pares utilizados para calcular o semivariograma para % de Argila Medida e Predita a 0-20cm e 20-40 cm de profundidade.

Tabela 10 - Número de pares utilizados para calcular o semivariograma para % de Argila Medida e Predita a 0-20cm e 20-40 cm de profundidade.

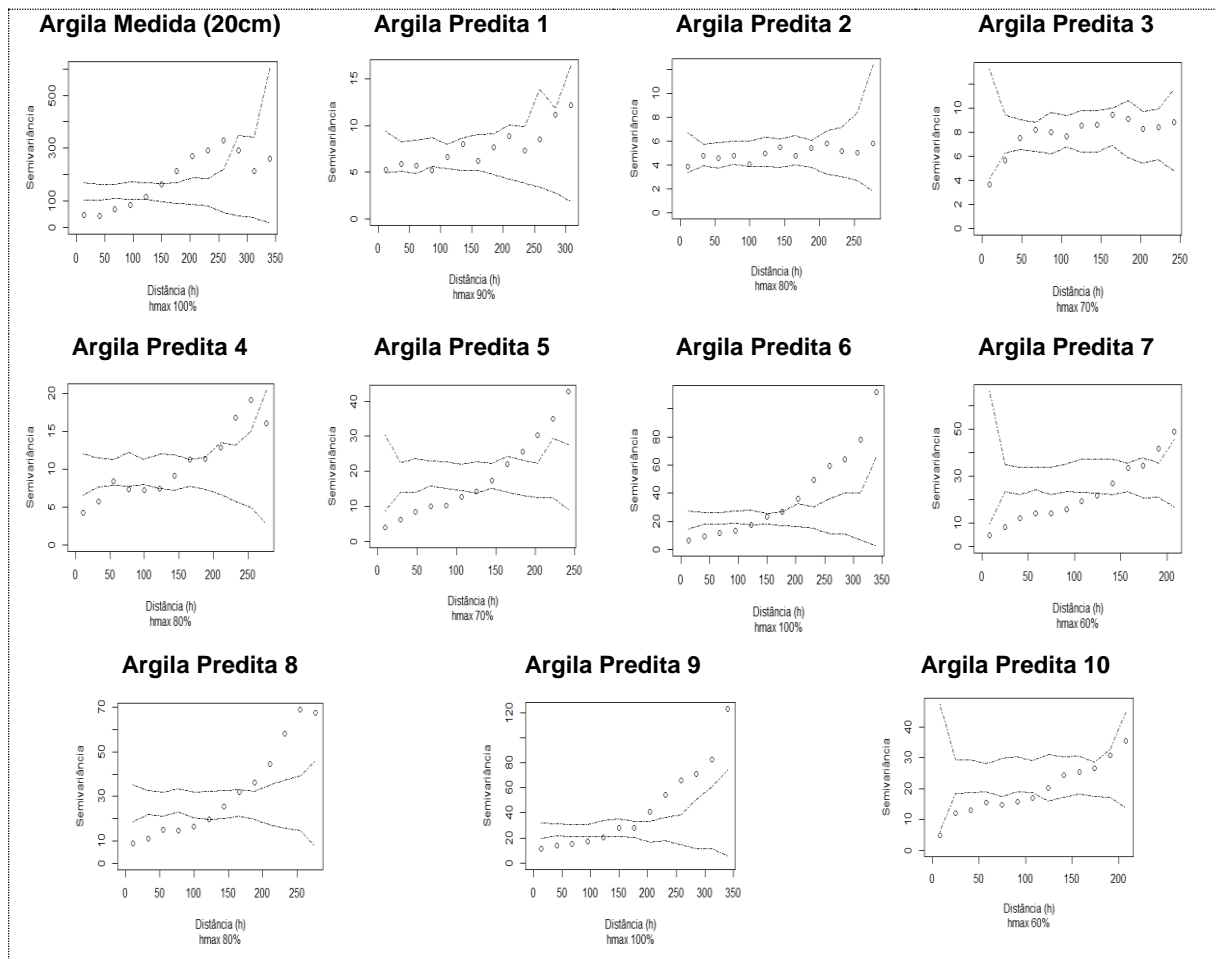
Hmax	Número de pares por ponto do semivariograma												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
100% = 359,77m	148	356	465	377	344	271	225	178	146	88	60	30	11
90% = 323,79m	126	323	377	390	324	276	242	181	158	121	80	55	31
80% = 287,82m	91	268	348	341	320	279	239	198	166	141	108	85	53
70% = 251,84m	43	231	293	329	300	255	237	199	180	149	126	107	85
60% = 215,86m	13	183	258	253	281	243	220	196	179	164	137	124	105
50% = 179,88m	5	147	168	201	225	241	207	172	187	167	141	127	120

Legenda: Hmax = Distância máxima entre os pontos. Fonte: Autor.

A Figura 7, mostra os envelopes de simulação para a variável argila medida e para cada uma das variáveis de argila preditas. A variável argila predita 1, 2 e 3 a 0-20 cm de profundidade apresentou quase todo o variograma experimental dentro do envelope demonstrando independência espacial. Já as variáveis argila medida e argila 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 apresentaram dependência espacial, com os pontos fora e dentro do envelope. Observa-se que além de haver dependência espacial nas distâncias menores, existe pontos fora do envelope nas maiores distâncias, o que provavelmente produz ajustes com grande alcance, ou seja, estabilidade da variância com distâncias aquém dos limites espaciais da área de estudos.

Na Figura 8, os envelopes de simulação para a argila medida a 20-40 cm de profundidade, apresentaram dependência espacial, também em quase a totalidade, os pontos passam por dentro e formam uma estrutura fora do envelope. Com exceção da variável argila predita equação 1, 2, 3 e 4 que não apresentaram dependência espacial pelo método dos envelopes.

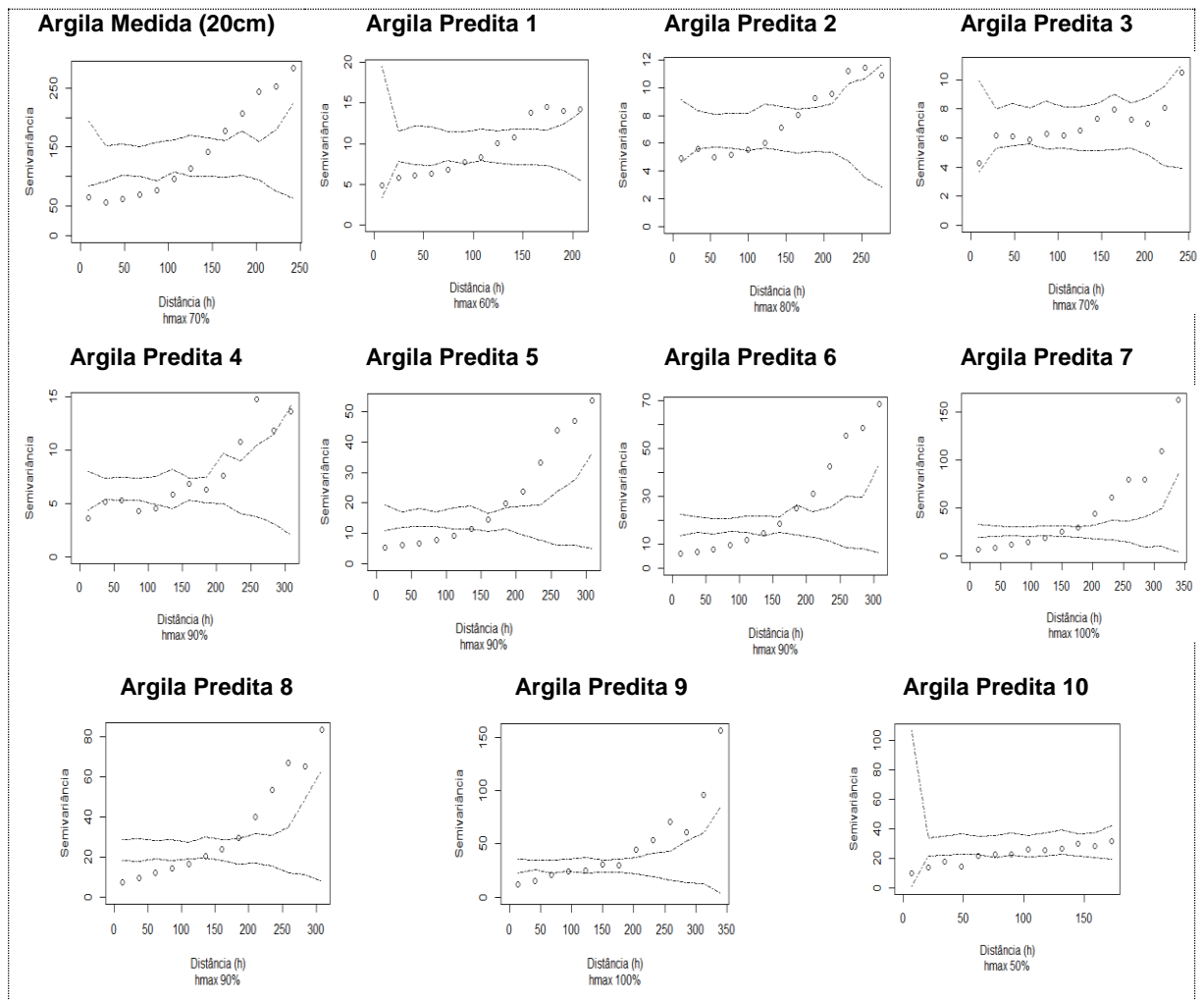
Figura 7 - Envelopes para a % de Argila Medida e Preditas na profundidade de 0-20cm.



Fonte: do Autor

Os métodos de simulação de Montecarlo apresentam a solução de um problema como um parâmetro de uma população hipotética, usando uma sequência de números para construir uma amostra da população a partir da qual podem ser realizadas estimativas dos seus parâmetros estatísticos. Esses métodos são aplicados tanto para a resolução de problemas determinísticos como para probabilísticos (PILGER, 2005). Em geoestatística esses métodos são usados para estimar a incerteza associada a fenômenos espacialmente distribuídos.

Figura 8 - Envelopes para a % de Argila Medida e Preditas na profundidade de 20-40cm.



Fonte: do Autor

3.3.3 Validação Cruzada

Após realiza-se a verificação dos valores obtidos pela validação cruzada. Nessa análise, depois de obtido o modelo variográfico, cada valor original é removido do domínio espacial e, usando-se os demais, um novo valor é estimado para esse ponto. Desse modo, verifica-se a relação entre valores reais e estimados. Os dados da validação cruzada permitem obter estatísticas para avaliar modelos teóricos ajustados. A escolha do modelo para os procedimentos de krigagem ordinária pontual analisou os melhores resultados das estatísticas relacionadas ao ajuste variográfico e a validação cruzada.

A Tabela 11 mostra os valores dos ajustes dos modelos teóricos aos semivariogramas empíricos escolhidos para cada variável de análise em 0-20 cm de profundidade, e a Tabela 12 possui o mesmo conteúdo para 20-40 cm de profundidade.

Tabela 11 - Ajustes dos Modelos Teóricos aos semivariogramas empíricos para cada variável de análise em 0-20 cm de profundidade.

Variável	HMax	Mod.	C0	C1	C0+C1	a (m)	DE	IDE (%)	SQ
Arg Med	100	GAUS	26.567	319.091	345.658	331.406	0.923	46.526	1007023.000
Arg Pred 1	90	GAUS	5.544	387.456	393.000	4435.535	0.986	49.689	1488.512
Arg Pred 2	80	EXP	4.254	13.071	17.325	7417.208	0.754	23.915	351.940
Arg Pred 3	70	EXP	1.519	7.158	8.677	89.758	0.825	18.642	447.871
Arg Pred 4	80	EXP	3.837	35898.720	35902.557	2384561.000	1.000	31.697	5434.254
Arg Pred 5	70	ESF	0.000	6536.570	6536.570	69465.970	1.000	37.500	18107.570
Arg Pred 6	100	ESF	0.000	11427.270	11427.270	90562.610	1.000	37.500	96494.740
Arg Pred 7	60	GAUS	0.341	4872.895	4873.236	4027.117	1.000	50.396	3885.064
Arg Pred 8	80	ESF	0.000	37735.090	37735.090	267210.900	1.000	37.500	71681.260
Arg Pred 9	100	ESF	0.000	11696.770	11696.770	81536.820	1.000	37.500	117943.400
Arg Pred 10	60	EXP	6.933	72619.781	72626.714	1840311.000	1.000	31.697	7238.700

Legenda: HMax = Distância Máxima de Análise em porcentagem; Mod. = Modelo; Arg Med = Argila medida; Arg Pred 1 = Argila Predita 1; Arg Pred 2 = Argila Predita 2; Arg Pred 3 = Argila Predita 3; Arg Pred 4 = Argila Predita 4; Arg Pred 5 = Argila Predita 5; Arg Pred 6 = Argila Predita 6; Arg Pred 7 = Argila Predita 7; Arg Pred 8 = Argila Predita 8; Arg Pred 9 = Argila Predita 9; Arg Pred 10 = Argila Predita 10; C0 = Efeito Pepita; C1 = Contribuição; C0+C1 = Patamar; a = Alcance em metros; DE = Dependência Espacial em Porcentagem proposto por Biondi et al. (1994); IDE = Índice de Dependência Espacial em porcentagem proposto por Seidel e Oliveira (2016); SQ = Soma de Quadrados; GAUS = Modelo Teórico Gaussiano; EXP = Modelo Teórico Exponencial; ESF = Modelo Teórico Esférico. Fonte: Autor.

Mesmo após a avaliação dos pacotes para dependência espacial considerou-se analisar o ajuste variográfico de todas as variáveis. Por isso, considerou-se analisar todas as variáveis nos ajustes dos semivariogramas, mesmo as variáveis consideradas sem dependência espacial anteriormente.

Quanto menor a proporção do efeito pepita para o patamar, menor a variância da estimativa e, portanto, maior a confiança que se pode ter na estimativa. Como também, quanto maior o índice de dependência espacial (IDE) e maior o de dependência espacial (DE) melhor. As variáveis apresentaram dependência espacial forte para a profundidade de 0-20 cm, sendo 92,3% Argila Medida e 100% para as equações de % de Argila Predita 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Confirmando a dependência consideradas como fortes, segundo a definição de Biondi, et al (1994). No teste do Índice de Dependência Espacial (IDE) os mesmos ajustes variográficos foram

considerados fortes segundo a classificação proposta por Seidel e Oliveira (2014, 2016).

Tabela 12 - Ajustes dos Modelos Teóricos aos semivariogramas empíricos para cada variável de análise em 20-40 cm de profundidade.

Variável	HMax	Mod.	C0	C1	C0+C1	a (m)	DE	IDE (%)	SQ
Arg Med	70	GAUS	47.291	952.065	999.356	766.279	0.953	48.015	118439.500
Arg Pred 1	60	GAUS	5.047	15.261	20.308	339.312	0.751	37.874	951.794
Arg Pred 2	80	GAUS	4.673	17.288	21.961	630.579	0.787	39.677	527.071
Arg Pred 3	70	EXP	5.128	12789.194	12794.322	2761060.000	1.000	31.687	802.604
Arg Pred 4	90	GAUS	4.016	4375.074	4379.090	11061.750	0.999	50.354	2637.543
Arg Pred 5	90	ESF	0.000	5980.846	5980.846	74146.370	1.000	37.500	58546.010
Arg Pred 6	90	ESF	0.000	5931.516	5931.516	57907.790	1.000	37.500	90381.920
Arg Pred 7	100	GAUS	4.791	38633.765	38638.556	10650.710	1.000	50.400	46335.930
Arg Pred 8	90	ESF	0.000	16664.920	16664.920	128615.100	1.000	37.500	100074.800
Arg Pred 9	100	EXP	3.616	206485.906	206489.522	2894491.000	1.000	31.700	158352.100
Arg Pred 10	50	EXP	9.753	31.247	41.000	466.151	0.762	24.160	4912.310

Legenda: HMax = Distância Máxima de Análise em porcentagem Mod. = Modelo; Arg Med = Argila medida; Arg Pred 1 = Argila Predita 1; Arg Pred 2 = Argila Predita 2; Arg Pred 3 = Argila Predita 3; Arg Pred 4 = Argila Predita 4; Arg Pred 5 = Argila Predita 5; Arg Pred 6 = Argila Predita 6; Arg Pred 7 = Argila Predita 7; Arg Pred 8 = Argila Predita 8; Arg Pred 9 = Argila Predita 9; Arg Pred 10 = Argila Predita 10; C0 = Efeito Pepita; C1 = Contribuição; C0+C1 = Patamar; a = Alcance em metros; DE = Dependência Espacial em Porcentagem proposto por Biondi et al. (1994); IDE = Índice de Dependência Espacial em porcentagem proposto por Seidel e Oliveira (2016); SQ = Soma de Quadrados; GAUS = Modelo Teórico Gaussiano; EXP = Modelo Teórico Exponencial; ESF = Modelo Teórico Esférico. Fonte: Autor.

Na tabela 13, as estatísticas da validação cruzada para as variáveis de argila a profundidade de 0-20 cm.

Tabela 13 - Estatísticas de Validação Cruzada do dado Original X Preditos para os modelos teóricos ajustados a 0-20 cm de profundidade.

Variável	Hmax	Modelo	EM	DP _{EM}	ER	S _{ER}	EA	R ² Adj	R ²
Arg Med	100%	GAUS	0.011	2.297	0.001	0.984	390.605	0.650	0.650
Arg Pred 1	90%	GAUS	-0.006	1.347	-0.001	0.870	134.192	0.118	0.118
Arg Pred 2	80%	EXP	-0.001	1.284	0.000	0.876	121.946	0.027	0.027
Arg Pred 3	70%	EXP	-0.005	1.358	-0.001	0.885	136.490	0.302	0.302
Arg Pred 4	80%	EXP	-0.008	1.311	-0.001	0.867	127.146	0.543	0.543
Arg Pred 5	70%	ESF	0.002	1.340	0.002	1.077	132.951	0.721	0.721
Arg Pred 6	100%	ESF	0.006	1.401	0.003	1.046	145.209	0.728	0.727
Arg Pred 7	60%	GAUS	-0.010	1.417	0.002	0.885	148.502	0.767	0.767
Arg Pred 8	80%	ESF	0.019	1.478	0.006	1.076	161.711	0.701	0.701
Arg Pred 9	100%	ESF	0.015	1.566	0.005	1.134	181.475	0.607	0.607
Arg Pred 10	60%	EXP	0.018	1.569	0.003	0.878	182.169	0.565	0.565

Legenda: HMax = Distância Máxima de Análise Mod. = Modelo; Arg Med = Argila medida; Arg Pred 1 = Argila Predita 1; Arg Pred 2 = Argila Predita 2; Arg Pred 3 = Argila Predita 3; Arg Pred 4 = Argila Predita 4; Arg Pred 5 = Argila Predita 5; Arg Pred 6 = Argila Predita 6; Arg Pred 7 = Argila Predita 7; Arg Pred 8 = Argila Predita 8; Arg Pred 9 = Argila Predita 9; Arg Pred 10 = Argila Predita 10; EM = Média do Erro; DP_{EM} = Desvio Padrão dos Erros; ER = Erro Médio Reduzido; S_{ER} = Desvio Padrão dos Erros Reduzidos; EA = Erro Absoluto; R² Adj. = Coeficiente de Determinação Ajustado; R² = Coeficiente de Determinação; GAUS = Modelo Teórico Gaussiano; EXP = Modelo Teórico Exponencial; ESF = Modelo Teórico Esférico. Fonte: Autor.

Verificamos na validação cruzada que o coeficiente de determinação foi baixo para as variáveis % de Argila Predita pelas equações 1, 2 e 3 de profundidade 0-20 cm e bons para o restante das estimativas. Já para a profundidade de 20-40 cm (Tabela 14) as variáveis consideradas com valores baixos do coeficiente de determinação foram a % de Argila Predita pelas equações 1, 2, 3 e 4.

Assim, determinando-se como critério de definição para adoção do método de Krigagem ordinária ou inverso do quadrado da distância (IDW) os valores obtidos na validação cruzada de R^2 e R^2 ajustado.

Para modelos teóricos ajustados a 0-20 cm de profundidade, determinou-se com as variáveis Argila Predita pelas equações 1, 2 e 3, partindo para a utilização do IDW. E para modelos teóricos ajustados a 20-40 cm de profundidade as variáveis Argila Predita pelas equações 1, 2, 3 e 4, partindo para a utilização do IDW. Os restantes das variáveis apresentaram-se com bom ajuste variográfico e assim seguindo com o método de Krigagem ordinária.

Tabela 14 - Estatísticas de Validação Cruzada do dado Original X Preditos para os modelos teóricos ajustados a 20-40 cm de profundidade.

