

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR NORTE - RS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:
AGRICULTURA E AMBIENTE**

**EFICIÊNCIA DE MALHAS AMOSTRAIS UTILIZADAS
NA CARACTERIZAÇÃO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS
EM LATOSSOLOS MANEJADOS COM
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Maurício Roberto Cherubin

Frederico Westphalen, RS, Brasil.

2013

**EFICIÊNCIA DE MALHAS AMOSTRAIS UTILIZADAS
NA CARACTERIZAÇÃO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS
EM LATOSSOLOS MANEJADOS COM
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Maurício Roberto Cherubin

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Luis Santi

Frederico Westphalen, RS, Brasil.

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo autor.

Cherubin, Maurício Roberto

Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização de atributos químicos em Latossolos manejados com agricultura de precisão / Maurício Roberto Cherubin. – 2013.

99 p.; 30 cm

Orientador: Antônio Luis Santi

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul *campus* Frederico Westphalen, Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, RS, 2013.

1. Amostragem georreferenciada de solo 2. Malha amostral 3. Geoestatística 4 Variabilidade espacial 5 Fertilidade do solo I. Santi, Antônio Luis II. Título.

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Maurício Roberto Cherubin. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Linha Sete de Setembro s/n – BR 386, km 40. CEP 98400-000 - Frederico Westphalen, RS, Brasil.

Fone (55) 9902 1267; Endereço eletrônico: cherubin00@hotmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Educação Superior Norte - RS
Programa de Pós-Graduação em Agronomia:
Agricultura e Ambiente**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**EFICIÊNCIA DE MALHAS AMOSTRAIS UTILIZADAS NA
CARACTERIZAÇÃO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS EM LATOSSOLOS
MANEJADOS COM AGRICULTURA DE PRECISÃO**

elaborado por
Maurício Roberto Cherubin

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Antônio Luis Santi, Dr.
(Presidente/Orientador)

Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr. (UFSM)

Jackson Ernani Fiorin, Dr. (UNICRUZ)

Frederico Westphalen, 07 de janeiro de 2013.

*Aos meus pais, Antônio e Odila Cherubin,
exemplos de vida, que sempre me apoiaram e
acreditaram em minhas vitórias e ideais.*

DEDICO...

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente (PPGAAA) pela oportunidade de cursar o Mestrado, propiciando-me o acesso à Pós-Graduação pública, gratuita e de qualidade.

Ao professor Eng. Agr. Dr. Antônio Luis Santi, pela brilhante orientação, incentivos à pesquisa, confiança, inúmeras oportunidades pessoais e profissionais criadas, e o que considero mais importante, pelos belos laços de amizade que estabelecemos no decorrer do Mestrado.

Aos demais professores e coordenação do PPGAAA, pela contribuição na minha formação pessoal e profissional, e pelo empreendedorismo, audácia e trabalho que tornaram o projeto do PPGAAA em realidade.

Aos colegas da Primeira Turma de Mestrado do PPGAAA, pela amizade, companheirismo, contribuições, convivência e momentos de descontração vivenciados. Em especial, ao colega de Mestrado e grupo de pesquisa Mateus T. Eitelwein pela amizade, ideias, prestatividade e inúmeras ajudas a mim concedidas.

Aos colegas e amigos do Grupo de Pesquisa em Agricultura de Precisão (LAP Sul), Mateus T. Eitelwein, Diego R. Menegol, André L. Vian, Diego H. Simon, Júnior M. Damian, Osmar H. Pias, Juliano Berghetti, Luana Bottezini, Bianca e Diandra P. Della Flora, Mateus B. Bisognin, Ronei Gaviraghi, Danimar M. Castro, Dejalés Fioresi, Sérgio D. Bona, pela amizade, contribuições na execução da pesquisa e excelente capacidade de trabalho em grupo.

Aos Srs. Eliseu Schaedler e Carlos Eduardo da Silva Dauve, pelo fomento a pesquisa científica, apoio logístico e imprescindível colaboração execução deste estudo.

Em especial, aos meus pais, Antônio e Odila Cherubin pelo incessante incentivo à educação, compreensão, ajudas, confiança em meu potencial [...] enfim, pelos exemplos de vida que sempre nortearão meu caráter e minhas ações. Aos meus irmãos, Giovani e André e respectivas cunhadas Neila e Elizandra, pelos incentivos e confiança em minhas decisões.