Variável	Hmax	Modelo	EM	DP _{EM}	ER	S _{ER}	EA	R ² Adj	R ²
Arg Med	70%	GAUS	0.009	2.567	0.001	0.964	487.628	0.471	0.471
Arg Pred 1	60%	GAUS	-0.002	1.442	0.000	0.943	153.939	0.347	0.347
Arg Pred 2	80%	GAUS	-0.002	1.383	0.000	0.928	141.591	0.181	0.181
Arg Pred 3	70%	EXP	-0.011	1.358	-0.002	0.874	136.551	0.091	0.091
Arg Pred 4	90%	GAUS	-0.004	1.331	-0.001	0.931	131.083	0.184	0.184
Arg Pred 5	90%	ESF	-0.014	1.366	-0.002	1.132	138.012	0.561	0.561
Arg Pred 6	90%	ESF	-0.014	1.366	-0.002	1.132	138.012	0.561	0.561
Arg Pred 7	100%	GAUS	0.004	1.513	0.001	1.011	169.394	0.682	0.682
Arg Pred 8	90%	ESF	0.008	1.552	0.004	1.141	178.316	0.594	0.594
Arg Pred 9	100%	EXP	-0.011	1.662	-0.001	0.977	204.372	0.550	0.550
Arg Pred 10	50%	EXP	-0.012	1.679	-0.001	0.850	208.529	0.480	0.479

Legenda: HMax = Distância Máxima de Análise Mod. = Modelo; Arg Med = Argila medida; Arg Pred 1 = Argila Predita 1; Arg Pred 2 = Argila Predita 2; Arg Pred 3 = Argila Predita 3; Arg Pred 4 = Argila Predita 4; Arg Pred 5 = Argila Predita 5; Arg Pred 6 = Argila Predita 6; Arg Pred 7 = Argila Predita 7; Arg Pred 8 = Argila Predita 8; Arg Pred 9 = Argila Predita 9; Arg Pred 10 = Argila Predita 10; EM = Média do Erro; DP_{EM} = Desvio Padrão dos Erros; ER = Erro Médio Reduzido; S_{ER} = Desvio Padrão dos Erros Reduzidos; EA = Erro Absoluto; R² Adj. = Coeficiente de Determinação Ajustado; R² = Coeficiente de Determinação; GAUS = Modelo Teórico Gaussiano; EXP = Modelo Teórico Exponencial; ESF = Modelo Teórico Esférico. Fonte: Autor.

Os demais ajustes de semivariograma e validação cruzada encontram-se no Apêndice B.

3.3.4 Krigagem Ordinária Pontual

A krigagem, entendida como um estimador que se baseia em técnicas de análise de regressão procura minimizar a variância estimada a partir de um modelo prévio que leva em conta a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço LANDIN (2006). Com a krigagem é calculada a melhor estimativa possível para locais não amostrados, pela minimização da variância do erro. Assim, a krigagem ordinária forneceu o mapa com valores estimados, como apresenta-se nas Figuras 12 e 13.

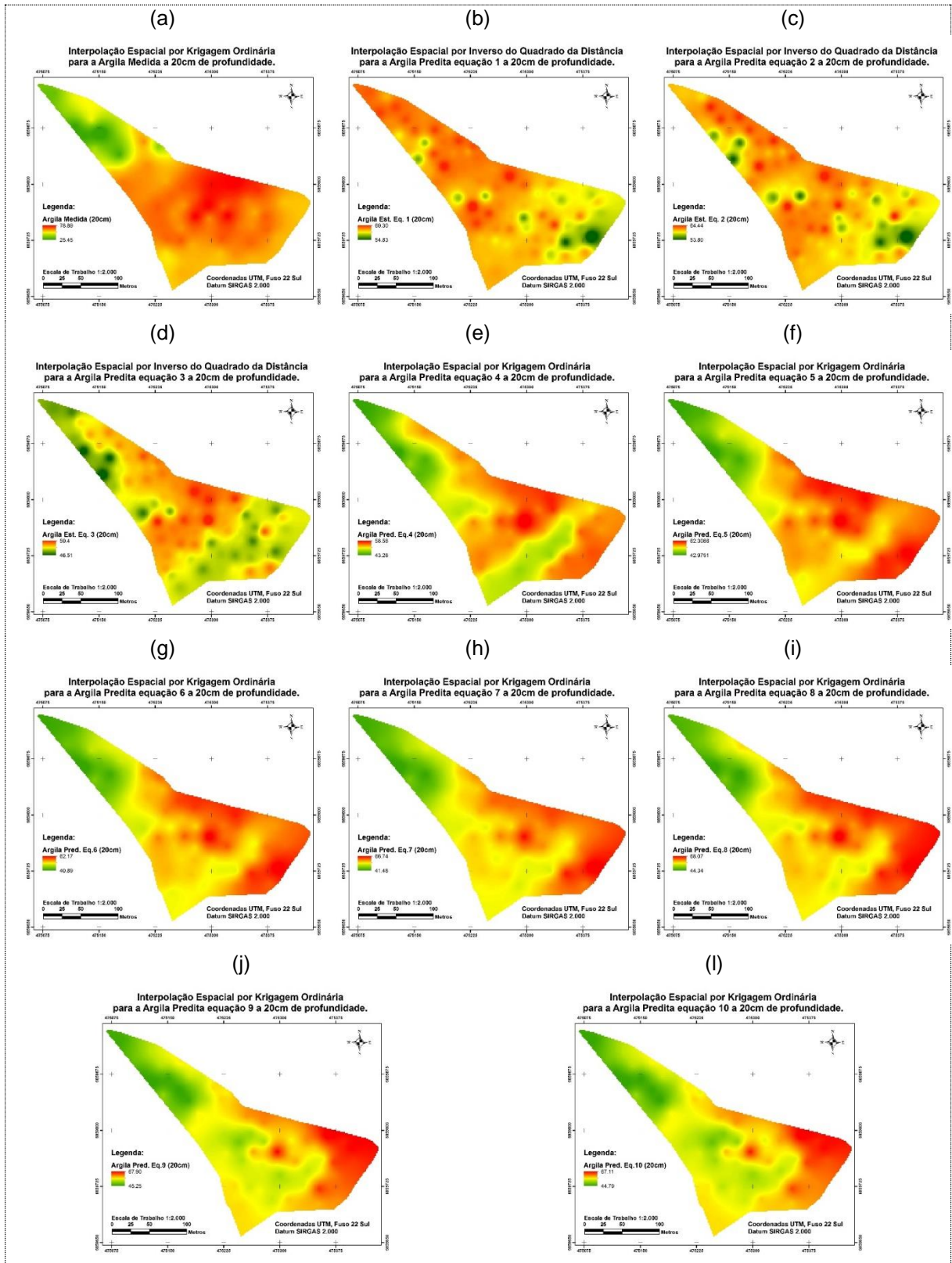
Na figura 9, está a Interpolação espacial por krigagem ordinária para as variáveis de Argila Medida e Preditas na profundidade de 0-20 cm. Onde, a Argila Predita 1, 2 e 3 foram interpoladas por inverso do quadrado da distância, pois não apresentaram estrutura variográfica adequada no semivariograma. Os restantes das variáveis apresentaram boa dependência espacial e boa estrutura do variograma, assim utilizou-se como interpolador a Krigagem ordinária.

Os mapas preditos apresentaram semelhanças, porém os interpolados por Krigagem foram os mais próximos. Uma análise visual permite verificar maior coerência no mapa de predição da equação 5 com o mapa de argila medida. As zonas em verde as áreas de menores valores de argila, amarelo intermediário e vermelho os maiores valores. Assim, a distribuição da área mais semelhante com a argila medida foi o mapa de argila predita equação 5 para profundidade de 0-20 cm.

Na figura 10, apresenta-se a Interpolação espacial por krigagem ordinária para as variáveis de Argila Medida e Preditas na profundidade de 20-40 cm. Sendo assim, considerou-se para o inverso do quadrado da distância as variáveis Argila Predita 1, 2, 3 e 4, e Krigagem Ordinária para as variáveis restantes.

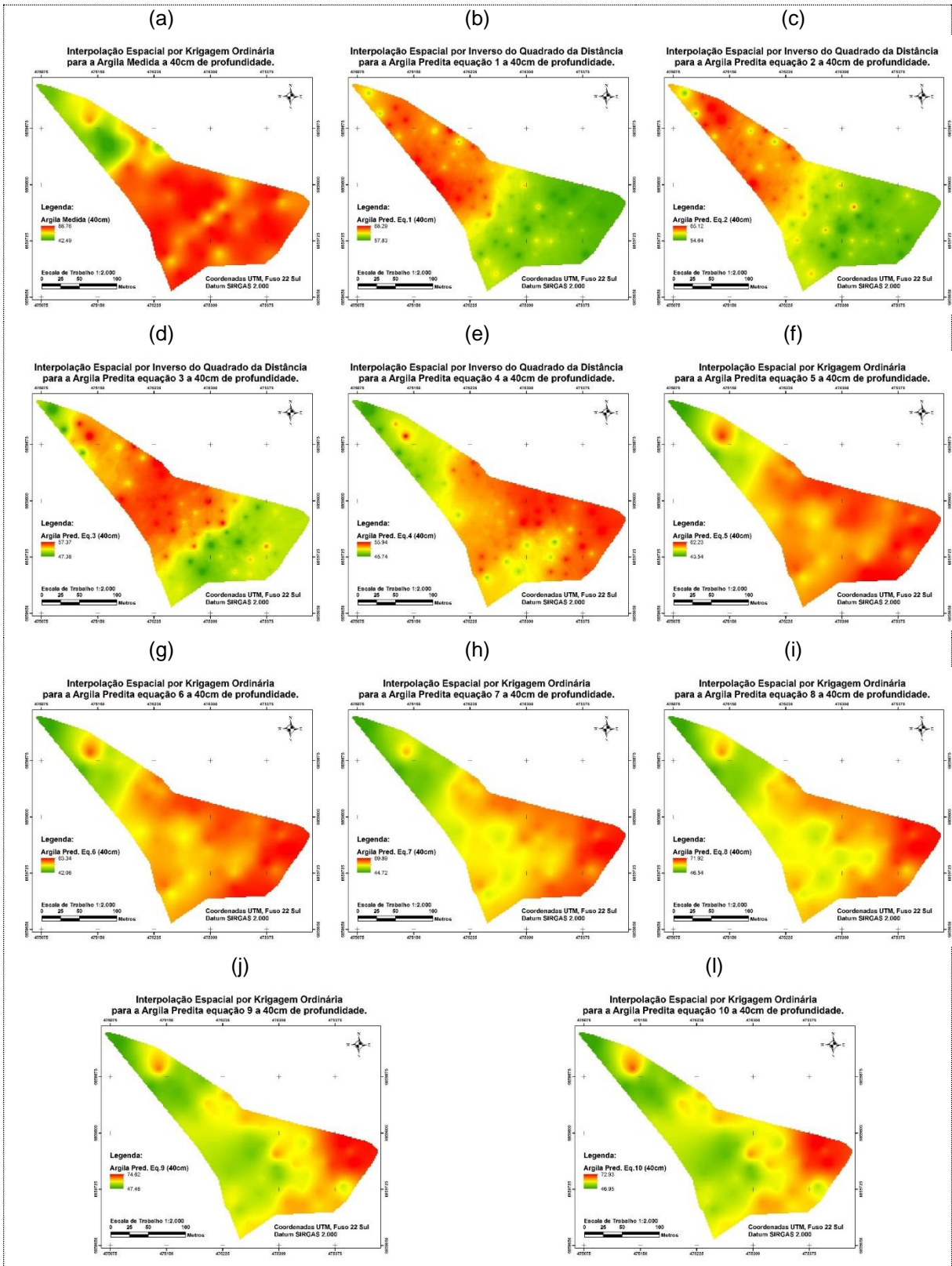
Praticamente o mesmo acontece para a profundidade de 20-40 cm na predição dos mapas, pois os mapas preditos apresentaram semelhanças e os interpolados por Krigagem foram os mais próximos. Mas, pode-se verificar maior coerência no mapa de predição da equação 5 e também da equação 6 com o mapa de argila medida.

Figura 9 - Interpolação espacial por krigagem ordinária para a variável % de Argila Medida e Preditas na profundidade de 0-20 cm.



Fonte: Autor.

Figura 10 - Interpolação espacial por krigagem ordinária para a variável % de Argila Medida e Preditas na profundidade de 20-40 cm.

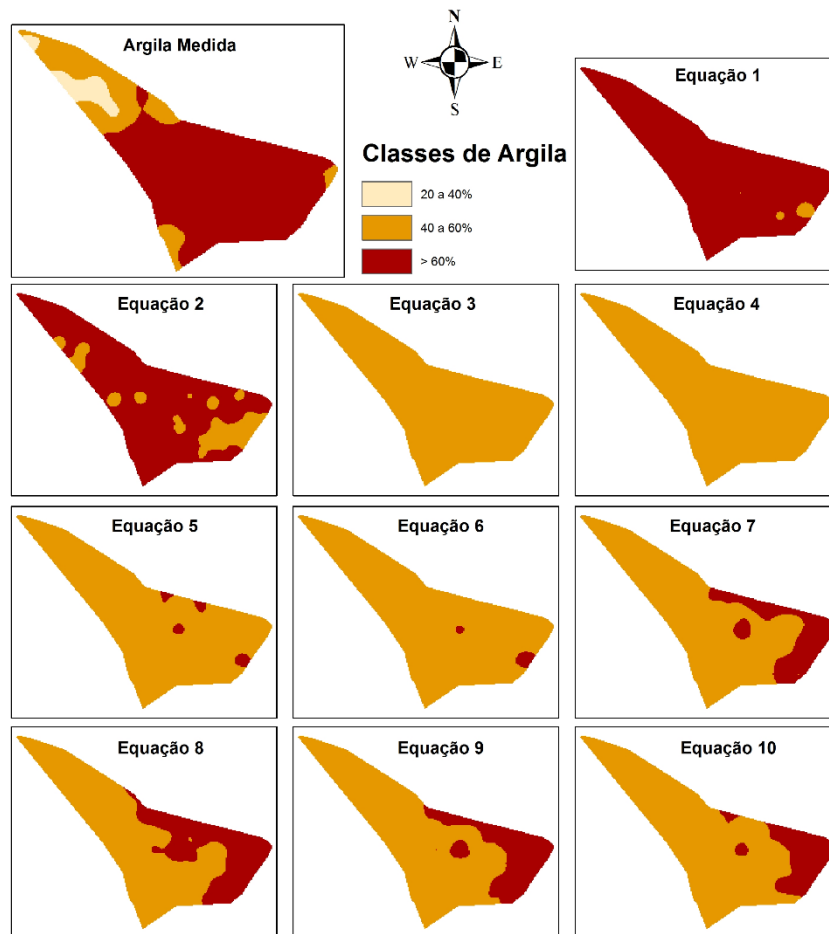


Fonte: Autor.

Por final foram classificados os resultados obtidos em classes de % de Argila conforme SBCS (2004) para verificarmos as coincidências de classes entre os valores medidos e os obtidos pelas equações de predição. As Figuras 11 e 12 apresentam estas classes de % de Argila nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, respectivamente.

Figura 11 - Classes de % de Argila obtidas para a profundidade de 0-20cm.

Classes de Argila a 20cm de Profundidade Estimadas pela Equações



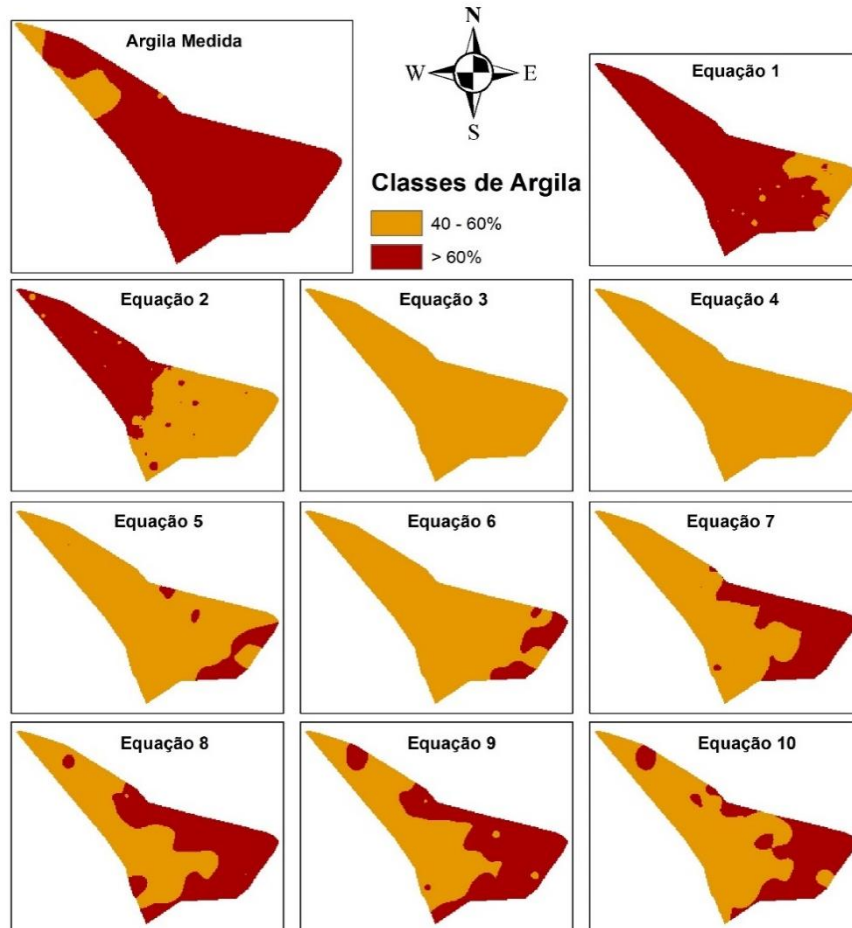
Fonte: Autor.

Os mapas apresentaram semelhanças, no caso de 0-20 cm são três classes, onde a classe de 20 a 40% de argila ocorre na variável argila medida, não aparecendo nas outras variáveis. Deste modo, os pontos no campo apresentaram valores de argila menores que 40%, o que não se reproduziu nos mapas seguintes. As classes que

mais se aproximaram dos valores reais da argila foram as equações 1 e 2. Para a profundidade de 20-40 cm, a equação 1 também reproduziu melhor as classes.

Figura 12 - Classes de % de Argila obtidas para a profundidade de 20-40cm.

Classes de Argila a 40cm de Profundidade Estimadas pela Equações



Fonte: Autor.

Assim, a predição baseada na reflectância VNIR para o atributo argila reproduziu com eficiência as manchas, mas para melhorar a precisão das estimativas é necessário levar em consideração os fatores que interferem nos atributos de solo e que também interferem na reflectância do solo como a umidade, cor, textura, matéria orgânica, tamanho das partículas. Deste modo, para cada região se tem um relevo diferente, uma mineralogia e geologia específica. Essas características interferem bastante na predição de atributos.

Sabe-se que as diferentes quantidades de argila e de areia influenciam muito na reflectância, onde quanto maior a quantidade de areia no solo maior a reflectância

do mesmo. E, quanto mais argila, menor a reflectância, mas isso de forma genérica, porque de forma específica, existe diferenças nessas reflectâncias quanto os tipos de argilominerais existentes. Essa característica influenciadora da mineralogia necessita de mais pesquisas e estudos. Assim, para Resende et al., (2005) diversos fatores relacionados à formação dos solos são determinantes para a feição espectral: rocha de origem que pode levar a uma diferença no tipo de argila formada, topografia, material vegetal e clima.

Fator que influenciou também na estimativa foi que no momento da elaboração das equações, trabalhamos com dados de vários tipos de solo de diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul, porém a área na qual escolhemos testar as equações de predição é uma área pequena e contém um único tipo de solo. Acredita-se melhorar as estimativas de predição com equações ajustadas por tipo de solo. Vuuren et al. (2006) sugerem utilizar amostras de um mesmo campo experimental nas calibrações por Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIRS) ou Espectroscopia de Infravermelho Médio (DRIFTS) para construir bons modelos preditivos ao correlacionar os dados de reflectâncias com os dados químicos/físicos do solo.

3.4 Conclusões

A espectrorradiometria difusa evidenciou-se eficiente na estimação da argila, encontrou-se equações adequadas de predição para a variável argila, apresentando-se com coeficientes de determinação de 0,650 para argila medida real na área e entre 0,027 e 0,767 para as equações que predisseram os valores de argila em profundidade de 0-20 cm. E para a profundidade de 20-40 cm os coeficientes de determinação de 0,471 para argila medida real e entre 0,091 e 0,682 para as equações de predição da área.

Os resultados após a validação dos modelos indicaram se realizar mais pesquisas considerando a mineralogia que são grandes influenciadores na reflectância dos solos.

3.5 Referências

ANDRIOTTI, J. L. S. Fundamentos de estatística e geoestatística. São Leopoldo: Unisinos, 2003. 165p.

BIONDI, F. et al. Geostatistically modeling stem size and increment in an old-growth forest. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 24, n. 7, p. 1354-1368, 1994.

BOWERS, S. A and HANKS, R. J. Reflection of radiant energy from soils. **Soil Science**, v. 100, ed. 2 p. 229-230, ago. 1965.

CAMARGO, E. C. G. **Geoestatística: Fundamentos e aplicações**. INPE: São José dos Campos, 2001. Disponível: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf>. Acesso em 19/05/2018.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of American Journal**, 58:1501-1511, 1994.

COHEN, M. J.; PRENGER, J. P.; DEBUSK, W.F. (2005). Visible-Near infrared reflectance spectroscopy for rapid, non-destructive assessment of wetland soil quality. **Journal of Environmental Quality**, 34(4), 1422–1434.

CRESSIE, N. Statistics for spatial data. **New York**, John Wiley, 1993. 900p.

DALMOLIN, R.S.D.; GONÇALVES, C.N.; KLAMT, E. & DICK, D.P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, 35:481-489, 2005.

DEMATTE, J.A.M. O pedólogo e agricultura de precisão. Boletim Informativo da **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.1, Jan/Mar, p.17-19, 2001.

DEMATTE, J. A. M.; ARAÚJO, S. R.; FIORIO, P. R.; FONGARO, C. T.; NANNI, M. R. Espectroscopia VIS-NIR-SWIR na avaliação de solos ao longo de uma topossequência em Piracicaba (SP). **Revista Ciência Agrônômica**, v. 46, n. 4, p. 679-688, out-dez, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FARACO, M. A. et al. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 32:464-476, 2008.

FIORIN, J. E.; AMADO, T. J. C. Projeto APcoop: Agricultura de Precisão no Sistema Cooperativo do Rio Grande do Sul. **Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul**. 1. Ed. Santa Maria: CESPOL, 2016. 27-59 p.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, M. An introduction to applied geostatistics. New York: **Oxford University Press**: 600 p. 1989.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2ª. Edição, São Paulo: Editora Unesp, 2003. 253p.

LANDIM, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. **Terra e Didática**, v.2, n.1, p.19-33, 2006.

MCBRATNEY, A.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sample estimates. **Journal of Soil Science**, 37:617-639, 1986.

MELLO, J. M. et al. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, 69:25-37, 2005.

MOLIN, J. P., AMARAL, L. R., COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. 1. Ed. São Paulo: oficina de textos, 2015. 119-130 p.

MULLA, D. J.; HAMMOND, M. W. Mapping of soil test results from large irrigation circles. **Agricultural Experimental Station Technical Paper** 8597, 1988. P. 169-171.

MUITOS CAPÕES. **Prefeitura Municipal. Projeto Plano Ambiental do Município de Muitos Capões-2010**. Disponível em: <http://www.muitoscapoes.rs.gov.br/upload/downloads/10.pdf>. Acesso em: 19 de maio de 2018.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2018). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em 3 abril de 2018.

RADAM Brasil. Folha SH. 22 Porto Alegre e Parte das Folhas SH. 21, Uruguaiana e Sl. 22: **Ecologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso Potencial da Terra**. Rio de Janeiro, IBGE, 1986.

RIBEIRO JR, P.J. & DIGGLE, P.J. geOR: A package for geostatistical analysis. **R-NEWS**, 01, 2006. Disponível em: <http://www.leg.ufpr.br/geor/geoRdoc/geoRintro.pdf>

RESENDE, M.; CURTI, N.; KER, J.C.; REZENDE, S.B. **Mineralogia de solos brasileiros - interpretações e aplicações**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2005. 192p.

SEBEM, Elódio. **Distribuição espacial de famílias botânicas em parcela de floresta ombrófila mista e suas relações com Araucariaceae na FLONA de São Francisco de Paula, RS**. / Elódio Sebem. Monografia - 2017. 90 p.; 30cm.

SEIDEL, E J; OLIVEIRA, M S. A classification for a geostatistical index of spatial dependence. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-10 (e0160007), 2016.

SEIDEL, E J; OLIVEIRA, M S. Novo índice geoestatístico para a mensuração da dependência espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p. 699-705, 2014.

SOUSA, J. G. A.; DEMATTÊ, J. A. M.; GENÚ, A. M. Comportamento espectral dos solos na paisagem a partir de dados coletados por sensores terrestre e orbital. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p.727-738, 2008.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; GIASSON, E. & PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed. Porto Alegre: EMATER/RS. 2008. 222 p.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 1985. Paginação irregular. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial**. Campinas: IAC, 1998.

VUUREN, J. A. J.; MEYER, J. H. & CLAASSENS, A. S. Potential use of near infrared reflectance monitoring in precision agriculture. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 37, p. 2171-2184, 2006.

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. p.319-344. [http:// dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-348580-9.50018-3](http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-348580-9.50018-3).

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: Conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013, 215p.

4 DISCUSSÃO GERAL

A necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias e novos equipamentos que permitam obter dados mais precisos e que possam ser correlacionados com outras propriedades é importante, haja vista reduzir os gastos e o impacto ambiental. A agricultura de precisão (AP) é uma ciência que tem auxiliado o produtor rural na gestão de sua propriedade, com o reconhecimento da variabilidade espacial desta. Ela auxilia no mapeamento da variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos por meio de ferramentas de geoestatística e quantifica esses atributos pelas análises de solo tradicionais de laboratório. Assim, visando maior acurácia da área, o adensamento amostral permite uma correta realocação dos insumos, porém o aumento do número de amostras emplaca o aumento do custo e do tempo dispendido para a coleta.

Nesse sentido, o custo é um dos fatores influenciadores na busca por métodos de quantificação de atributos físicos e químicos do ambiente de produção, com base na reflectância do solo. Mas também, por ser mais rápida e ser uma tecnologia que tem a possibilidade de quantificar atributos químicos e físicos sem resíduos nocivos à saúde humana e natureza.

Dessa forma, a espectrorradiometria de solos tem sido muito pesquisada. O desempenho destas tecnologias de espectrorradiometria em laboratório tem demonstrado um razoável potencial de predição de atributos químicos e físicos do solo (VISCARRA ROSSEL et al., 2006). Porém, como toda tecnologia inovadora, não é fácil a sua implantação. Pois necessita-se algoritmos calibrados para todas as regiões do país. E isso não é tarefa fácil, visto a magnitude de diferenças dos tipos de solos existentes nos solos brasileiros. Por isso, a criação de um modelo de predição generalista para diferentes áreas torna-se difícil. Assim, para modelos específicos para cada área os resultados têm sido razoáveis (MOUAZEN et al., 2007).

De tal modo, quanto mais pesquisas relacionadas a reflectância espectral dos solos melhor será para seu avanço. Os estudos dos artigos 1 e 2 contribuirão para o desenvolvimento da espectrorradiometria de solo, pois através de leituras espectrais de vários tipos de solos em diferentes regiões do Rio Grande do Sul obteve-se equações para predição do atributo argila, através da regressão linear múltipla. E

depois, a combinação dessas equações foi realizada em uma área de agricultura de precisão na tentativa de predição do atributo argila nesta outra área.

Então, entre os fatores gerais influenciadores na reflectância do solo está o material de origem e a mineralogia. Assim conseguimos em nossa pesquisa, bons modelos matemáticos de predição que derivaram bons mapas. Sabe-se que o comportamento espectral dos solos depende diretamente de sua composição química, biológica, física e principalmente mineralógica necessitando aprofundar mais estudos quanto a mineralogia, pois apresenta-se como um dos fatores preponderantes na influência da predição de atributos dos solos. Sendo importante a identificação das regiões de absorção e reflexão das bandas do espectro eletromagnético, verificando as relações existentes entre esses minerais e as bandas.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Este trabalho focou-se na obtenção de equações, através da espectrorradiometria, que pudessem prever atributos do solo para uma área de agricultura de precisão.

No primeiro artigo, o objetivo era encontrar equações adequadas que pudessem prever os valores de argila. Assim, obtiveram-se bons modelos matemáticos de predição, com coeficientes de determinação adequados para este fim.

Já no segundo artigo, a questão era validar essas equações de predição, validamos então estas em uma área que pratica viticultura de precisão. Porém, a área que tinha o tamanho de 3 hectare, correspondia-se muito pequena e homogênea para a validação das equações. Portanto, modelos generalistas para diferentes áreas, torna-se difícil. Ainda assim, conseguiu-se bons mapas de predição da % de Argila no solo às profundidades de 0-20 e 20-40cm. Mesmo assim, necessita-se mais pesquisas relacionadas ao tema, pois devemos considerar que para cada região se tem um relevo diferente, uma mineralogia e geologia específica. E essas características interferem bastante na predição dos atributos.

Os estudos dos artigos 1 e 2 contribuíram para o desenvolvimento de bons modelos matemáticos de equações para predição do atributo argila, através da regressão linear múltipla pelo método de stepwise. E também gerou adequados mapas de predição que correspondiam ao valor real encontrado na área.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. F.; LOTUFO, A. D. P.; LOPES, M. L. M. Seleção de variáveis stepwise aplicadas em redes neurais artificiais para previsão de demanda de cargas elétricas. VI SBAI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. http://www.sbai2013.ufc.br/evento_anais.html. Acesso em: 11 de julho de 2018.

BOWERS, S. A and HANKS, R. J. Reflection of radiant energy from soils. **Soil Science**, v. 100, ed. 2 p. 229-230, ago. 1965.

CEZAR, E.; NANNI, M. R.; CHICATI, M. L.; SOUZA JUNIOR, I. G.; COSTA, A. C. S. Avaliação e quantificação das frações silte, areia e argila por meio de suas respectivas reflectâncias. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v. 36, n. 4, p. 1157-1166, ago. 2012 .

DALMOLIN, R.S.D., GONÇALVES, C.N., KLAMT, E., DICK, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, vol.35 nº.2 Santa Maria Mar./Apr. 2005.

DEMATTE, J. A. M.; CAMPOS, R. C.; ALVES, M. C.; FIORIO, P. R.; NANNI, M. R. Visible–NIR reflectance: a new approach on soil evaluation. **Geoderma** v. 121 (1-2), p. 95-112. 2004.

DEMATTE, J. A. M.; SOUSA, A. A.; ALVES, M. C.; NANNI, M. R.; FIORIO, P. R.; CAMPOS, R. C. Determining soil water status and other soil characteristics by spectral proximal sensing. **Geoderma** v. 135, p. 179-195. 2006.

DEMATTE, J. A. M.; ARAÚJO, S. R.; FIORIO, P. R.; FONGARO, C. T.; NANNI, M. R. Espectroscopia VIS-NIR-SWIR na avaliação de solos ao longo de uma topossequência em Piracicaba (SP). **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 4, p. 679-688, out-dez, 2015.

DOTTO, A.C. **Funções de pedotransferência do solo: estimativa por radiometria**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012. 68 p. Dissertação de Mestrado.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. SANTOS, H. G. et al. (Ed.). 2 ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2006.

GOMEZ, C.; ADELIN, K.; BACHA, S.; DRIESSEN, B.; GORRETTA, N.; LAGACHERIE, P.; ROGER, J. M.; BRIOTTET, X. Sensitivity of clay content prediction to spectral configuration of VNIR/ SWIR imaging data, from multispectral to hyperspectral scenarios. **Remote Sensing of Environment**, Vol. 204, January 2018, p. 18-30.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Multivariate Data Analysis**. 6 th Edition. 687 p. 2009.

HENRIQUES, C. Análise de Regressão Linear Simples e Múltipla. Departamento de Matemática, Escola Superior de Tecnologia de Viseu. 2010/2011. Diapositivo, color.

LEONE, A. P.; VISCARRA-ROSSEL, R. A.; AMENTA, P.; BUONDONNO, A. Prediction of Soil Properties with PLSR and vis-NIR Spectroscopy: Application to Mediterranean Soils from Southern Italy. **Current Analytical Chemistry**, 2012, 8, 283-299.

VISCARRA ROSSEL, R. A.; WALVOORT, D.J.J; MCBRATNEY, A.B.; JANIK, L.J.; SKJEMSTAD, J.O. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. **Geoderma**, v. 131, n. 1–2, p. 59–75, mar. 2006.

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

MOLIN, J. P., AMARAL, L. R., COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. 1. Ed. São Paulo: oficina de textos, 2015. 119-130 p.

MOUAZEN, A. M.; MALEKI, M. R.; DE BAERDEMAEKER, J.; RAMON, H. Measurement of some selected soil properties using a VIS-NIR sensor. **Soil & Tillage Research**, v. 93, p. 13-27, 2007.

NASA – **Agência Espacial Americana**. <https://www.nasa.gov/press-release/mars-helicopter-to-fly-on-nasa-s-next-red-planet-rover-mission>. Acesso em: 11 de maio de 2018.

SILVA, F. M.; Chaves, M. S.; Lima, Z. C. L.; **Geografia Física II**. Natal, RN: EDUFRN, 2009. 240 p.

SOUSA JÚNIOR, J.G.A.; DEMATTÊ, J.A.M.; GENÚ, A.M. Comportamento espectral dos solos na paisagem a partir de dados coletados por sensores terrestre e orbital. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 727-738, 2008.

SOARES, A. **Geoestatística para ciências da terra e do ambiente**. 2 ed., Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006, 214p.

ONU – **Organização das Nações Unidas**

<http://www.unmultimedia.org/radio/portuguese/2017/06/populacao-mundial-atingiu-76-bilhoes-de-habitantes/#.WhI9PFWnHIU>. Acesso em: 25 de novembro de 2017.

APÊNDICE A - Correlação Linear de Pearson entre as Variáveis Estudadas

Tabela A.1

(Continua)

	phagua1_1	ind_smp	ca_cal	mg_calc	argila_calc	al_calc	ctc_efeti	ctc_ph7	h_al	mo_calc	rela_cak	rel_camg_k	rel_mgk
phagua1_1	1.000												
ind_smp	0.802	1.000											
ca_cal	0.410	0.133	1.000										
mg_calc	0.438	0.125	0.836	1.000									
argila_calc	0.171	-0.084	0.129	0.139	1.000								
al_calc	-0.848	-0.781	-0.401	-0.445	-0.089	1.000							
ctc_efeti	0.345	0.039	0.987	0.884	0.132	-0.314	1.000						
ctc_ph7	0.151	-0.222	0.924	0.830	0.147	-0.122	0.961	1.000					
h_al	-0.749	-0.964	-0.140	-0.146	0.040	0.799	-0.046	0.226	1.000				
mo_calc	0.302	-0.091	0.459	0.475	-0.056	-0.182	0.488	0.521	0.110	1.000			
rela_cak	0.274	0.222	0.425	0.366	0.242	-0.371	0.371	0.297	-0.259	-0.063	1.000		
rela_camg_k	0.269	0.214	0.372	0.386	0.219	-0.361	0.333	0.263	-0.254	-0.058	0.987	1.000	
rela_mgk	0.220	0.167	0.196	0.389	0.133	-0.291	0.198	0.145	-0.208	-0.040	0.834	0.913	1.000
relmgctc_ph7	0.607	0.522	0.190	0.578	0.032	-0.655	0.212	0.081	-0.537	0.197	0.285	0.368	0.531
k_mg_dm3	0.158	-0.109	0.388	0.278	0.058	0.006	0.427	0.454	0.144	0.470	-0.485	-0.518	-0.540
rel_ca_ctc_ph7	0.700	0.592	0.555	0.489	0.156	-0.756	0.482	0.327	-0.589	0.233	0.499	0.456	0.293
rel_kctc_ph7	-0.019	0.031	-0.294	-0.330	-0.082	0.142	-0.276	-0.271	0.013	-0.013	-0.707	-0.722	-0.674
p_calc	0.283	0.167	0.130	0.011	-0.287	-0.094	0.112	0.092	-0.071	0.323	-0.215	-0.219	-0.203
rel_ca_mg	0.117	0.085	0.390	-0.094	0.156	-0.127	0.284	0.258	-0.064	0.019	0.256	0.121	-0.230
sat_al	-0.748	-0.596	-0.584	-0.633	-0.159	0.897	-0.524	-0.373	0.617	-0.249	-0.477	-0.468	-0.390
sat_bases	0.788	0.675	0.712	0.722	0.137	-0.845	0.660	0.470	-0.686	0.257	0.491	0.472	0.365
p_nivel_crit	0.257	0.044	0.129	0.067	-0.048	-0.058	0.132	0.139	0.020	0.374	-0.252	-0.251	-0.220
m1	-0.101	0.146	0.078	0.080	-0.721	-0.004	0.076	0.023	-0.138	-0.120	-0.011	0.005	0.044
m2	0.111	0.262	0.238	0.238	-0.620	-0.179	0.228	0.149	-0.243	-0.064	0.056	0.070	0.096

Tabela A.2

(Continua)

	phagua1_1	ind_smp	ca_cal	mg_calc	argila_calc	al_calc	ctc_efeti	ctc_ph7	h_al	mo_calc	rela_cak	rel_camg_k	rel_mgk
m3	-0.115	0.116	0.074	0.085	-0.757	0.011	0.077	0.033	-0.106	-0.076	-0.026	-0.008	0.038
m4	-0.110	0.123	0.069	0.078	-0.765	0.005	0.070	0.026	-0.112	-0.074	-0.027	-0.010	0.036
m5	-0.114	0.118	0.072	0.083	-0.760	0.010	0.074	0.030	-0.107	-0.075	-0.027	-0.009	0.038
m6	-0.100	0.143	0.022	0.029	-0.789	-0.003	0.017	-0.028	-0.127	-0.081	-0.050	-0.031	0.020
m7	-0.124	0.117	0.039	0.046	-0.787	0.019	0.038	-0.002	-0.103	-0.076	-0.047	-0.028	0.022
m8	-0.124	0.121	0.023	0.031	-0.797	0.021	0.022	-0.019	-0.105	-0.077	-0.057	-0.038	0.015
m9	-0.116	0.143	0.010	0.002	-0.808	0.006	0.002	-0.043	-0.126	-0.096	-0.058	-0.042	0.003
m10	-0.097	0.160	0.010	-0.001	-0.808	-0.012	-0.001	-0.050	-0.142	-0.090	-0.055	-0.040	0.003
m11	-0.095	0.164	0.004	-0.008	-0.811	-0.013	-0.008	-0.058	-0.146	-0.090	-0.058	-0.043	0.000
m12	-0.098	0.165	-0.016	-0.026	-0.819	-0.008	-0.028	-0.077	-0.145	-0.093	-0.069	-0.053	-0.007
b1	0.115	0.258	0.250	0.223	-0.621	-0.190	0.233	0.153	-0.244	-0.041	0.069	0.073	0.076
b2	0.115	0.260	0.247	0.222	-0.626	-0.190	0.230	0.150	-0.245	-0.040	0.066	0.071	0.077
b3	0.114	0.264	0.240	0.233	-0.618	-0.183	0.228	0.148	-0.246	-0.062	0.061	0.072	0.092
b4	0.094	0.268	0.172	0.172	-0.454	-0.134	0.164	0.082	-0.241	-0.214	0.057	0.069	0.092
b5	-0.009	0.213	0.112	0.120	-0.577	-0.059	0.110	0.041	-0.192	-0.201	0.020	0.037	0.076
b6	-0.070	0.170	0.092	0.098	-0.700	-0.026	0.090	0.031	-0.159	-0.133	-0.004	0.013	0.056
b7	-0.111	0.128	0.071	0.079	-0.748	0.007	0.072	0.025	-0.118	-0.095	-0.024	-0.007	0.037
b8	-0.107	0.129	0.057	0.065	-0.772	0.002	0.056	0.011	-0.117	-0.076	-0.033	-0.015	0.032
b9	-0.098	0.145	0.024	0.030	-0.789	-0.005	0.019	-0.027	-0.129	-0.080	-0.049	-0.030	0.020
b10	-0.107	0.136	0.025	0.034	-0.786	0.004	0.022	-0.022	-0.121	-0.083	-0.049	-0.030	0.022
b11	-0.120	0.117	0.051	0.060	-0.778	0.015	0.052	0.010	-0.104	-0.076	-0.039	-0.020	0.028
b12	-0.122	0.120	0.029	0.038	-0.793	0.021	0.029	-0.012	-0.105	-0.077	-0.054	-0.035	0.018
b13	-0.107	0.157	-0.063	-0.058	-0.828	0.009	-0.072	-0.116	-0.135	-0.100	-0.098	-0.077	-0.015
b14	-0.096	0.176	-0.099	-0.099	-0.832	0.000	-0.113	-0.160	-0.150	-0.119	-0.113	-0.092	-0.029
b15	-0.119	0.148	-0.044	-0.044	-0.823	0.016	-0.052	-0.096	-0.127	-0.108	-0.086	-0.067	-0.010
b16	-0.127	0.136	-0.011	-0.012	-0.813	0.020	-0.017	-0.060	-0.118	-0.103	-0.069	-0.051	0.000
b17	-0.106	0.152	0.009	0.000	-0.809	-0.003	-0.001	-0.048	-0.134	-0.093	-0.057	-0.041	0.003
b18	-0.091	0.168	0.001	-0.013	-0.813	-0.017	-0.012	-0.062	-0.149	-0.088	-0.059	-0.045	-0.003
b19	-0.112	0.156	-0.030	-0.036	-0.823	0.006	-0.041	-0.087	-0.136	-0.102	-0.077	-0.060	-0.009
b20	-0.121	0.149	-0.033	-0.036	-0.822	0.014	-0.042	-0.086	-0.129	-0.111	-0.077	-0.059	-0.007
b21	-0.109	0.164	-0.041	-0.049	-0.824	0.001	-0.053	-0.101	-0.143	-0.115	-0.078	-0.061	-0.011