A minha namorada, Tamires Patrícia Souza, pelas alegrias, confiança, compreensão e apoio incondicional, que sempre me fizeram prosseguir [...] em busca de nossos sonhos.

Enfim, a todos aqueles não citados, contribuíram diretamente e indiretamente para que eu vencesse mais esta importante etapa de minha vida.

A todos vocês, **MUITO OBRIGADO.**

“The nation that destroys its soil destroys itself.”

(Franklin Delano Roosevelt)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente
Universidade Federal de Santa Maria

EFICIÊNCIA DE MALHAS AMOSTRAIS UTILIZADAS NA CARACTERIZAÇÃO DE ATRIBUTOS QUÍMICOS EM LATOSSOLOS MANEJADOS COM AGRICULTURA DE PRECISÃO

AUTOR: MAURÍCIO ROBERTO CHERUBIN
ORIENTADOR: ANTÔNIO LUIS SANTI
Frederico Westphalen, RS 07 de janeiro de 2013.

A amostragem georreferenciada de solo utilizando malhas regulares é a principal estratégia da agricultura de precisão (AP) para reconhecer a variabilidade espacial dos atributos de solo, possibilitando manejá-los em sítio-específico. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência do uso de diferentes dimensões de malhas amostrais na caracterização da variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolos Vermelhos manejados com AP no Sul do Brasil. Para tanto, o trabalho constitui-se de três estudos. Nos estudos um e dois utilizaram-se 60 áreas (6.046,55 ha), localizadas em 23 municípios da região Norte do Rio Grande do Sul (RS). As áreas foram amostradas utilizando malhas regulares de 100 x 100 m (20 áreas); 142 x 142 m (20 áreas) e 173 x 173 m (20 áreas), sendo que 10 áreas de cada malha foram coletadas de 0,00-0,10 m e 10 áreas de 0,00-0,15 m. A variabilidade espacial dos atributos de acidez ($\text{pH}_{\text{água}}$ e saturação por bases) e bases relacionadas (Ca e Mg) (estudo um) e dos teores de P e K (estudo dois) foram analisadas por meio da estatística descritiva e geoestatística. No estudo três, utilizou-se uma área de 41,96 ha, localizada em Boa Vista das Missões – RS, onde foi realizada a coleta de solo em sete dimensões de malha amostral, 50 x 50 m, 75 x 75 m, 100 x 100 m, 125 x 125 m, 150 x 150 m, 175 x 175 m e 200 x 200 m, na profundidade de 0,00-0,10 m. Os teores de P e K foram analisados por meio da estatística descritiva e da geoestatística, e a similaridade dos mapas temáticos foi comparada pelo coeficiente de desvio relativo (CDR) e pela matriz de correlação de Pearson ($p < 0,05$). As áreas de Latossolos Vermelhos manejadas com AP no estado do RS apresentam moderada acidez e alta fertilidade, com exceção de locais que apresentam teores limitantes de P. Independente da profundidade amostrada, as dimensões das malhas amostrais utilizadas no RS, em geral, não são eficientes em captar as diferentes escalas de variabilidade dos atributos químicos do solo. À medida que aumenta a malha amostral os mapas temáticos de P (CDR: 24,0 a 36,2%) e K (CDR: 11,7 a 19,4%) mostram-se mais dissimilares aos obtidos na menor malha (50 x 50 m) considerada como referência. Desta forma, a redução da dimensão da malha amostral aumenta a acurácia das informações geradas por meio de mapas temáticos, permitindo realizar prescrições de corretivos e fertilizantes em sítio-específico com maior eficiência, e devem ser preconizadas em futuros planos de amostragem de solo adotados nas áreas de AP no Sul do Brasil.

Palavras-chaves: Amostragem georreferenciada de solo. Variabilidade espacial. Fertilidade do solo. Geoestatística. Mapas temáticos.