Tabela A.3

	phagua1_1	ind_smp	ca_cal	mg_calc	argila_calc	al_calc	ctc_efeti	ctc_ph7	h_al	mo_calc	rela_cak	rel_camg_k	rel_mgk
b22	-0.079	0.197	-0.078	-0.091	-0.827	-0.025	-0.098	-0.151	-0.173	-0.122	-0.091	-0.075	-0.024
h1	0.055	0.182	0.132	0.256	-0.536	-0.106	0.156	0.102	-0.159	-0.048	0.015	0.068	0.191
h2	-0.248	0.003	-0.211	-0.177	-0.166	0.226	-0.193	-0.203	0.016	-0.398	-0.079	-0.060	-0.005
h3	-0.096	0.147	0.043	0.025	-0.652	-0.025	0.029	-0.028	-0.164	-0.115	0.042	0.049	0.062
h4	-0.190	-0.009	0.009	0.027	-0.756	0.087	0.017	0.013	0.014	0.043	-0.068	-0.051	-0.002
h5	-0.186	-0.096	0.321	0.367	-0.349	0.111	0.365	0.358	0.075	-0.025	0.103	0.116	0.137
h6	-0.291	-0.146	-0.006	0.089	-0.450	0.247	0.043	0.066	0.146	-0.134	-0.058	-0.022	0.070
h7	-0.218	-0.003	0.130	0.116	-0.727	0.105	0.142	0.126	0.008	-0.030	-0.021	-0.011	0.016
h8	-0.164	-0.023	0.279	0.302	-0.564	0.065	0.306	0.287	0.013	0.026	0.074	0.085	0.105
h9	-0.193	0.005	0.227	0.223	-0.635	0.073	0.244	0.219	-0.010	-0.048	0.059	0.067	0.079
h10	-0.312	-0.127	-0.089	-0.003	-0.503	0.255	-0.046	-0.022	0.136	-0.160	-0.110	-0.075	0.022
h11	-0.357	-0.201	-0.395	-0.273	-0.210	0.357	-0.349	-0.291	0.217	-0.277	-0.221	-0.178	-0.047
h12	-0.281	-0.183	0.166	0.223	-0.367	0.222	0.217	0.244	0.176	-0.027	0.005	0.024	0.070
h13	-0.217	0.001	0.120	0.125	-0.668	0.109	0.137	0.118	0.001	-0.045	-0.017	-0.005	0.028

(Continua)

Tabela A.4

(Continua)

	relmgctc_ph7	k_mg_dm3	rel_ca_ctc_ph7	rel_kctc_ph7	p_calc	rel_ca_mg	sat_al	sat_bases	p_nivel_crit	m1	m2	m3	m4
relmgctc_ph7	1.000												
k_mg_dm3	-0.140	1.000											
rel_ca_ctc_ph7	0.580	0.041	1.000										
rel_kctc_ph7	-0.218	0.655	-0.245	1.000									
p_calc	0.009	0.360	0.135	0.252	1.000								
rel_ca_mg	-0.478	0.146	0.392	-0.110	0.106	1.000							
sat_al	-0.677	-0.039	-0.811	0.301	-0.077	-0.167	1.000						
sat_bases	0.665	0.124	0.856	-0.269	0.118	0.213	-0.933	1.000					
p_nivel_crit	0.031	0.404	0.087	0.239	0.906	0.035	-0.059	0.083	1.000				
m1	0.095	-0.145	0.031	-0.100	0.074	-0.088	-0.031	0.094	-0.086	1.000			
m2	0.215	-0.041	0.168	-0.083	0.194	-0.054	-0.214	0.278	0.014	0.888	1.000		
m3	0.082	-0.141	0.005	-0.109	0.069	-0.095	-0.016	0.068	-0.094	0.990	0.863	1.000	
m4	0.080	-0.146	0.008	-0.108	0.072	-0.093	-0.016	0.066	-0.096	0.988	0.863	0.999	1.000
m5	0.081	-0.144	0.004	-0.110	0.070	-0.096	-0.014	0.066	-0.094	0.988	0.862	1.000	1.000
m6	0.076	-0.158	0.003	-0.083	0.090	-0.100	0.000	0.043	-0.088	0.981	0.860	0.993	0.996
m7	0.060	-0.153	-0.017	-0.096	0.078	-0.097	0.010	0.036	-0.094	0.979	0.845	0.996	0.998
m8	0.057	-0.155	-0.025	-0.086	0.084	-0.102	0.019	0.025	-0.090	0.977	0.845	0.995	0.997
m9	0.047	-0.165	-0.009	-0.073	0.092	-0.087	0.019	0.024	-0.094	0.972	0.846	0.984	0.989
m10	0.054	-0.167	0.006	-0.071	0.101	-0.084	0.009	0.034	-0.088	0.967	0.849	0.978	0.985
m11	0.053	-0.169	0.006	-0.067	0.105	-0.084	0.011	0.030	-0.086	0.964	0.846	0.975	0.982
m12	0.049	-0.173	-0.003	-0.057	0.109	-0.090	0.023	0.017	-0.082	0.959	0.839	0.971	0.978
b1	0.184	-0.049	0.196	-0.093	0.184	-0.003	-0.219	0.275	-0.016	0.866	0.983	0.849	0.854
b2	0.186	-0.048	0.195	-0.091	0.187	-0.008	-0.218	0.274	-0.012	0.869	0.984	0.852	0.856
b3	0.208	-0.044	0.178	-0.085	0.191	-0.039	-0.217	0.279	0.006	0.884	0.999	0.860	0.861
b4	0.194	-0.052	0.151	-0.043	0.141	-0.044	-0.181	0.257	0.013	0.840	0.944	0.788	0.782
b5	0.155	-0.100	0.084	-0.063	0.109	-0.079	-0.100	0.176	-0.025	0.937	0.942	0.898	0.892
b6	0.121	-0.131	0.048	-0.090	0.094	-0.093	-0.055	0.122	-0.063	0.995	0.921	0.976	0.973
b7	0.085	-0.142	0.014	-0.102	0.071	-0.090	-0.019	0.075	-0.092	0.996	0.876	0.999	0.997
b8	0.079	-0.149	0.007	-0.101	0.077	-0.094	-0.012	0.061	-0.094	0.987	0.863	0.998	1.000
b9	0.076	-0.158	0.006	-0.083	0.090	-0.098	-0.002	0.046	-0.088	0.981	0.861	0.992	0.996

Tabela A.5

(Continua)

	relmgctc_ph7	k_mg_dm3	rel_ca_ctc_ph7	rel_kctc_ph7	p_calc	rel_ca_mg	sat_al	sat_bases	p_nivel_crit	m1	m2	m3	m4
b9	0.075	-0.157	-0.002	-0.086	0.087	-0.101	0.002	0.042	-0.088	0.982	0.859	0.995	0.997
b10	0.068	-0.151	-0.009	-0.103	0.076	-0.096	0.001	0.047	-0.094	0.982	0.851	0.998	0.999
b11	0.059	-0.153	-0.024	-0.088	0.084	-0.102	0.016	0.029	-0.088	0.978	0.849	0.995	0.997
b12	0.049	-0.176	-0.036	-0.038	0.116	-0.113	0.047	-0.015	-0.070	0.955	0.834	0.971	0.977
b13	0.045	-0.183	-0.035	-0.014	0.131	-0.113	0.055	-0.029	-0.061	0.937	0.829	0.950	0.958
b14	0.045	-0.174	-0.031	-0.048	0.104	-0.105	0.043	-0.008	-0.081	0.964	0.838	0.978	0.983
b15	0.044	-0.168	-0.027	-0.066	0.091	-0.098	0.034	0.007	-0.091	0.973	0.841	0.987	0.991
b16	0.050	-0.166	-0.002	-0.071	0.096	-0.086	0.014	0.028	-0.091	0.970	0.847	0.981	0.987
b17	0.051	-0.170	0.009	-0.064	0.109	-0.082	0.012	0.029	-0.083	0.959	0.843	0.970	0.978
b18	0.044	-0.176	-0.020	-0.052	0.105	-0.098	0.036	0.002	-0.083	0.962	0.836	0.975	0.981
b19	0.042	-0.177	-0.028	-0.053	0.100	-0.101	0.041	-0.002	-0.086	0.965	0.836	0.978	0.983
b20	0.043	-0.182	-0.019	-0.046	0.111	-0.099	0.038	-0.001	-0.080	0.958	0.836	0.969	0.975
b21	0.047	-0.193	-0.010	-0.022	0.140	-0.102	0.039	-0.009	-0.057	0.929	0.826	0.936	0.946
b22	0.306	-0.039	0.010	-0.084	0.174	-0.267	-0.146	0.205	0.095	0.740	0.786	0.715	0.702
h1	-0.036	-0.150	-0.152	0.034	-0.109	-0.117	0.190	-0.124	-0.062	0.543	0.330	0.487	0.468
h2	0.051	-0.210	0.059	-0.148	-0.017	-0.026	-0.027	0.072	-0.194	0.914	0.725	0.924	0.930
h3	-0.016	-0.159	-0.089	-0.136	0.002	-0.088	0.079	-0.065	-0.152	0.818	0.600	0.887	0.892
h4	0.081	-0.013	-0.026	-0.227	-0.076	-0.065	-0.069	0.153	-0.098	0.717	0.588	0.725	0.703
h5	0.015	-0.090	-0.229	-0.105	-0.020	-0.175	0.136	-0.096	-0.035	0.646	0.481	0.679	0.658
h6	-0.042	-0.119	-0.094	-0.155	0.016	-0.051	0.055	0.000	-0.128	0.881	0.691	0.923	0.921
h7	0.071	-0.064	0.005	-0.223	-0.038	-0.056	-0.060	0.137	-0.139	0.870	0.712	0.894	0.884
h8	0.037	-0.101	0.002	-0.195	-0.034	-0.042	-0.027	0.105	-0.161	0.919	0.746	0.935	0.928
h9	-0.019	-0.094	-0.251	-0.048	-0.063	-0.164	0.171	-0.142	-0.110	0.681	0.496	0.711	0.691
h10	-0.108	-0.109	-0.434	0.124	-0.087	-0.233	0.347	-0.370	-0.045	0.177	0.014	0.203	0.181
h11	-0.011	-0.005	-0.144	-0.159	-0.144	-0.068	0.056	-0.003	-0.171	0.618	0.437	0.655	0.633
h12	0.017	-0.101	-0.041	-0.134	-0.033	-0.060	0.033	0.032	-0.168	0.917	0.710	0.940	0.933
h13	0.075	-0.157	-0.002	-0.086	0.087	-0.101	0.002	0.042	-0.088	0.982	0.859	0.995	0.997

Tabela A.6

(Continua)

	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	m12	b1	b2	b3	b4	b5
m5	1.000												
m6	0.994	1.000											
m7	0.997	0.997	1.000										
m8	0.996	0.997	1.000	1.000									
m9	0.986	0.996	0.993	0.994	1.000								
m10	0.980	0.994	0.988	0.990	0.999	1.000							
m11	0.977	0.993	0.986	0.988	0.998	1.000	1.000						
m12	0.974	0.991	0.984	0.986	0.998	0.999	1.000	1.000					
b1	0.850	0.856	0.839	0.839	0.848	0.854	0.853	0.847	1.000				
b2	0.852	0.858	0.841	0.841	0.850	0.857	0.855	0.849	1.000	1.000			
b3	0.859	0.859	0.844	0.844	0.847	0.851	0.849	0.842	0.991	0.992	1.000		
b4	0.783	0.773	0.756	0.754	0.752	0.751	0.747	0.739	0.888	0.892	0.934	1.000	
b5	0.894	0.882	0.872	0.870	0.863	0.859	0.855	0.848	0.888	0.892	0.931	0.972	1.000
b6	0.974	0.966	0.962	0.960	0.955	0.951	0.948	0.942	0.890	0.894	0.914	0.888	0.966
b7	0.998	0.991	0.993	0.991	0.983	0.977	0.974	0.970	0.859	0.861	0.872	0.811	0.916
b8	0.999	0.998	0.999	0.998	0.992	0.988	0.986	0.983	0.856	0.858	0.862	0.780	0.890
b9	0.993	1.000	0.997	0.997	0.997	0.995	0.993	0.992	0.857	0.859	0.861	0.773	0.882
b10	0.996	1.000	0.998	0.998	0.995	0.992	0.990	0.988	0.852	0.855	0.858	0.774	0.884
b11	0.999	0.997	1.000	0.999	0.991	0.986	0.984	0.981	0.843	0.845	0.850	0.765	0.879
b12	0.996	0.997	1.000	1.000	0.994	0.989	0.987	0.985	0.842	0.844	0.847	0.759	0.874
b13	0.973	0.991	0.984	0.988	0.993	0.993	0.993	0.995	0.835	0.837	0.835	0.740	0.851
b14	0.952	0.979	0.966	0.972	0.984	0.986	0.988	0.991	0.832	0.835	0.831	0.737	0.840
b15	0.980	0.995	0.989	0.992	0.997	0.996	0.995	0.996	0.836	0.839	0.838	0.747	0.859
b16	0.988	0.997	0.995	0.997	0.999	0.996	0.995	0.995	0.838	0.840	0.840	0.750	0.865
b17	0.983	0.995	0.991	0.992	1.000	1.000	0.999	0.999	0.851	0.853	0.849	0.751	0.861
b18	0.973	0.990	0.982	0.984	0.997	0.999	1.000	1.000	0.853	0.855	0.847	0.742	0.849
b19	0.977	0.993	0.987	0.990	0.998	0.998	0.999	0.999	0.839	0.841	0.837	0.740	0.852
b20	0.979	0.994	0.989	0.992	0.998	0.998	0.998	0.998	0.836	0.839	0.837	0.743	0.856
b21	0.971	0.990	0.982	0.985	0.996	0.998	0.998	0.999	0.840	0.842	0.838	0.742	0.851
b22	0.939	0.969	0.954	0.959	0.981	0.986	0.988	0.991	0.837	0.839	0.830	0.728	0.827
h1	0.710	0.684	0.685	0.683	0.655	0.643	0.637	0.632	0.665	0.673	0.755	0.815	0.834

Tabela A.7

(Continua)

	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	m12	b1	b2	b3	b4	b5
h2	0.479	0.447	0.452	0.447	0.422	0.403	0.397	0.394	0.203	0.211	0.298	0.558	0.626
h3	0.926	0.927	0.928	0.924	0.927	0.926	0.924	0.920	0.756	0.755	0.733	0.618	0.751
h4	0.891	0.891	0.909	0.908	0.892	0.884	0.882	0.883	0.627	0.627	0.605	0.442	0.603
h5	0.719	0.638	0.682	0.668	0.604	0.576	0.563	0.550	0.521	0.523	0.568	0.590	0.681
h6	0.675	0.616	0.657	0.652	0.579	0.547	0.536	0.533	0.393	0.396	0.455	0.499	0.610
h7	0.924	0.900	0.929	0.925	0.903	0.890	0.886	0.881	0.692	0.692	0.689	0.575	0.719
h8	0.892	0.840	0.873	0.863	0.821	0.803	0.794	0.783	0.688	0.689	0.704	0.641	0.762
h9	0.933	0.894	0.920	0.911	0.886	0.871	0.864	0.854	0.727	0.728	0.739	0.675	0.802
h10	0.706	0.658	0.693	0.691	0.623	0.592	0.582	0.581	0.413	0.417	0.471	0.515	0.636
h11	0.198	0.164	0.196	0.202	0.135	0.101	0.094	0.102	-0.096	-0.090	-0.019	0.107	0.190
h12	0.650	0.575	0.626	0.617	0.541	0.507	0.495	0.486	0.372	0.374	0.416	0.431	0.547
h13	0.939	0.906	0.930	0.924	0.894	0.878	0.871	0.865	0.687	0.689	0.702	0.645	0.787

Tabela A.8

(Continua)

	b6	b7	b8	b9	b10	b11	b12	b13	b14	b15	b16	b17	b18
b6	1.000												
b7	0.986	1.000											
b8	0.972	0.996	1.000										
b9	0.966	0.991	0.998	1.000									
b10	0.968	0.993	0.999	1.000	1.000								
b11	0.966	0.995	0.999	0.996	0.998	1.000							
b12	0.962	0.992	0.998	0.997	0.998	0.999	1.000						
b13	0.940	0.969	0.982	0.991	0.989	0.981	0.987	1.000					
b14	0.925	0.949	0.964	0.979	0.976	0.962	0.970	0.996	1.000				
b15	0.948	0.976	0.987	0.995	0.993	0.987	0.991	0.999	0.993	1.000			
b16	0.956	0.984	0.993	0.997	0.997	0.993	0.996	0.995	0.985	0.998	1.000		
b17	0.953	0.980	0.990	0.996	0.994	0.989	0.992	0.994	0.986	0.997	0.998	1.000	
b18	0.943	0.969	0.982	0.991	0.987	0.980	0.983	0.992	0.988	0.994	0.993	0.998	1.000
b19	0.945	0.973	0.985	0.993	0.991	0.985	0.989	0.997	0.992	0.999	0.998	0.999	0.998
b20	0.948	0.976	0.987	0.994	0.992	0.986	0.991	0.997	0.991	0.999	0.999	0.998	0.996
b21	0.942	0.968	0.980	0.990	0.987	0.979	0.984	0.996	0.994	0.997	0.995	0.997	0.998
b22	0.915	0.936	0.953	0.970	0.964	0.950	0.957	0.987	0.994	0.985	0.977	0.984	0.990
h1	0.780	0.726	0.697	0.681	0.691	0.693	0.688	0.653	0.637	0.660	0.667	0.649	0.627
h2	0.558	0.510	0.462	0.443	0.456	0.459	0.450	0.416	0.400	0.432	0.441	0.412	0.385
h3	0.878	0.921	0.930	0.929	0.926	0.929	0.923	0.904	0.884	0.911	0.921	0.926	0.922
h4	0.766	0.863	0.892	0.890	0.893	0.904	0.905	0.885	0.857	0.888	0.896	0.888	0.879
h5	0.709	0.721	0.685	0.634	0.654	0.693	0.673	0.552	0.486	0.578	0.617	0.589	0.547
h6	0.636	0.670	0.645	0.610	0.634	0.663	0.656	0.576	0.526	0.590	0.611	0.563	0.519
h7	0.844	0.907	0.916	0.899	0.906	0.928	0.925	0.873	0.833	0.885	0.906	0.897	0.880
h8	0.847	0.885	0.872	0.839	0.850	0.880	0.866	0.775	0.720	0.794	0.825	0.812	0.784
h9	0.894	0.929	0.919	0.893	0.901	0.924	0.913	0.840	0.794	0.859	0.887	0.878	0.856
h10	0.669	0.704	0.681	0.652	0.674	0.697	0.693	0.629	0.586	0.641	0.656	0.608	0.565
h11	0.174	0.199	0.174	0.156	0.180	0.195	0.203	0.177	0.156	0.181	0.181	0.119	0.078
h12	0.596	0.643	0.616	0.570	0.593	0.633	0.620	0.510	0.445	0.532	0.565	0.524	0.477
h13	0.887	0.932	0.926	0.904	0.913	0.933	0.925	0.863	0.820	0.879	0.901	0.885	0.862

Tabela A.9

(Continua)

	b19	b20	b21	b22	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9
b19	1.000												
b20	1.000	1.000											
b21	0.999	0.999	1.000										
b22	0.989	0.986	0.993	1.000									
h1	0.644	0.653	0.640	0.607	1.000								
h2	0.414	0.427	0.411	0.367	0.572	1.000							
h3	0.917	0.916	0.912	0.887	0.481	0.362	1.000						
h4	0.887	0.887	0.875	0.839	0.444	0.244	0.883	1.000					
h5	0.565	0.578	0.542	0.445	0.666	0.554	0.610	0.614	1.000				
h6	0.562	0.578	0.540	0.455	0.683	0.608	0.511	0.631	0.871	1.000			
h7	0.887	0.891	0.874	0.820	0.571	0.374	0.874	0.935	0.780	0.725	1.000		
h8	0.791	0.797	0.772	0.696	0.645	0.463	0.830	0.836	0.927	0.791	0.939	1.000	
h9	0.860	0.866	0.846	0.781	0.650	0.489	0.880	0.861	0.876	0.747	0.962	0.983	1.000
h10	0.611	0.626	0.591	0.511	0.673	0.637	0.554	0.658	0.829	0.978	0.728	0.777	0.746
h11	0.142	0.161	0.129	0.070	0.388	0.533	0.031	0.201	0.423	0.761	0.240	0.256	0.223
h12	0.511	0.525	0.483	0.379	0.571	0.522	0.534	0.644	0.936	0.933	0.755	0.862	0.803
h13	0.874	0.880	0.859	0.795	0.637	0.529	0.885	0.891	0.846	0.781	0.953	0.964	0.979

Tabela A.10

(Continua)

	h9	h10	h11	h12	h13
h9	1.000				
h10	0.746	1.000			
h11	0.223	0.791	1.000		
h12	0.803	0.922	0.626	1.000	
h13	0.979	0.803	0.316	0.823	1.000

Legenda: phagua1_1 (pH do solo em água 1:1), ind_smp (Índice SMP), ca_cal (Cálcio (Ca), argila_calc (Argila), al_calc (Alumínio (Al) trocáveis), ctc_efeti (Capacidade de troca de cátions efetiva), ctc_ph7 (Capacidade de troca de cátions efetiva a pH7), h_al (Acidez potencial (H+Al), mo_calc (Matéria Orgânica), rela_cak (Relação Ca/K), rel_camg_k (Relação (Ca+Mg)/K), rel_mgk (Relação Mg/K), relmgctc_ph7 (Relação Mg/CTC pH7), k_mg_dm3 (Potássio), rel_ca_ctc_ph7 (Relação Ca/CTC pH7), sat_bases (Saturação por bases (V)), p_nivel_crit (Fósforo (P)), (M1 (Máximo 997-1004), M2 (Mínimo 560:585), M3 (Mínimo 1301:1318), M4 (Máximo 1375:1385), M5 (Máximo 1330:1413), M6 (Mínimo 1420:1423), M7 (Máximo 1797:1804), M8 (Máximo 1852:1917), M9 (Máximo 2157:2160), M10 (Mínimo 2181:2188), M11 (Máximo 2196:2201), M12 (Mínimo 2213:2217), B1= 450:481, B2= 481, B3= 481:596, B4= 596:710, B5= 710:814, B6= 814:975, B7= 975:1350, B8= 1350:1417, B9= 1069, B10= 1417:1449, B11= 1449:1793, B12= 1793:1831, B13= 1865:1927, B14= 1927, B15= 1927:2102, B16= 2101:2139, B17= 2139:2206, B18= 2206, B19= 2206:2258, B20= 2258, B21= 2258:2389, B22= 2389:2498, H1= 469-532, H2= 532-768, H3= 768-876, H4= 876-1353, H5= 1353-1411, H6= 1411-1439, H7= 1439-1783, H8= 1860-1923, H9= 1923-2120, H10= 2120-2206, H11= 2206-2258, H12= 2258-2389 e H13= 2389-2498, onde B = valor médio de reflectância para a banda e H = diferença no valor de reflectância para os comprimentos de onda relacionados.

APÊNDICE B - Ajustes Variográficos e Validação Cruzada

Tabela B.1 – Ajuste Variográfico

Variável	Modelo	Efeito Pepita	Contribuição	Patamar	Alcance (m)	DE(%)	IDE (%)	Soma Quad,
Argila Medida 20cm								
100%	Esférico	0,000	521,885	521,885	677,386	1,000	37,500	1916414,000
359,7713m	Exponencial	0,000	443083,100	443083,100	1186430,000	1,000	31,700	1946341,000
	Gaussiano	26,567	319,091	345,658	331,406	0,923	46,526	1007023,000
90%	Esférico	0,000	50215,440	50215,440	66317,290	1,000	37,500	1931118,000
323,7941m	Exponencial	0,000	718967,200	718967,200	1896033,000	1,000	31,700	1931308,000
	Gaussiano	26,071	334,167	360,238	340,473	0,928	46,752	1035271,000
80%	Esférico	0,000	105388,200	105388,200	136030,900	1,000	37,500	1394725,000
287,817m	Exponencial	0,000	787673,900	787673,900	2030284,000	1,000	31,700	1395217,000
	Gaussiano	31,166	438,611	469,777	424,169	0,934	47,056	523349,300
70%	Esférico	0,000	100003,000	100003,000	127662,700	1,000	37,500	1375580,000
251,8399m	Exponencial	0,000	10596569,000	10596569,000	27002804,000	1,000	31,700	1375603,000
	Gaussiano	34,820	854,178	888,998	636,282	0,961	48,426	1375603,000
60%	Esférico	0,000	52396,680	52396,680	69882,950	1,000	31,250	875889,900
215,8628m	Exponencial	0,000	932173,800	932173,800	2481603,000	1,000	31,700	876109,200
	Gaussiano	37,782	20142,783	20180,565	20142,783	0,998	50,306	127400,900
50%	Esférico	0,000	270674,700	270674,700	386293,300	1,000	37,500	597910,400
179,8856m	Exponencial	0,000	1343612,000	1343612,000	3829534,000	1,000	31,700	597964,500
	Gaussiano	36,941	44737,054	44773,995	4843,405	0,999	50,358	151504,300
Argila Predita 1 20cm								
100%	Esférico	4,531	1943,433	1947,964	159483,600	0,998	37,413	2729,588
359,7713m	Exponencial	4,553	9191,098	9195,651	507920,206	1,000	31,684	2730,397
	Gaussiano	5,455	3735,433	3740,889	13162,060	0,999	50,327	2058,581
90%	Esférico	4,670	865,696	870,367	77235,640	0,995	37,299	1686,020
323,7941m	Exponencial	4,670	7283,051	7287,721	1297329,000	0,999	31,680	1686,179
	Gaussiano	5,544	387,456	393,000	4435,535	0,986	49,689	1488,512
80%	Esférico	4,874	552,087	556,961	57251,100	0,991	37,172	1480,295
287,817m	Exponencial	4,875	3320,597	3325,471	687636,700	0,999	31,654	1480,319

	Gaussiano	5,298	3,764	9,062	322,021	0,415	20,921	1446,550
70%	Esférico	3,143	3,533	6,677	63,638	0,529	10,025	2284,708
251,8399m	Exponencial	4,848	3586,400	3591,248	733846,400	0,999	31,657	908,949
	Gaussiano	5,392	4,510	9,902	389,880	0,455	22,956	911,237
60%	Esférico	4,873	4,251	9,124	430,386	0,466	17,470	1231,979
215,8628m	Exponencial	4,921	60,209	65,130	12848,060	0,924	29,305	1233,387
	Gaussiano	5,241	2,692	7,932	242,751	0,339	17,095	1200,296
50%	Esférico	0,000	6,261	6,261	32,353	1,000	13,488	1665,048
179,8856m	Exponencial	4,957	1047,126	1052,083	234731,100	0,995	31,551	1175,706
	Gaussiano	5,251	2,460	7,711	232,263	0,319	16,079	1136,638
Argila Predita 2 20cm								
100%	Esférico	0,954	3,936	4,889	0,000	0,805	0,000	718,716
359,7713m	Exponencial	4,284	714,713	718,997	431654,900	0,994	31,511	366,037
	Gaussiano	4,505	2,558	7,063	579,641	0,362	18,262	352,139
90%	Esférico	0,095	4,789	4,884	0,000	0,980	0,000	648,416
323,7941m	Exponencial	4,239	1093,438	1097,677	611748,200	0,996	31,578	256,125
	Gaussiano	0,095	4,789	4,884	0,000	0,980	0,000	648,416
80%	Esférico	0,572	4,286	4,857	0,000	0,882	0,000	651,058
287,817m	Exponencial	4,254	13,071	17,325	7417,208	0,754	23,915	351,940
	Gaussiano	0,572	4,286	4,857	0,000	0,882	0,000	651,058
70%	Esférico	1,867	3,023	4,889	41,500	0,618	7,638	356,640
251,8399m	Exponencial	0,568	4,254	4,822	0,000	0,882	0,000	545,556
	Gaussiano	0,568	4,254	4,822	0,000	0,882	0,000	545,556
60%	Esférico	2,525	2,271	4,796	33,768	0,474	5,555	524,601
215,8628m	Exponencial	0,561	4,210	4,771	0,000	0,882	0,000	558,942
	Gaussiano	0,561	4,210	4,771	0,000	0,882	0,000	558,942
50%	Esférico	2,125	2,630	4,755	31,882	0,553	7,351	498,083
179,8856m	Exponencial	0,555	4,166	4,721	0,000	0,882	0,000	538,419
	Gaussiano	0,555	4,166	4,721	0,000	0,882	0,000	538,419
Argila Predita 3 20cm								
100%	Esférico	4,043	4,238	8,280	83,477	0,512	8,909	1433,388
359,7713m	Exponencial	3,199	5,181	8,380	89,540	0,618	9,755	1519,163
	Gaussiano	4,835	3,479	8,314	76,079	0,418	8,921	1433,981
90%	Esférico	4,154	4,149	8,303	85,761	0,500	9,927	1687,968
323,7941m	Exponencial	3,508	4,925	8,433	98,360	0,584	11,243	1754,964
	Gaussiano	4,915	3,427	8,342	78,384	0,411	10,030	1663,868

80%	Esférico	3,094	5,293	8,387	77,332	0,631	12,715	1000,951
287,817m	Exponencial	2,283	6,264	8,547	89,297	0,733	14,414	1045,641
	Gaussiano	4,000	4,415	8,415	68,719	0,525	12,635	986,102
70%	Esférico	2,465	5,985	8,450	75,236	0,708	15,867	510,050
251,8399m	Exponencial	1,519	7,158	8,677	89,758	0,825	18,642	447,871
	Gaussiano	3,422	5,048	8,470	65,235	0,596	15,565	492,034
60%	Esférico	2,902	5,563	8,465	80,690	0,657	24,639	718,437
215,8628m	Exponencial	2,039	6,697	8,736	99,034	0,767	22,300	700,261
	Gaussiano	4,132	4,383	8,514	74,440	0,515	17,888	707,969
50%	Esférico	2,596	5,907	8,503	77,809	0,695	22,540	1040,018
179,8856m	Exponencial	2,430	6,552	8,982	114,066	0,730	23,123	1017,728
	Gaussiano	4,021	4,562	8,583	74,152	0,532	22,081	1022,661
Argila Predita 4 20cm								
100%	Esférico	3,387	3421,649	3425,035	102868,700	0,999	37,463	8933,438
359,7713m	Exponencial	3,386	24138,925	24142,311	1449001,000	1,000	31,696	8935,479
	Gaussiano	5,962	5298,903	5304,864	9557,543	0,999	50,343	4980,555
90%	Esférico	3,778	3040,201	3043,979	99103,940	0,999	37,453	4779,911
323,7941m	Exponencial	3,769	27083,433	27087,201	1759963,000	1,000	31,696	4780,974
	Gaussiano	5,993	50,629	56,622	910,720	0,894	45,066	2908,014
80%	Esférico	3,837	4076,174	4080,010	135585,600	0,999	37,465	5433,636
287,817m	Exponencial	3,837	35898,720	35902,557	2384561,000	1,000	31,697	5434,254
	Gaussiano	6,048	1638,418	1644,466	5392,532	0,996	50,215	3452,030
70%	Esférico	3,981	7910,351	7914,332	274976,500	0,999	37,481	3769,971
251,8399m	Exponencial	3,978	36883,665	36887,644	2559717,000	1,000	31,697	3770,334
	Gaussiano	5,968	3248,864	3254,832	50,308	0,998	50,308	2325,112
60%	Esférico	4,831	1143,315	1148,146	52032,520	0,996	37,342	2425,523
215,8628m	Exponencial	4,821	12612,335	12617,156	1142647,000	1,000	31,688	2425,738
	Gaussiano	6,249	781,453	787,702	3984,365	0,992	50,000	2183,229
50%	Esférico	4,958	1002,158	1007,115	48020,950	0,995	37,315	2807,574
179,8856m	Exponencial	4,961	14624,760	14629,721	1401156,000	1,000	31,689	2807,605
	Gaussiano	6,161	1380,169	1386,330	5072,703	0,996	50,176	2776,820
Argila Predita 5 20cm								
100%	Esférico	0,000	69434,630	69434,630	678929,600	1,000	37,500	51870,920
359,7713m	Exponencial	0,000	812514,700	812514,700	15929822,000	1,000	31,700	51892,990
	Gaussiano	6,093	8888,632	8894,725	6720,437	0,999	50,365	5731,171
90%	Esférico	0,000	19473,780	19473,780	193898,300	1,000	37,500	37639,420

323,7941m	Exponencial	0,000	117606,300	117606,300	2338386,000	1,000	31,700	37653,000
	Gaussiano	6,157	616,983	623,140	1759,333	0,990	49,902	5257,396
80%	Esférico	0,000	34146,290	34146,290	349109,100	1,000	37,500	29924,230
287,817m	Exponencial	0,000	152446,100	152446,100	3111685,000	1,000	31,700	29931,460
	Gaussiano	6,154	5126,904	5133,058	5119,589	0,999	50,340	4111,061
70%	Esférico	0,000	6536,570	6536,570	69465,970	1,000	37,500	18107,570
251,8399m	Exponencial	0,000	115341,300	115341,300	2446161,000	1,000	31,700	18111,800
	Gaussiano	6,118	7354,813	7360,931	6115,130	0,999	50,358	2125,200
60%	Esférico	1,378	10944,382	10945,760	135316,400	1,000	37,495	6526,680
215,8628m	Exponencial	1,377	61327,919	61329,295	1513959,000	1,000	31,699	6528,870
	Gaussiano	6,541	1461,145	1467,686	2825,098	0,996	50,175	1795,541
50%	Esférico	2,444	9287,801	9290,245	129933,400	1,000	37,500	4187,660
179,8856m	Exponencial	2,443	69800,500	69802,943	1949850,000	1,000	31,699	4188,338
	Gaussiano	6,444	2080,155	2086,599	3325,570	0,997	50,244	1983,152
Argila Predita 6 20cm								
100%	Esférico	0,000	11427,270	11427,270	90562,610	1,000	37,500	96494,740
359,7713m	Exponencial	0,000	218775,500	218775,500	3478256,000	1,000	31,700	96555,530
	Gaussiano	6,976	17091,413	17098,389	8287,132	1,000	50,400	11095,040
90%	Esférico	0,000	31594,080	31594,080	255387,100	1,000	37,500	68048,190
323,7941m	Exponencial	0,000	39997003,000	39997003,000	653256837,000	1,000	31,700	68280,300
	Gaussiano	7,257	6979,769	6987,026	5349,807	0,999	50,348	7186,519
80%	Esférico	0,000	22465,070	22465,070	187458,000	1,000	37,500	51167,660
287,817m	Exponencial	0,000	2220848,000	2220848,000	36755931,000	1,000	31,700	51251,660
	Gaussiano	7,191	7701,894	7709,085	5620,862	0,999	50,353	5991,870
70%	Esférico	0,000	21781,200	21781,200	190194,600	1,000	37,500	29963,140
251,8399m	Exponencial	0,000	632692,800	632692,800	11021059,000	1,000	31,700	29963,260
	Gaussiano	7,258	8622,094	8629,352	5968,421	0,999	50,358	3846,951
60%	Esférico	1,672	11291,059	11292,732	115697,100	1,000	37,494	9051,711
215,8628m	Exponencial	1,298	83498,974	83500,272	1666948,000	1,000	31,700	9142,120
	Gaussiano	7,909	1555,397	1563,306	2653,966	0,995	50,145	2564,840
50%	Esférico	2,980	8221,106	8224,086	95477,080	1,000	37,500	5369,204
179,8856m	Exponencial	2,975	65173,673	65176,648	1510887,000	1,000	31,699	5370,366
	Gaussiano	7,815	1639,871	1647,686	2692,042	0,995	50,161	2685,020
Argila Predita 7 20cm								
100%	Esférico	0,000	1639,870	1639,870	2692,040	1,000	37,500	221780,200
359,7713m	Exponencial	0,000	792598,200	792598,200	9524573,000	1,000	31,700	222278,300

	Gaussiano	7,647	32646,580	32654,226	9672,580	1,000	50,400	23896,200
90%	Esférico	0,000	26125,630	26125,630	158508,800	1,000	37,500	163170,000
323,7941m	Exponencial	0,000	813985,100	813985,100	9925497,000	1,000	31,700	163274,300
	Gaussiano	7,983	15818,183	15826,166	6790,768	0,999	50,400	15000,320
80%	Esférico	0,000	20003,340	20003,340	126138,100	1,000	37,500	123303,000
287,817m	Exponencial	0,000	171792,000	171792,000	2163285,000	1,000	29,368	123342,600
	Gaussiano	7,921	16975,622	16983,543	7047,657	1,000	50,376	12400,700
70%	Esférico	0,000	87733,810	87733,810	583066,300	1,000	37,500	73638,760
251,8399m	Exponencial	0,000	188476,600	188476,600	2474241,000	1,000	31,700	73925,840
	Gaussiano	8,069	17458,501	17466,570	7184,510	1,000	50,377	9765,454
60%	Esférico	0,771	20352,526	20353,298	153446,100	1,000	37,499	19461,400
215,8628m	Exponencial	0,341	148421,844	148422,185	2188610,000	1,000	31,700	19588,230
	Gaussiano	0,341	4872,895	4873,236	4027,117	1,000	50,396	3885,064
50%	Esférico	2,886	12083,013	12085,899	105932,700	1,000	37,500	9707,987
179,8856m	Exponencial	2,293	132912,787	132915,080	2238873,000	1,000	31,700	9898,349
	Gaussiano	9,249	2874,414	2883,663	3091,555	0,997	50,238	3588,100
Argila Predita 8 20cm								
100%	Esférico	0,000	40446,020	40446,020	274408,100	1,000	37,500	113697,600
359,7713m	Exponencial	0,000	6044328,000	6044328,000	81853872,000	1,000	31,700	113699,500
	Gaussiano	9,484	17213,067	17222,551	7884,372	0,999	50,372	17384,550
90%	Esférico	0,000	16950,080	16950,080	116853,600	1,000	37,500	85785,670
323,7941m	Exponencial	0,000	1538678,000	1538678,000	21213372,000	1,000	31,700	85782,850
	Gaussiano	9,751	6266,763	6276,514	4794,632	0,998	50,322	14839,250
80%	Esférico	0,000	37735,090	37735,090	267210,900	1,000	37,500	71681,260
287,817m	Exponencial	0,000	2541997,000	2541997,000	35950750,000	1,000	31,700	71682,430
	Gaussiano	9,565	11818,883	11828,447	6557,023	0,999	50,359	71682,430
70%	Esférico	0,303	18409,158	18409,461	136440,400	1,000	37,500	46526,100
251,8399m	Exponencial	0,482	151311,846	151312,328	2257394,000	1,000	31,700	46560,280
	Gaussiano	9,503	15424,421	15433,924	7469,689	0,999	50,369	8089,539
60%	Esférico	3,611	11185,232	11188,843	103586,900	1,000	37,488	15041,540
215,8628m	Exponencial	3,545	90477,214	90480,758	1666570,000	1,000	31,700	15048,150
	Gaussiano	10,482	3452,614	3463,096	3758,263	0,997	50,247	5159,998
50%	Esférico	5,158	14579,922	14585,081	154092,700	1,000	37,500	10136,030
179,8856m	Exponencial	4,913	54059,900	54064,813	1119661,000	1,000	31,697	10167,880
	Gaussiano	10,402	4149,310	4159,712	4071,304	0,997	50,274	5043,237
Argila Predita 9 20cm								

100%	Esférico	0,000	11696,770	11696,770	81536,820	1,000	37,500	117943,400
359,7713m	Exponencial	0,000	1114780,000	1114780,000	15476284,000	1,000	31,700	117992,900
	Gaussiano	10,514	23172,586	23183,100	9497,740	1,000	50,377	22321,180
90%	Esférico	0,472	17506,911	17507,383	126070,200	1,000	37,500	84319,660
323,7941m	Exponencial	0,427	349028,331	349028,759	5005686,000	1,000	31,700	84335,720
	Gaussiano	10,837	16752,699	16763,535	8166,312	0,999	50,367	11827,220
80%	Esférico	1,318	34995,995	34997,313	265349,900	1,000	37,500	74146,510
287,817m	Exponencial	1,489	141058,373	141059,862	2150755,000	1,000	31,700	74186,930
	Gaussiano	10,738	19308,941	19319,679	8755,322	0,999	50,372	13933,000
70%	Esférico	2,774	12937,007	12939,781	107620,200	1,000	37,500	45045,470
251,8399m	Exponencial	2,682	107090,961	107093,643	1770830,000	1,000	31,700	45064,220
	Gaussiano	10,927	16340,384	16351,311	8129,610	0,999	50,366	11252,200
60%	Esférico	6,229	8626,765	8632,994	93728,320	0,999	37,500	10761,250
215,8628m	Exponencial	6,218	73991,074	73997,292	1604054,000	1,000	28,816	10764,200
	Gaussiano	12,077	2662,505	2674,582	3572,168	0,995	25,200	3511,887
50%	Esférico	7,842	5013,448	5021,290	64024,950	0,998	24,994	6205,792
179,8856m	Exponencial	7,818	47401,925	47409,743	1206119,000	1,000	28,823	6207,376
	Gaussiano	12,217	1015,020	1027,236	2214,085	0,988	37,796	3471,324
Argila Predita 10 20cm								
100%	Esférico	0,995	21047,388	21048,383	167464,200	1,000	37,500	96214,350
359,7713m	Exponencial	0,593	132162,654	132163,247	2064500,000	1,000	31,700	96388,740
	Gaussiano	10,492	21782,984	21793,476	9881,760	1,000	50,376	20056,210
90%	Esférico	1,905	32662,556	32664,462	272702,700	1,000	37,500	66009,430
323,7941m	Exponencial	2,125	237347,629	237349,754	4001472,000	1,000	31,700	66062,850
	Gaussiano	10,835	16557,833	16568,668	8741,169	0,999	50,367	9195,440
80%	Esférico	2,716	12821,688	12824,404	113238,300	1,000	37,500	58213,690
287,817m	Exponencial	2,779	958281,440	958284,219	16959642,000	1,000	31,700	58218,930
	Gaussiano	10,768	19147,474	19158,242	9400,989	0,999	50,367	12308,550
70%	Esférico	4,080	12586,700	12590,780	122939,800	1,000	37,488	33517,090
251,8399m	Exponencial	4,038	170043,233	170047,270	3310022,000	1,000	31,700	33522,200
	Gaussiano	11,028	12517,937	12528,965	7711,876	0,999	50,356	9612,815
60%	Esférico	7,095	8867,150	8874,245	114042,900	0,999	37,500	7220,095
215,8628m	Exponencial	6,933	72619,781	72626,714	1840311,000	1,000	31,697	7238,700
	Gaussiano	12,057	1495,578	1507,635	2915,291	0,992	49,997	2697,038
50%	Esférico	8,483	7019,726	7028,209	106368,300	0,999	37,455	4523,698
179,8856m	Exponencial	8,439	47122,720	47131,159	1418244,000	1,000	31,700	4525,545

	Gaussiano	11,991	68,912	80,903	598,089	0,852	42,930	3155,217
Argila Medida 40cm								
100%	Esférico	8,984	21287,394	21296,377	32446,600	1,000	37,484	1017164,000
359,7713m	Exponencial	8,873	407625,593	407634,466	1239695,000	1,000	31,700	1017346,000
	Gaussiano	41,408	302,879	344,287	376,290	0,880	44,338	509302,500
90%	Esférico	8,815	47973,698	47982,513	72841,230	1,000	37,493	1223149,000
323,7941m	Exponencial	7,669	563004,837	563012,506	1689628,000	1,000	31,700	1224729,000
	Gaussiano	40,248	296,786	337,035	366,642	0,881	44,381	634067,200
80%	Esférico	4,916	64006,450	64011,366	93627,540	1,000	37,500	1168837,000
287,817m	Exponencial	3,225	541710,614	541713,839	1560825,000	1,000	31,700	1171532,000
	Gaussiano	43,310	365,181	408,491	432,085	0,894	45,056	584906,700
70%	Esférico	0,723	82851,245	82851,968	116344,700	1,000	37,500	784099,700
251,8399m	Exponencial	0,626	612867,810	612868,437	1716966,000	1,000	31,700	784394,900
	Gaussiano	47,291	952,065	999,356	766,279	0,953	48,015	118439,500
60%	Esférico	6,914	58027,263	58034,177	87782,200	1,000	37,500	672104,900
215,8628m	Exponencial	6,386	508544,272	508550,657	1528342,000	1,000	31,700	672450,000
	Gaussiano	48,455	10098,267	10146,722	2581,906	0,995	50,159	205118,300
50%	Esférico	16,260	53172,699	53188,958	91917,290	1,000	37,489	548494,000
179,8856m	Exponencial	14,778	1779402,196	1779416,974	6030053,000	1,000	31,700	549603,800
	Gaussiano	46,989	41095,350	41142,339	5112,361	0,999	50,342	171731,600
Argila Predita 1 40cm								
100%	Esférico	2,791	11,191	13,982	246,995	0,800	30,014	5073,872
359,7713m	Exponencial	2,614	15,088	17,702	517,532	0,852	27,020	6896,820
	Gaussiano	4,593	9,885	14,478	226,391	0,683	34,416	4341,199
90%	Esférico	2,896	11,474	14,370	259,484	0,798	29,941	3567,745
323,7941m	Exponencial	3,025	18,151	21,176	730,024	0,857	27,172	4721,704
	Gaussiano	4,740	10,288	15,028	241,058	0,685	34,505	2652,182
80%	Esférico	2,853	11,826	14,680	268,599	0,806	30,213	2623,940
287,817m	Exponencial	3,139	23,216	26,355	1023,235	0,881	27,925	3309,791
	Gaussiano	4,721	10,646	15,367	247,593	0,693	34,920	1620,510
70%	Esférico	3,369	25,835	29,204	698,785	0,885	33,173	1613,353
251,8399m	Exponencial	3,488	13027,004	13030,492	729653,800	1,000	31,692	1621,131
	Gaussiano	4,905	12,466	17,370	288,677	0,718	36,173	824,133
60%	Esférico	3,217	2489,888	2493,106	288,680	0,999	37,452	1597,746
215,8628m	Exponencial	3,216	15496,821	15500,038	818951,500	1,000	31,693	1598,235
	Gaussiano	5,047	15,261	20,308	339,312	0,751	37,874	951,794

50%	Esférico	3,239	6285,122	6288,361	166821,200	0,999	37,481	1754,215
179,8856m	Exponencial	3,228	31789,752	31792,980	1681535,000	1,000	31,697	1754,474
	Gaussiano	5,278	1362,978	1368,256	3668,172	0,996	50,206	593,643
Argila Predita 2 40cm								
100%	Esférico	3,722	839,782	843,504	49212,610	0,996	37,335	2119,065
359,7713m	Exponencial	3,705	8065,042	8068,748	938729,500	1,000	31,685	2119,516
	Gaussiano	4,529	8,085	12,614	379,177	0,641	32,311	1424,133
90%	Esférico	3,539	2299,693	2303,232	125543,200	0,998	37,442	1587,457
323,7941m	Exponencial	3,531	15903,380	15906,911	1729459,000	1,000	31,693	1587,777
	Gaussiano	4,644	12,247	16,891	511,779	0,725	36,547	820,053
80%	Esférico	3,471	1553,447	1556,918	83193,560	0,998	37,416	1284,423
287,817m	Exponencial	3,470	11602,083	11605,553	1240541,000	1,000	31,691	1284,854
	Gaussiano	4,673	17,288	21,961	630,579	0,787	39,677	527,071
70%	Esférico	3,514	1509,585	1513,099	82793,800	0,998	37,413	1293,392
251,8399m	Exponencial	3,472	9909,609	9913,082	1070751,000	1,000	31,689	1294,862
	Gaussiano	4,734	1572,127	1576,861	6445,618	0,997	50,249	404,883
60%	Esférico	3,798	1323,405	1327,203	83471,550	0,997	37,393	970,592
215,8628m	Exponencial	3,795	12741,036	12744,831	1602354,000	1,000	31,691	970,758
	Gaussiano	4,745	1507,416	1512,161	6347,936	0,997	50,242	391,308
50%	Esférico	4,162	783,608	787,771	62389,970	0,995	37,302	952,832
179,8856m	Exponencial	4,146	6501,839	6505,985	1023823,000	0,999	31,680	953,128
	Gaussiano	4,761	2460,364	2465,125	8229,025	0,998	50,303	549,495
Argila Predita 3 40cm								
100%	Esférico	5,187	923,365	928,552	102196,200	0,994	37,291	1068,080
359,7713m	Exponencial	5,186	2417,653	2422,839	533984,800	0,998	31,632	1068,264
	Gaussiano	0,000	6,840	0,000	0,000	1,000	0,000	3706,347
90%	Esférico	5,253	459,601	464,854	53523,530	0,989	37,076	980,437
323,7941m	Exponencial	5,250	2766,664	2771,914	641978,300	0,998	37,429	980,526
	Gaussiano	5,727	4,429	10,155	420,591	0,436	21,983	899,858
80%	Esférico	5,098	1295,959	1301,058	135542,700	0,996	37,353	678,393
287,817m	Exponencial	5,095	9710,169	9715,264	2024408,000	0,999	31,683	678,450
	Gaussiano	5,761	11,420	17,181	746,172	0,665	33,500	591,107
70%	Esférico	5,128	959,646	964,774	103749,500	0,995	37,301	802,570
251,8399m	Exponencial	5,128	12789,194	12794,322	2761060,000	1,000	31,687	802,604
	Gaussiano	5,767	926,295	932,062	7025,150	0,994	50,088	656,037
60%	Esférico	5,375	296,465	301,840	40590,360	0,982	36,832	215,460

215,8628m	Exponencial	5,374	4085,324	4090,698	1115920,000	0,999	31,658	215,474
	Gaussiano	0,765	5,735	6,500	0,000	0,882	0,000	1010,594
50%	Esférico	4,203	2,298	6,501	51,838	0,353	7,644	1019,405
179,8856m	Exponencial	5,333	3678,881	3684,214	944150,500	0,999	31,654	617,883
	Gaussiano	5,737	411,404	417,141	4378,688	0,986	49,707	531,503
Argila Predita 4 40cm								
100%	Esférico	2,143	4939,056	4941,198	218498,100	1,000	37,500	13046,700
359,7713m	Exponencial	2,076	49243,520	49245,596	4281456,000	1,000	31,700	13051,600
	Gaussiano	3,703	12277,671	12281,373	16984,180	1,000	50,385	8152,601
90%	Esférico	2,661	8642,001	8644,662	452330,900	1,000	37,488	4852,943
323,7941m	Exponencial	2,649	18528,562	18531,212	1929908,000	1,000	31,695	4853,487
	Gaussiano	4,016	4375,074	4379,090	11061,750	0,999	50,354	2637,543
80%	Esférico	2,827	1482,226	1485,052	83183,480	0,998	37,429	4835,132
287,817m	Exponencial	2,827	13539,887	13542,713	1517233,000	1,000	31,693	4835,797
	Gaussiano	4,012	5888,006	5892,018	12864,310	0,999	50,366	2834,639
70%	Esférico	3,163	2056,237	2059,400	136363,100	0,998	37,442	3020,058
251,8399m	Exponencial	3,127	8374,090	8377,217	1093425,000	1,000	31,688	3021,432
	Gaussiano	4,105	4729,250	4733,355	12033,880	0,999	50,356	1910,460
60%	Esférico	3,279	2,125	5,404	64,476	0,393	8,823	1896,269
215,8628m	Exponencial	3,992	3379,260	3383,252	807873,700	0,999	31,663	1081,396
	Gaussiano	4,500	555,550	560,050	5338,779	0,992	49,995	927,785
50%	Esférico	0,818	4,443	5,260	40,103	0,845	14,118	1947,940
179,8856m	Exponencial	4,013	5623,513	5627,526	1350965,000	0,999	31,677	1586,235
	Gaussiano	4,417	2096,404	2100,821	9385,253	0,998	50,294	1427,389
Argila Predita 5 40cm								
100%	Esférico	0,000	48689,040	48689,040	578226,500	1,000	37,500	114128,600
359,7713m	Exponencial	0,000	338714,700	338714,700	8028839,000	1,000	31,700	114135,400
	Gaussiano	37691,943	52,140	37744,083	14223,090	0,001	0,070	28949,730
90%	Esférico	0,000	5980,846	5980,846	74146,370	1,000	37,500	58546,010
323,7941m	Exponencial	0,000	140443,200	140443,200	3454405,000	1,000	31,700	58613,420
	Gaussiano	3,616	15526,596	15530,212	9503,717	1,000	50,388	8505,156
80%	Esférico	0,000	24019,970	24019,970	313335,700	1,000	37,500	43266,680
287,817m	Exponencial	0,000	861792,400	861792,400	22452313,000	1,000	31,700	43267,690
	Gaussiano	3,739	13467,500	13471,239	8966,077	1,000	50,400	8099,242
70%	Esférico	0,000	13445,690	13445,690	187830,300	1,000	37,500	23367,350
251,8399m	Exponencial	0,000	29909982,000	29909982,000	837720937,000	1,000	31,700	23374,270

	Gaussiano	4,066	13106,730	13110,796	9079,885	1,000	50,384	5082,792
60%	Esférico	1,451	32572,913	32574,364	578308,600	1,000	37,498	6583,259
215,8628m	Exponencial	1,333	41407,445	41408,778	1448341,000	1,000	31,700	6581,897
	Gaussiano	4,886	5287,725	5292,611	6350,718	0,999	50,353	1679,986
50%	Esférico	2,772	4044,352	4047,124	90961,480	0,999	37,500	2660,497
179,8856m	Exponencial	2,879	119068,001	119070,880	5443810,000	1,000	31,699	2666,312
	Gaussiano	5,191	2448,381	2453,572	4533,721	0,998	50,293	1047,371
Argila Predita 6 40cm								
100%	Esférico	0,000	100660,000	100660,000	942162,300	1,000	37,500	172583,800
359,7713m	Exponencial	0,000	271968,700	271968,700	5082618,000	1,000	31,700	172600,600
	Gaussiano	3,543	42124,778	42128,321	13315,110	1,000	50,400	39194,020
90%	Esférico	0,000	5931,516	5931,516	57907,790	1,000	37,500	90381,920
323,7941m	Exponencial	0,000	22055265,000	22055265,000	429940967,000	1,000	31,700	90380,780
	Gaussiano	4,315	19393,499	19397,813	9359,837	1,000	50,389	10772,780
80%	Esférico	0,000	89990,590	89990,590	924223,400	1,000	37,500	67245,850
287,817m	Exponencial	0,000	208440,000	208440,000	4301165,000	1,000	31,700	67331,910
	Gaussiano	4,401	17096,812	17101,212	8874,778	1,000	50,400	10183,540
70%	Esférico	0,000	19450,790	19450,790	212835,200	1,000	37,500	37891,680
251,8399m	Exponencial	0,000	101157,600	101157,600	2202965,000	1,000	31,700	37909,250
	Gaussiano	4,732	15511,122	15515,854	8621,703	1,000	50,385	7454,273
60%	Esférico	1,010	23732,985	23733,995	312161,700	1,000	37,498	8827,179
215,8628m	Exponencial	0,992	50914,927	50915,919	1335257,000	1,000	31,700	8829,534
	Gaussiano	5,770	4780,526	4786,296	5241,648	0,999	50,339	1927,090
50%	Esférico	2,650	5210,721	5213,371	84666,500	0,999	37,500	3456,847
179,8856m	Exponencial	2,600	89022,387	89024,986	2871378,000	1,000	31,699	3458,314
	Gaussiano	6,058	1240,703	1246,760	2755,302	0,995	50,155	1389,531
Argila Predita 7 40cm								
100%	Esférico	0,000	104739,600	104739,600	684861,100	1,000	37,500	289672,400
359,7713m	Exponencial	0,000	167574,800	167574,800	2188906,000	1,000	31,700	289748,400
	Gaussiano	4,791	38633,765	38638,556	10650,710	1,000	50,400	46335,930
90%	Esférico	0,000	26390,450	26390,450	178774,100	1,000	37,500	169068,000
323,7941m	Exponencial	0,000	537011,100	537011,100	7248553,000	1,000	31,700	169097,200
	Gaussiano	5,656	15321,233	15326,890	6877,563	1,000	50,400	14625,540
80%	Esférico	0,000	118803,100	118803,100	839346,400	1,000	37,500	132888,500
287,817m	Exponencial	0,000	198100,000	198100,000	2794992,000	1,000	31,700	132919,100
	Gaussiano	5,530	19692,975	19698,505	7804,575	1,000	50,400	13451,230

70%	Esférico	0,000	94525,100	94525,100	708805,900	1,000	37,500	85698,420
251,8399m	Exponencial	0,000	181396,100	181396,100	2715907,000	1,000	31,700	85716,250
	Gaussiano	5,660	21697,506	21703,166	8219,571	1,000	50,400	13295,990
60%	Esférico	0,000	7968,579	7968,579	67616,200	1,000	37,500	15732,600
215,8628m	Exponencial	0,000	203262,700	203262,700	3446050,000	1,000	31,700	15735,040
	Gaussiano	7,017	5015,138	5022,154	4271,648	0,999	50,330	2540,603
50%	Esférico	1,619	7297,427	7299,046	72117,980	1,000	37,500	5318,987
179,8856m	Exponencial	1,621	65692,131	65693,752	1296560,000	1,000	31,700	5320,671
	Gaussiano	6,991	100,647	107,638	582,361	0,935	47,127	2325,170
Argila Predita 8 40cm								
100%	Esférico	0,000	26765,930	26765,930	198578,500	1,000	37,500	218192,900
359,7713m	Exponencial	0,000	92058067,000	92058067,000	1349159305,000	1,000	31,700	218463,400
	Gaussiano	6,518	44968,643	44975,160	12722,140	1,000	50,400	64976,360
90%	Esférico	0,000	16664,920	16664,920	128615,100	1,000	37,500	100074,800
323,7941m	Exponencial	0,000	16304573,000	16304573,000	252178061,000	1,000	31,700	100095,800
	Gaussiano	7,538	17504,596	17512,133	8255,163	1,000	50,378	17098,170
80%	Esférico	0,000	36342,450	36342,450	291225,100	1,000	37,500	79231,480
287,817m	Exponencial	0,000	105739,600	105739,600	1691986,000	1,000	31,700	79258,160
	Gaussiano	7,529	20551,171	20558,700	8985,315	1,000	50,382	15869,840
70%	Esférico	0,000	21095,080	21095,080	176804,200	1,000	37,500	54073,050
251,8399m	Exponencial	0,000	188578,800	188578,800	3157070,000	1,000	31,700	54080,200
	Gaussiano	7,676	17863,222	17870,898	8426,963	1,000	50,378	14926,560
60%	Esférico	3,308	10166,770	10170,078	112556,200	1,000	37,500	8674,087
215,8628m	Exponencial	3,159	102746,698	102749,856	2247525,000	1,000	31,700	8689,681
	Gaussiano	9,090	3309,738	3318,828	4032,641	0,997	50,262	2991,964
50%	Esférico	4,986	8560,101	8565,087	112620,600	0,999	37,500	3726,084
179,8856m	Exponencial	4,837	45706,655	45711,492	1183684,000	1,000	31,700	3733,099
	Gaussiano	8,802	43,584	52,386	420,636	0,832	41,931	2917,323
Argila Predita 9 40cm								
100%	Esférico	3,619	19440,230	19443,849	136485,200	1,000	37,500	158331,700
359,7713m	Exponencial	3,616	206485,906	206489,522	2894491,000	1,000	31,700	158352,100
	Gaussiano	14,547	36779,801	36794,348	12119,780	1,000	50,380	74274,470
90%	Esférico	5,584	20018,053	20023,637	154572,700	1,000	37,500	55915,590
323,7941m	Exponencial	5,825	251272,342	251278,167	3914769,000	1,000	31,700	55975,910
	Gaussiano	15,622	4260,112	4275,734	4317,688	0,996	50,216	24111,610
80%	Esférico	6,280	35726,277	35732,557	289241,400	1,000	37,493	49657,710

287,817m	Exponencial	6,339	140286,140	140292,479	2274519,000	1,000	31,700	49671,430
	Gaussiano	15,435	9110,372	9125,807	6295,860	0,998	50,315	22071,640
70%	Esférico	6,829	30821,136	30827,964	259050,000	1,000	37,492	39594,910
251,8399m	Exponencial	6,830	104569,206	104576,037	1755209,000	1,000	31,700	39603,030
	Gaussiano	15,133	13264,991	13280,124	7437,953	0,999	50,343	19813,170
60%	Esférico	10,166	10711,438	10721,604	116820,900	0,999	37,500	8929,317
215,8628m	Exponencial	10,135	61973,140	61983,274	1346648,000	1,000	31,695	8930,668
	Gaussiano	15,096	40,856	55,952	374,301	0,730	36,803	11104,180
50%	Esférico	9,853	26,229	36,082	260,102	0,727	27,260	4666,398
179,8856m	Exponencial	9,137	48,511	57,647	802,042	0,842	26,676	4595,436
	Gaussiano	13,056	19,888	32,943	187,058	0,604	30,428	5331,524
Argila Predita 10 40cm								
100%	Esférico	6,622	20585,861	20592,483	169917,000	1,000	37,500	128054,700
359,7713m	Exponencial	6,219	123825,809	123832,028	2004570,000	1,000	31,700	128233,600
	Gaussiano	15,902	31342,519	31358,422	12136,140	0,999	50,374	68139,150
90%	Esférico	8,459	15033,388	15041,847	137854,100	0,999	37,479	39971,030
323,7941m	Exponencial	8,417	94632,581	94640,998	1729253,000	1,000	31,697	39984,050
	Gaussiano	16,960	3784,254	3801,214	4445,455	0,996	50,175	21450,640
80%	Esférico	9,085	11866,220	11875,305	114405,800	0,999	37,471	36238,380
287,817m	Exponencial	9,086	92419,558	92428,644	1779415,000	1,000	31,697	36246,280
	Gaussiano	16,863	5991,058	6007,921	5592,425	0,997	50,259	21339,300
70%	Esférico	9,390	10532,559	10541,949	104250,300	0,999	37,467	28906,980
251,8399m	Exponencial	10,013	227557,745	227567,758	4669877,000	1,000	31,699	29201,660
	Gaussiano	16,524	8972,748	8989,272	6663,128	0,998	50,307	18408,780
60%	Esférico	12,155	5772,336	5784,492	73521,530	0,998	37,421	8635,235
215,8628m	Exponencial	12,153	38437,381	38449,534	977374,200	1,000	31,690	8635,419
	Gaussiano	15,983	28,162	44,145	313,333	0,638	32,151	11247,900
50%	Esférico	10,958	20,339	31,297	206,719	0,650	24,370	5034,893
179,8856m	Exponencial	9,753	31,247	41,000	466,151	0,762	24,160	4912,310
	Gaussiano	13,735	16,677	30,412	163,931	0,548	27,640	5397,020

Legenda: HMax = Distância Máxima de Análise em porcentagem; Mod. = Modelo; Arg Med = Argila medida; Arg Pred 1 = Argila Predita 1; Arg Pred 2 = Argila Predita 2; Arg Pred 3 = Argila Predita 3; Arg Pred 4 = Argila Predita 4; Arg Pred 5 = Argila Predita 5; Arg Pred 6 = Argila Predita 6; Arg Pred 7 = Argila Predita 7; Arg Pred 8 = Argila Predita 8; Arg Pred 9 = Argila Predita 9; Arg Pred 10 = Argila Predita 10; C0 = Efeito Pepita; C1 = Contribuição; C0+C1 = Patamar; a = Alcance em metros; DE = Dependência Espacial em Porcentagem proposto por Biondi et al. (1994); IDE = Índice de Dependência Espacial em porcentagem proposto por Seidel e Oliveira (2016); SQ = Soma de Quadrados; GAUS = Modelo Teórico Gaussiano; EXP = Modelo Teórico Exponencial; ESF = Modelo Teórico Esférico. Fonte: Autor.

Tabela B.2 – Validação Cruzada

Variável	Modelo	EM	DP _{EM}	ER	S _{ER}	EA	R ² Adj	R ²
Argila Medida 20cm								
100%	Esférico	0,081	2,153	0,010	1,025	343,005	0,709	0,709
359,7713m	Exponencial	0,080	2,153	0,010	1,034	343,046	0,709	0,709
	Gaussiano	0,011	2,297	0,001	0,984	390,605	0,650	0,650
90%	Esférico	0,080	2,153	0,010	1,030	343,046	0,709	0,709
323,7941m	Exponencial	0,080	2,153	0,010	1,030	343,046	0,709	0,709
	Gaussiano	0,011	2,299	0,001	0,990	391,278	0,649	0,649
80%	Esférico	0,080	2,153	0,010	1,024	343,046	0,709	0,709
287,817m	Exponencial	0,080	2,153	0,010	1,024	343,046	0,709	0,709
	Gaussiano	0,014	2,308	0,001	0,955	394,129	0,638	0,638
70%	Esférico	0,080	2,153	0,010	1,021	343,046	0,709	0,709
251,8399m	Exponencial	0,080	2,153	0,010	1,021	343,046	0,709	0,709
	Gaussiano	0,010	2,350	0,001	0,949	408,549	0,603	0,603
60%	Esférico	0,080	2,153	0,010	1,032	343,046	0,709	0,709
215,8628m	Exponencial	0,080	2,153	0,010	1,032	343,046	0,709	0,709
	Gaussiano	-0,050	2,532	-0,004	1,009	474,586	0,498	0,498
50%	Esférico	0,080	2,153	0,011	1,050	343,046	0,709	0,709
179,8856m	Exponencial	0,080	2,153	0,011	1,050	343,046	0,709	0,709
	Gaussiano	-0,061	2,585	-0,005	1,037	494,593	0,469	0,469
Argila Predita 1 20cm								
100%	Esférico	0,003	1,332	0,001	0,877	131,380	0,139	0,139
359,7713m	Exponencial	0,003	1,332	0,001	0,877	131,373	0,139	0,139
	Gaussiano	-0,006	1,347	-0,001	0,874	134,289	0,117	0,117
90%	Esférico	0,002	1,332	0,000	0,873	131,322	0,140	0,140
323,7941m	Exponencial	0,002	1,332	0,000	0,873	131,323	0,140	0,140
	Gaussiano	-0,006	1,347	-0,001	0,870	134,192	0,118	0,118
80%	Esférico	0,002	1,332	0,000	0,867	131,236	0,141	0,141
287,817m	Exponencial	0,002	1,332	0,000	0,867	131,236	0,141	0,141
	Gaussiano	0,002	1,330	0,000	0,864	130,802	0,154	0,154
70%	Esférico	0,012	1,365	0,002	0,900	137,847	0,091	0,091
251,8399m	Exponencial	0,002	1,332	0,000	0,868	131,243	0,141	0,141
	Gaussiano	0,001	1,331	0,000	0,862	131,121	0,151	0,151
60%	Esférico	0,002	1,333	0,000	0,867	131,441	0,140	0,140

215,8628m	Exponencial	0,001	1,332	0,000	0,865	131,226	0,141	0,141
	Gaussiano	0,002	1,330	0,000	0,864	130,853	0,153	0,153
50%	Esférico	0,040	1,360	0,009	0,890	136,773	0,098	0,098
179,8856m	Exponencial	0,001	1,332	0,000	0,865	131,200	0,142	0,142
	Gaussiano	0,002	1,330	0,000	0,864	130,900	0,152	0,151
Argila Predita 2 20cm								
100%	Esférico	0,000	1,304	0,000	0,874	125,842	1,000	1,000
359,7713m	Exponencial	-0,001	1,284	0,000	0,876	122,023	0,026	0,026
	Gaussiano	-0,002	1,292	-0,001	0,879	123,515	0,007	0,007
90%	Esférico	0,000	1,304	0,000	0,874	125,842	1,000	1,000
323,7941m	Exponencial	-0,001	1,284	0,000	0,877	121,931	0,028	0,028
	Gaussiano	0,000	1,304	0,000	0,874	125,842	1,000	1,000
80%	Esférico	0,000	1,304	0,000	0,875	125,842	1,000	1,000
287,817m	Exponencial	-0,001	1,284	0,000	0,876	121,946	0,027	0,027
	Gaussiano	0,000	1,304	0,000	0,875	125,842	1,000	1,000
70%	Esférico	0,003	1,304	0,001	0,907	125,883	0,028	0,027
251,8399m	Exponencial	0,000	1,304	0,000	0,877	125,842	1,000	1,000
	Gaussiano	0,000	1,304	0,000	0,877	125,842	1,000	1,000
60%	Esférico	0,001	1,295	0,000	0,882	124,167	0,019	0,019
215,8628m	Exponencial	0,000	1,304	0,000	0,879	125,842	1,000	1,000
	Gaussiano	0,000	1,304	0,000	0,879	125,842	1,000	1,000
50%	Esférico	0,002	1,294	0,000	0,883	123,979	0,022	0,022
179,8856m	Exponencial	0,000	1,304	0,000	0,882	125,842	1,000	1,000
	Gaussiano	0,000	1,304	0,000	0,882	125,842	1,000	1,000
Argila Predita 3 20cm								
100%	Esférico	-0,007	1,350	-0,001	0,856	134,790	0,326	0,326
359,7713m	Exponencial	-0,006	1,367	-0,001	0,858	138,311	0,300	0,300
	Gaussiano	-0,007	1,353	-0,001	0,860	135,503	0,321	0,321
90%	Esférico	-0,007	1,351	-0,001	0,855	135,092	0,325	0,325
323,7941m	Exponencial	-0,006	1,367	-0,001	0,857	138,332	0,301	0,301
	Gaussiano	-0,007	1,353	-0,001	0,859	135,544	0,321	0,321
80%	Esférico	-0,007	1,346	-0,001	0,874	133,971	0,320	0,320
287,817m	Exponencial	-0,006	1,361	-0,001	0,870	137,037	0,302	0,302
	Gaussiano	-0,009	1,348	-0,002	0,881	134,546	0,312	0,312
70%	Esférico	-0,007	1,347	-0,001	0,892	134,196	0,311	0,311
251,8399m	Exponencial	-0,005	1,358	-0,001	0,885	136,490	0,302	0,302

	Gaussiano	-0,009	1,351	-0,002	0,902	134,998	0,301	0,301
60%	Esférico	-0,007	1,340	-0,001	0,879	132,941	0,329	0,329
215,8628m	Exponencial	-0,005	1,357	-0,001	0,879	136,207	0,306	0,306
	Gaussiano	-0,008	1,345	-0,002	0,878	133,887	0,322	0,322
50%	Esférico	-0,007	1,342	-0,001	0,887	133,329	0,321	0,321
179,8856m	Exponencial	-0,005	1,356	-0,001	0,877	135,976	0,309	0,309
	Gaussiano	-0,008	1,344	-0,002	0,881	133,650	0,322	0,322
Argila Predita 4 20cm								
100%	Esférico	-0,008	1,300	-0,002	0,877	125,130	0,557	0,557
359,7713m	Exponencial	-0,008	1,300	-0,002	0,877	125,126	0,557	0,557
	Gaussiano	-0,015	1,484	-0,003	0,941	163,067	0,250	0,250
90%	Esférico	-0,008	1,309	-0,001	0,867	126,834	0,545	0,545
323,7941m	Exponencial	-0,008	1,309	-0,001	0,868	126,796	0,545	0,545
	Gaussiano	-0,006	1,411	-0,001	0,891	147,413	0,364	0,364
80%	Esférico	-0,008	1,311	-0,001	0,867	127,147	0,543	0,543
287,817m	Exponencial	-0,008	1,311	-0,001	0,867	127,146	0,543	0,543
	Gaussiano	-0,015	1,481	-0,003	0,935	162,216	0,256	0,256
70%	Esférico	-0,007	1,314	-0,001	0,864	127,849	0,537	0,537
251,8399m	Exponencial	-0,007	1,314	-0,001	0,864	127,841	0,537	0,537
	Gaussiano	-0,015	1,483	-0,003	0,940	162,785	0,252	0,252
60%	Esférico	-0,006	1,337	-0,001	0,853	132,201	0,505	0,505
215,8628m	Exponencial	-0,006	1,336	-0,001	0,853	132,145	0,506	0,506
	Gaussiano	-0,015	1,478	-0,003	0,925	161,556	0,261	0,261
50%	Esférico	-0,006	1,341	-0,001	0,852	132,999	0,500	0,500
179,8856m	Exponencial	-0,006	1,341	-0,001	0,852	133,018	0,500	0,500
	Gaussiano	-0,015	1,480	-0,003	0,930	162,145	0,257	0,257
Argila Predita 5 20cm								
100%	Esférico	0,002	1,340	0,002	1,055	132,951	0,721	0,721
359,7713m	Exponencial	0,002	1,340	0,002	1,056	132,951	0,721	0,721
	Gaussiano	-0,023	1,549	-0,004	0,976	177,665	0,524	0,524
90%	Esférico	0,002	1,340	0,002	1,060	132,951	0,721	0,721
323,7941m	Exponencial	0,002	1,340	0,002	1,060	132,951	0,721	0,721
	Gaussiano	-0,008	1,471	-0,002	0,923	160,076	0,609	0,609
80%	Esférico	0,002	1,340	0,002	1,067	132,951	0,721	0,721
287,817m	Exponencial	0,002	1,340	0,002	1,067	132,951	0,721	0,721
	Gaussiano	-0,021	1,538	-0,004	0,967	175,105	0,536	0,536

70%	Esférico	0,002	1,340	0,002	1,077	132,951	0,721	0,721
251,8399m	Exponencial	0,002	1,340	0,002	1,077	132,951	0,721	0,721
	Gaussiano	-0,022	1,546	-0,004	0,973	176,890	0,528	0,528
60%	Esférico	0,001	1,342	0,001	0,959	133,329	0,731	0,731
215,8628m	Exponencial	0,001	1,342	0,001	0,960	133,328	0,731	0,731
	Gaussiano	-0,017	1,507	-0,003	0,932	167,974	0,571	0,571
50%	Esférico	0,001	1,348	0,001	0,908	134,553	0,731	0,731
179,8856m	Exponencial	0,001	1,348	0,001	0,908	134,552	0,731	0,731
	Gaussiano	-0,018	1,516	-0,004	0,941	169,994	0,560	0,560
Argila Predita 6 20cm								
100%	Esférico	0,006	1,401	0,003	1,046	145,209	0,728	0,727
359,7713m	Exponencial	0,006	1,401	0,003	1,047	145,209	0,728	0,727
	Gaussiano	-0,021	1,576	-0,004	0,960	183,832	0,566	0,566
90%	Esférico	0,006	1,401	0,003	1,051	145,209	0,728	0,727
323,7941m	Exponencial	0,006	1,401	0,003	1,054	145,209	0,728	0,727
	Gaussiano	-0,020	1,561	-0,004	0,942	180,339	0,579	0,578
80%	Esférico	0,006	1,401	0,003	1,060	145,209	0,728	0,727
287,817m	Exponencial	0,006	1,401	0,003	1,058	145,209	0,728	0,727
	Gaussiano	-0,020	1,563	-0,004	0,945	180,844	0,577	0,577
70%	Esférico	0,006	1,401	0,003	1,072	145,209	0,728	0,727
251,8399m	Exponencial	0,006	1,401	0,003	1,071	145,209	0,728	0,727
	Gaussiano	-0,020	1,566	-0,004	0,945	181,545	0,574	0,574
60%	Esférico	0,005	1,396	0,002	0,951	144,132	0,740	0,740
215,8628m	Exponencial	0,005	1,396	0,002	0,973	144,252	0,739	0,739
	Gaussiano	-0,014	1,526	-0,002	0,900	172,338	0,610	0,610
50%	Esférico	0,004	1,396	0,001	0,896	144,158	0,741	0,741
179,8856m	Exponencial	0,004	1,396	0,001	0,896	144,157	0,741	0,741
	Gaussiano	-0,014	1,526	-0,002	0,903	172,277	0,610	0,610
Argila Predita 7 20cm								
100%	Esférico	0,007	1,418	0,003	0,984	148,796	0,760	0,760
359,7713m	Exponencial	0,007	1,418	0,003	0,987	148,796	0,760	0,760
	Gaussiano	-0,013	1,575	-0,002	0,938	183,524	0,639	0,639
90%	Esférico	0,007	1,418	0,003	0,989	148,796	0,760	0,760
323,7941m	Exponencial	0,007	1,418	0,003	0,991	148,796	0,760	0,760
	Gaussiano	-0,012	1,568	-0,002	0,924	181,843	0,643	0,643
80%	Esférico	0,007	1,418	0,003	0,999	148,796	0,760	0,760

287,817m	Exponencial	0,007	1,418	0,003	0,999	148,796	0,760	0,760
	Gaussiano	-0,012	1,569	-0,002	0,926	182,070	0,643	0,643
70%	Esférico	0,007	1,418	0,003	1,012	148,796	0,760	0,760
251,8399m	Exponencial	0,007	1,418	0,003	1,009	148,796	0,760	0,760
	Gaussiano	-0,012	1,569	-0,002	0,922	182,267	0,642	0,642
60%	Esférico	0,007	1,415	0,003	0,976	148,075	0,764	0,764
215,8628m	Exponencial	0,007	1,416	0,003	1,006	148,331	0,762	0,762
	Gaussiano	-0,010	1,417	0,002	0,885	148,502	0,767	0,767
50%	Esférico	0,008	1,417	0,002	0,885	148,502	0,767	0,767
179,8856m	Exponencial	0,008	1,416	0,002	0,906	148,293	0,767	0,767
	Gaussiano	-0,007	1,539	-0,001	0,874	175,381	0,659	0,659
Argila Predita 8 20cm								
100%	Esférico	0,019	1,478	0,006	1,064	161,711	0,701	0,701
359,7713m	Exponencial	0,019	1,478	0,006	1,064	161,712	0,701	0,701
	Gaussiano	-0,007	1,569	-0,001	0,886	182,132	0,586	0,586
90%	Esférico	0,019	1,478	0,006	1,069	161,711	0,701	0,701
323,7941m	Exponencial	0,019	1,478	0,006	1,069	161,712	0,701	0,701
	Gaussiano	-0,005	1,561	-0,001	0,875	180,365	0,593	0,593
80%	Esférico	0,019	1,478	0,006	1,076	161,711	0,701	0,701
287,817m	Exponencial	0,019	1,478	0,006	1,076	161,712	0,701	0,701
	Gaussiano	-0,006	1,567	-0,001	0,883	181,628	0,588	0,588
70%	Esférico	0,019	1,474	0,006	1,055	160,751	0,704	0,704
251,8399m	Exponencial	0,018	1,472	0,005	1,039	160,272	0,706	0,706
	Gaussiano	-0,007	1,568	-0,001	0,885	181,999	0,587	0,586
60%	Esférico	0,016	1,465	0,003	0,894	158,902	0,714	0,714
215,8628m	Exponencial	0,016	1,465	0,003	0,896	158,890	0,714	0,714
	Gaussiano	-0,004	1,558	-0,001	0,857	179,532	0,596	0,596
50%	Esférico	0,015	1,468	0,003	0,857	159,468	0,712	0,712
179,8856m	Exponencial	0,015	1,468	0,003	0,862	159,380	0,713	0,713
	Gaussiano	-0,005	1,559	-0,001	0,860	179,900	0,594	0,594
Argila Predita 9 20cm								
100%	Esférico	0,015	1,566	0,005	1,134	181,475	0,607	0,607
359,7713m	Exponencial	0,015	1,566	0,005	1,133	181,475	0,607	0,607
	Gaussiano	0,017	1,627	0,003	0,895	195,960	0,565	0,565
90%	Esférico	0,015	1,558	0,005	1,091	179,739	0,612	0,612
323,7941m	Exponencial	0,015	1,559	0,005	1,095	179,879	0,611	0,611

	Gaussiano	0,017	1,627	0,003	0,888	195,982	0,565	0,565
80%	Esférico	0,015	1,549	0,004	1,032	177,554	0,617	0,617
287,817m	Exponencial	0,015	1,547	0,004	1,022	177,203	0,618	0,617
	Gaussiano	0,017	1,627	0,003	0,890	195,974	0,565	0,565
70%	Esférico	0,016	1,540	0,004	0,962	175,493	0,620	0,620
251,8399m	Exponencial	0,016	1,540	0,004	0,966	175,561	0,620	0,620
	Gaussiano	0,017	1,627	0,003	0,886	195,986	0,565	0,565
60%	Esférico	0,019	1,541	0,003	0,872	175,755	0,618	0,618
215,8628m	Exponencial	0,019	1,541	0,003	0,872	175,745	0,618	0,618
	Gaussiano	0,017	1,628	0,002	0,865	196,193	0,564	0,564
50%	Esférico	0,020	1,550	0,003	0,848	177,744	0,614	0,614
179,8856m	Exponencial	0,020	1,550	0,003	0,848	177,711	0,614	0,614
	Gaussiano	0,019	1,629	0,003	0,862	196,441	0,564	0,564
Argila Predita 10 20cm								
100%	Esférico	0,012	1,587	0,004	1,089	186,431	0,558	0,558
359,7713m	Exponencial	0,012	1,593	0,004	1,123	187,777	0,555	0,555
	Gaussiano	0,020	1,633	0,003	0,898	197,331	0,526	0,525
90%	Esférico	0,013	1,577	0,004	1,030	184,100	0,563	0,563
323,7941m	Exponencial	0,013	1,575	0,004	1,018	183,647	0,564	0,564
	Gaussiano	0,020	1,633	0,003	0,891	197,306	0,525	0,525
80%	Esférico	0,014	1,571	0,003	0,991	182,700	0,565	0,565
287,817m	Exponencial	0,014	1,571	0,003	0,988	182,615	0,566	0,565
	Gaussiano	0,020	1,633	0,003	0,892	197,304	0,526	0,525
70%	Esférico	0,015	1,565	0,003	0,942	181,343	0,567	0,567
251,8399m	Exponencial	0,015	1,566	0,003	0,943	181,368	0,567	0,567
	Gaussiano	0,020	1,633	0,003	0,887	197,291	0,525	0,525
60%	Esférico	0,018	1,569	0,003	0,875	182,251	0,565	0,565
215,8628m	Exponencial	0,018	1,569	0,003	0,878	182,169	0,565	0,565
	Gaussiano	0,019	1,633	0,003	0,867	197,340	0,524	0,524
50%	Esférico	0,019	1,573	0,003	0,854	183,069	0,562	0,561
179,8856m	Exponencial	0,019	1,573	0,003	0,855	183,042	0,562	0,562
	Gaussiano	0,024	1,641	0,003	0,869	199,206	0,523	0,523
Argila Medida 40cm								
100%	Esférico	0,064	2,540	0,007	1,099	477,520	0,504	0,504
359,7713m	Exponencial	0,064	2,541	0,007	1,101	477,679	0,503	0,503
	Gaussiano	0,000	2,554	0,000	0,984	482,695	0,487	0,487

90%	Esférico	0,065	2,541	0,007	1,101	477,791	0,503	0,503
323,7941m	Exponencial	0,070	2,546	0,008	1,116	479,506	0,501	0,501
	Gaussiano	-0,002	2,553	0,000	0,990	482,421	0,488	0,488
80%	Esférico	0,087	2,558	0,010	1,156	484,151	0,493	0,493
287,817m	Exponencial	0,100	2,568	0,012	1,186	488,109	0,487	0,487
	Gaussiano	0,005	2,559	0,000	0,977	484,638	0,483	0,483
70%	Esférico	0,124	2,587	0,016	1,238	495,418	0,475	0,475
251,8399m	Exponencial	0,125	2,588	0,016	1,240	495,735	0,475	0,475
	Gaussiano	0,009	2,567	0,001	0,964	487,628	0,471	0,471
60%	Esférico	0,074	2,548	0,008	1,128	480,556	0,499	0,499
215,8628m	Exponencial	0,077	2,551	0,009	1,136	481,434	0,498	0,498
	Gaussiano	-0,019	2,602	-0,001	0,975	501,162	0,453	0,453
50%	Esférico	0,035	2,524	0,004	1,035	471,306	0,515	0,515
179,8856m	Exponencial	0,040	2,526	0,004	1,047	472,166	0,514	0,514
	Gaussiano	-0,030	2,620	-0,002	0,990	507,957	0,441	0,441
Argila Predita 1 40cm								
100%	Esférico	-0,004	1,429	-0,001	0,978	151,058	0,332	0,332
359,7713m	Exponencial	-0,007	1,432	-0,001	0,973	151,772	0,323	0,323
	Gaussiano	-0,001	1,443	0,000	0,959	153,986	0,332	0,332
90%	Esférico	-0,004	1,428	-0,001	0,973	150,857	0,334	0,334
323,7941m	Exponencial	-0,006	1,432	-0,001	0,961	151,761	0,328	0,328
	Gaussiano	-0,001	1,442	0,000	0,952	153,840	0,335	0,335
80%	Esférico	-0,004	1,428	-0,001	0,976	150,985	0,332	0,332
287,817m	Exponencial	-0,006	1,432	-0,001	0,961	151,808	0,329	0,329
	Gaussiano	-0,001	1,442	0,000	0,954	153,819	0,336	0,336
70%	Esférico	-0,006	1,433	-0,001	0,960	151,854	0,333	0,333
251,8399m	Exponencial	-0,006	1,433	-0,001	0,956	151,921	0,333	0,333
	Gaussiano	-0,002	1,441	0,000	0,947	153,755	0,342	0,342
60%	Esférico	-0,006	1,433	-0,001	0,968	151,965	0,331	0,331
215,8628m	Exponencial	-0,006	1,433	-0,001	0,968	151,965	0,331	0,331
	Gaussiano	-0,002	1,442	0,000	0,943	153,939	0,347	0,347
50%	Esférico	-0,006	1,433	-0,001	0,967	151,963	0,331	0,331
179,8856m	Exponencial	-0,006	1,433	-0,001	0,967	151,964	0,331	0,331
	Gaussiano	-0,013	1,461	-0,003	0,954	157,990	0,286	0,286
Argila Predita 2 40cm								
100%	Esférico	-0,007	1,391	-0,002	0,946	143,231	0,153	0,152

359,7713m	Exponencial	-0,007	1,391	-0,002	0,947	143,248	0,152	0,152
	Gaussiano	-0,001	1,378	0,000	0,928	140,445	0,190	0,190
90%	Esférico	-0,008	1,392	-0,002	0,955	143,439	0,151	0,150
323,7941m	Exponencial	-0,008	1,392	-0,002	0,955	143,447	0,150	0,150
	Gaussiano	-0,001	1,381	0,000	0,927	141,176	0,186	0,186
80%	Esférico	-0,008	1,393	-0,002	0,958	143,502	0,150	0,150
287,817m	Exponencial	-0,008	1,393	-0,002	0,958	143,503	0,150	0,150
	Gaussiano	-0,002	1,383	0,000	0,928	141,591	0,181	0,181
70%	Esférico	-0,008	1,392	-0,002	0,956	143,443	0,150	0,150
251,8399m	Exponencial	-0,008	1,392	-0,002	0,958	143,485	0,150	0,150
	Gaussiano	-0,001	1,382	0,000	0,927	141,307	0,170	0,170
60%	Esférico	-0,007	1,390	-0,001	0,944	143,061	0,154	0,154
215,8628m	Exponencial	-0,007	1,390	-0,001	0,944	143,066	0,154	0,154
	Gaussiano	-0,001	1,382	0,000	0,927	141,305	0,170	0,170
50%	Esférico	-0,005	1,387	-0,001	0,929	142,437	0,160	0,160
179,8856m	Exponencial	-0,005	1,388	-0,001	0,930	142,464	0,160	0,160
	Gaussiano	-0,001	1,382	0,000	0,926	141,281	0,170	0,170
Argila Predita 3 40cm								
100%	Esférico	-0,011	1,358	-0,002	0,872	136,564	0,091	0,091
359,7713m	Exponencial	-0,011	1,358	-0,002	0,872	136,563	0,091	0,091
	Gaussiano	0,000	1,440	0,000	0,887	153,350	1,000	1,000
90%	Esférico	-0,010	1,359	-0,002	0,871	136,593	0,089	0,089
323,7941m	Exponencial	-0,010	1,359	-0,002	0,871	136,592	0,089	0,089
	Gaussiano	-0,008	1,363	-0,002	0,870	137,482	0,076	0,076
80%	Esférico	-0,011	1,358	-0,002	0,875	136,537	0,092	0,092
287,817m	Exponencial	-0,011	1,358	-0,002	0,875	136,536	0,092	0,092
	Gaussiano	-0,012	1,383	-0,002	0,883	141,443	0,034	0,034
70%	Esférico	-0,011	1,358	-0,002	0,874	136,551	0,091	0,091
251,8399m	Exponencial	-0,011	1,358	-0,002	0,874	136,551	0,091	0,091
	Gaussiano	-0,014	1,427	-0,003	0,913	150,750	-0,010	-0,010
60%	Esférico	-0,010	1,359	-0,002	0,869	136,699	0,084	0,084
215,8628m	Exponencial	-0,010	1,359	-0,002	0,869	136,697	0,084	0,084
	Gaussiano	0,000	1,440	0,000	0,899	153,350	1,000	1,000
50%	Esférico	-0,012	1,360	-0,002	0,868	136,937	0,127	0,127
179,8856m	Exponencial	-0,010	1,359	-0,002	0,869	136,651	0,086	0,086
	Gaussiano	-0,015	1,426	-0,003	0,913	150,431	-0,011	-0,011

Argila Predita 4 40cm								
100%	Esférico	-0,024	1,258	-0,006	0,945	117,100	0,295	0,295
359,7713m	Exponencial	-0,025	1,257	-0,007	0,949	116,856	0,298	0,298
	Gaussiano	-0,004	1,331	-0,001	0,950	131,073	0,184	0,184
90%	Esférico	-0,019	1,268	-0,005	0,921	118,983	0,274	0,274
323,7941m	Exponencial	-0,019	1,268	-0,005	0,921	118,946	0,274	0,274
	Gaussiano	-0,004	1,331	-0,001	0,931	131,083	0,184	0,184
80%	Esférico	-0,018	1,271	-0,004	0,915	119,576	0,267	0,267
287,817m	Exponencial	-0,018	1,271	-0,004	0,915	119,575	0,267	0,267
	Gaussiano	-0,004	1,331	-0,001	0,931	131,091	0,183	0,183
70%	Esférico	-0,015	1,277	-0,003	0,903	120,758	0,253	0,253
251,8399m	Exponencial	-0,015	1,277	-0,004	0,905	120,631	0,254	0,254
	Gaussiano	-0,004	1,331	-0,001	0,926	131,104	0,183	0,183
60%	Esférico	-0,017	1,284	-0,004	0,871	122,054	0,299	0,299
215,8628m	Exponencial	-0,008	1,302	-0,002	0,889	125,439	0,219	0,219
	Gaussiano	-0,005	1,331	-0,001	0,905	131,191	0,181	0,181
50%	Esférico	-0,031	1,263	-0,007	0,885	118,003	0,295	0,294
179,8856m	Exponencial	-0,008	1,302	-0,002	0,888	125,496	0,218	0,218
	Gaussiano	-0,004	1,331	-0,001	0,909	131,167	0,182	0,182
Argila Predita 5 40cm								
100%	Esférico	-0,014	1,366	-0,002	1,120	138,012	0,561	0,561
359,7713m	Exponencial	-0,014	1,366	-0,002	1,119	138,012	0,561	0,561
	Gaussiano	-0,011	1,423	-0,003	1,076	149,777	0,515	0,515
90%	Esférico	-0,014	1,366	-0,002	1,132	138,012	0,561	0,561
323,7941m	Exponencial	-0,014	1,366	-0,002	1,130	138,012	0,561	0,561
	Gaussiano	-0,011	1,422	-0,003	1,020	149,545	0,517	0,517
80%	Esférico	-0,014	1,366	-0,002	1,146	138,012	0,561	0,561
287,817m	Exponencial	-0,014	1,366	-0,002	1,146	138,012	0,561	0,561
	Gaussiano	-0,011	1,421	-0,003	1,011	149,511	0,517	0,517
70%	Esférico	-0,014	1,366	-0,003	1,166	138,012	0,561	0,561
251,8399m	Exponencial	-0,014	1,366	-0,003	1,167	138,012	0,561	0,561
	Gaussiano	-0,011	1,422	-0,003	0,990	149,593	0,516	0,516
60%	Esférico	-0,025	1,335	-0,006	0,987	131,830	0,585	0,585
215,8628m	Exponencial	-0,025	1,335	-0,006	0,996	131,899	0,585	0,585
	Gaussiano	-0,011	1,421	-0,002	0,945	149,480	0,518	0,518
50%	Esférico	-0,022	1,342	-0,005	0,918	133,232	0,580	0,580

179,8856m	Exponencial	-0,021	1,343	-0,004	0,914	133,467	0,579	0,579
	Gaussiano	-0,010	1,420	-0,002	0,930	149,152	0,520	0,520
Argila Predita 6 40cm								
100%	Esférico	-0,005	1,428	0,001	1,103	150,839	0,597	0,597
359,7713m	Exponencial	-0,005	1,428	0,001	1,103	150,839	0,597	0,597
	Gaussiano	-0,007	1,457	-0,002	1,050	157,110	0,584	0,584
90%	Esférico	-0,005	1,428	0,001	1,115	150,839	0,597	0,597
323,7941m	Exponencial	-0,005	1,428	0,001	1,114	150,839	0,597	0,597
	Gaussiano	-0,007	1,457	-0,002	1,000	157,004	0,585	0,585
80%	Esférico	-0,005	1,428	0,001	1,129	150,839	0,597	0,597
287,817m	Exponencial	-0,005	1,428	0,001	1,130	150,839	0,597	0,597
	Gaussiano	-0,007	1,457	-0,002	0,995	156,985	0,585	0,585
70%	Esférico	-0,005	1,428	0,001	1,147	150,839	0,597	0,597
251,8399m	Exponencial	-0,005	1,428	0,001	1,146	150,839	0,597	0,597
	Gaussiano	-0,007	1,457	-0,002	0,977	157,022	0,585	0,585
60%	Esférico	-0,018	1,391	-0,004	1,029	143,205	0,624	0,624
215,8628m	Exponencial	-0,018	1,391	-0,004	1,031	143,245	0,624	0,624
	Gaussiano	-0,007	1,456	-0,001	0,929	156,822	0,587	0,587
50%	Esférico	-0,020	1,383	-0,004	0,928	141,492	0,631	0,631
179,8856m	Exponencial	-0,020	1,383	-0,004	0,930	141,518	0,631	0,631
	Gaussiano	-0,005	1,453	-0,001	0,915	156,286	0,592	0,592
Argila Predita 7 40cm								
100%	Esférico	0,016	1,511	0,006	1,069	168,879	0,671	0,670
359,7713m	Exponencial	0,016	1,511	0,006	1,069	168,879	0,671	0,670
	Gaussiano	0,004	1,513	0,001	1,011	169,394	0,682	0,682
90%	Esférico	0,016	1,511	0,006	1,078	168,879	0,671	0,670
323,7941m	Exponencial	0,016	1,511	0,006	1,078	168,879	0,671	0,670
	Gaussiano	0,004	1,513	0,001	0,970	169,491	0,682	0,682
80%	Esférico	0,016	1,511	0,006	1,090	168,879	0,671	0,670
287,817m	Exponencial	0,016	1,511	0,006	1,090	168,879	0,671	0,670
	Gaussiano	0,004	1,513	0,001	0,976	169,447	0,682	0,682
70%	Esférico	0,016	1,511	0,006	1,106	168,879	0,671	0,670
251,8399m	Exponencial	0,016	1,511	0,006	1,106	168,879	0,671	0,670
	Gaussiano	0,004	1,513	0,001	0,970	169,423	0,682	0,682
60%	Esférico	0,016	1,511	0,007	1,141	168,879	0,671	0,670
215,8628m	Exponencial	0,016	1,511	0,007	1,141	168,879	0,671	0,670

	Gaussiano	0,005	1,514	0,001	0,919	169,635	0,682	0,682
50%	Esférico	-0,006	1,449	0,000	0,980	155,324	0,704	0,704
179,8856m	Exponencial	-0,006	1,449	0,000	0,980	155,319	0,704	0,704
	Gaussiano	0,012	1,524	0,002	0,920	171,919	0,672	0,672
Argila Predita 8 40cm								
100%	Esférico	0,008	1,552	0,004	1,130	178,316	0,594	0,594
359,7713m	Exponencial	0,008	1,552	0,004	1,127	178,316	0,594	0,594
	Gaussiano	0,011	1,579	0,002	0,978	184,589	0,570	0,570
90%	Esférico	0,008	1,552	0,004	1,141	178,316	0,594	0,594
323,7941m	Exponencial	0,008	1,552	0,004	1,142	178,316	0,594	0,594
	Gaussiano	0,011	1,579	0,002	0,943	184,600	0,570	0,570
80%	Esférico	0,008	1,552	0,004	1,152	178,316	0,594	0,594
287,817m	Exponencial	0,008	1,552	0,004	1,152	178,317	0,594	0,594
	Gaussiano	0,011	1,579	0,002	0,943	184,570	0,570	0,570
70%	Esférico	0,008	1,552	0,004	1,165	178,316	0,594	0,594
251,8399m	Exponencial	0,008	1,552	0,004	1,165	178,316	0,594	0,594
	Gaussiano	0,011	1,579	0,002	0,938	184,575	0,570	0,570
60%	Esférico	-0,014	1,502	-0,002	0,938	166,997	0,623	0,623
215,8628m	Exponencial	-0,014	1,502	-0,002	0,944	166,995	0,623	0,623
	Gaussiano	0,011	1,580	0,002	0,900	184,737	0,568	0,568
50%	Esférico	-0,011	1,503	-0,002	0,891	167,152	0,621	0,621
179,8856m	Exponencial	-0,012	1,503	-0,002	0,894	167,135	0,622	0,622
	Gaussiano	0,013	1,595	0,002	0,907	188,167	0,556	0,556
Argila Predita 9 40cm								
100%	Esférico	-0,011	1,662	-0,001	0,976	204,368	0,550	0,550
359,7713m	Exponencial	-0,011	1,662	-0,001	0,977	204,372	0,550	0,550
	Gaussiano	0,029	1,765	0,004	0,894	230,567	0,440	0,440
90%	Esférico	-0,013	1,654	-0,002	0,922	202,543	0,546	0,546
323,7941m	Exponencial	-0,013	1,654	-0,002	0,916	202,380	0,545	0,545
	Gaussiano	0,028	1,767	0,003	0,879	230,982	0,440	0,440
80%	Esférico	-0,013	1,653	-0,002	0,907	202,144	0,543	0,543
287,817m	Exponencial	-0,013	1,653	-0,001	0,906	202,137	0,543	0,543
	Gaussiano	0,029	1,766	0,004	0,881	230,799	0,440	0,440
70%	Esférico	-0,013	1,653	-0,001	0,897	202,099	0,541	0,541
251,8399m	Exponencial	-0,013	1,653	-0,001	0,897	202,100	0,541	0,541
	Gaussiano	0,029	1,766	0,004	0,885	230,708	0,440	0,440

60%	Esférico	-0,007	1,660	-0,001	0,852	203,985	0,528	0,528
215,8628m	Exponencial	-0,007	1,660	-0,001	0,852	203,961	0,528	0,528
	Gaussiano	0,012	1,773	0,002	0,882	232,700	0,438	0,438
50%	Esférico	-0,008	1,660	-0,001	0,852	203,919	0,525	0,525
179,8856m	Exponencial	-0,010	1,657	-0,001	0,853	203,063	0,531	0,531
	Gaussiano	-0,007	1,718	-0,001	0,875	218,529	0,457	0,457
Argila Predita 10 40cm								
100%	Esférico	-0,016	1,675	-0,002	0,913	207,570	0,494	0,494
359,7713m	Exponencial	-0,017	1,675	-0,002	0,921	207,548	0,496	0,496
	Gaussiano	0,029	1,792	0,004	0,888	237,646	0,378	0,378
90%	Esférico	-0,014	1,676	-0,002	0,881	207,865	0,486	0,486
323,7941m	Exponencial	-0,014	1,676	-0,002	0,882	207,851	0,486	0,486
	Gaussiano	0,027	1,793	0,003	0,874	237,819	0,378	0,378
80%	Esférico	-0,013	1,677	-0,001	0,873	208,188	0,482	0,482
287,817m	Exponencial	-0,013	1,677	-0,001	0,873	208,188	0,482	0,482
	Gaussiano	0,028	1,793	0,003	0,875	237,803	0,378	0,378
70%	Esférico	-0,013	1,678	-0,001	0,870	208,412	0,481	0,481
251,8399m	Exponencial	-0,012	1,680	-0,001	0,862	208,977	0,478	0,478
	Gaussiano	0,028	1,792	0,003	0,879	237,732	0,378	0,378
60%	Esférico	-0,007	1,693	-0,001	0,844	211,979	0,465	0,465
215,8628m	Exponencial	-0,007	1,692	-0,001	0,844	211,974	0,465	0,465
	Gaussiano	0,007	1,796	0,001	0,880	238,786	0,379	0,379
50%	Esférico	-0,008	1,687	-0,001	0,849	210,582	0,460	0,460
179,8856m	Exponencial	-0,012	1,679	-0,001	0,850	208,529	0,480	0,479
	Gaussiano	-0,010	1,730	-0,001	0,869	221,540	0,408	0,408

Legenda: HMax = Distância Máxima de Análise Mod. = Modelo; Arg Med = Argila medida; Arg Pred 1 = Argila Predita 1; Arg Pred 2 = Argila Predita 2; Arg Pred 3 = Argila Predita 3; Arg Pred 4 = Argila Predita 4; Arg Pred 5 = Argila Predita 5; Arg Pred 6 = Argila Predita 6; Arg Pred 7 = Argila Predita 7; Arg Pred 8 = Argila Predita 8; Arg Pred 9 = Argila Predita 9; Arg Pred 10 = Argila Predita 10; EM = Média do Erro; DP_{EM} = Desvio Padrão dos Erros; ER = Erro Médio Reduzido; S_{ER} = Desvio Padrão dos Erros Reduzidos; EA = Erro Absoluto; $R^2 Adj.$ = Coeficiente de Determinação Ajustado; R^2 = Coeficiente de Determinação; GAUS = Modelo Teórico Gaussiano; EXP = Modelo Teórico Exponencial; ESF = Modelo Teórico Esférico. Fonte: Autor.