ABSTRACT

Master Dissertation
Graduate Program in Agronomy: Agriculture and Environment
Federal University of Santa Maria

EFFICIENCY OF SAMPLING GRIDS USED IN THE CHARACTERIZATION OF CHEMICAL ATTRIBUTES IN OXISOLS MANAGED WITH PRECISION AGRICULTURE

AUTHOR: MAURÍCIO ROBERTO CHERUBIN
ADVISOR: ANTÔNIO LUIS SANTI
Frederico Westphalen, RS, January 07th, 2013.

The georeferenced soil sampling using sampling grids is the main strategy of precision agriculture (PA) to recognize the spatial variability of soil attributes, allowing manage them in site-specific. In this context, the objective of the work was to evaluate the efficiency of using different sizes of sampling grids in the characterization of spatial variability of chemical attributes in Oxisols managed with PA in Southern Brazil. Therefore, the work consists of three studies. In studies one and two were used 60 areas (6,046.55 ha), located in 23 counties of North region of Rio Grande do Sul (RS). The areas were sampled using regular grids of 100 x 100 m (20 areas), 142 x 142 m (20 areas) and 173 x 173 m (20 areas), being that 10 areas of each grid were collected from 0.00-0.10 m and 10 areas from 0.00-0.15 m. The spatial variability of acidity attributes (pH_{water} and base saturation) and bases related (Ca and Mg) (study one) and the levels of P and K (study two) were analyzed by descriptive statistics and geostatistics. In study three, was used an area of 41.96 ha, located in Boa Vista das Missões - RS, where was made the collect of soil in seven sizes of sample grids, 50 x 50 m, 75 m x 75, 100 x 100 m, 125 m x 125, 150 x 150 m, 175 m and 200 x 175 x 200 m, at depth of 0.00-0.10 m. The levels of P and K were analyzed by descriptive statistics and geostatistics, and the similarity of thematic maps was compared by the coefficient of relative deviation (CRD) and by Pearson correlation matrix ($p < 0.05$). The areas of Oxisols managed with PA in RS, show moderate acidity and high fertility, with the exception of subareas that presents limiting P levels. Independently of the depth sampled, the grid sample sizes used in RS state, in general, are not efficient in capturing the different scales of variability in soil chemical properties. According as increase the sample grid the thematic maps of P (CRD: 24.0 to 36.2%) and K (CRD: 11.7 to 19.4%) show more dissimilar to those obtained in smaller grid (50 x 50 m) considered as reference. Thus, the reduction of sampling grid sizes increases the accuracy of the information generated through thematic maps, allowing to do prescriptions of lime and fertilizers on site-specific with greater efficiency, and should be recommended in future sampling plans of soil adopted in PA areas in Southern Brazil.

Keywords: Georeferenced soil sampling. Spatial variability. Soil fertility. Geostatistics. Thematic maps.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

Tabela 1 - Dimensão da malha amostral, profundidade de amostragem, localização e dimensão das áreas de Latossolos Vermelho estudadas no Rio Grande do Sul, Brasil.....	21
Tabela 2 - Estatística descritiva dos valores de $\text{pH}_{\text{água}}$ em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.	24
Tabela 3 - Estatística descritiva dos valores de saturação por bases (V%) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.	25
Tabela 4 - Estatística descritiva dos valores de cálcio (Ca , $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.	27
Tabela 5 - Estatística descritiva dos valores de magnésio (Mg , $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.	28
Tabela 6 - Análise geoestatística dos valores de $\text{pH}_{\text{água}}$ em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.	30
Tabela 7 - Análise geoestatística dos valores de saturação por bases (V%) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.	31
Tabela 8 - Análise geoestatística dos valores de cálcio (Ca , $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.	32
Tabela 9 - Análise geoestatística dos valores de magnésio (Mg , $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.	33

ARTIGO II

Tabela 1 - Estatística descritiva dos teores de fósforo (P, mg dm ⁻³) em áreas de Latossolo Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.....	49
Tabela 2 - Estatística descritiva dos teores de potássio (K, mg dm ⁻³) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.....	50
Tabela 3 - Análise geoestatística dos valores de fósforo (P, mg dm ⁻³) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.....	52
Tabela 4 - Análise geoestatística dos valores de potássio (K, mg dm ⁻³) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.....	53

ARTIGO III

Tabela 1 - Histórico de cultivos e do manejo de correções e adubações na área estudada. ...	69
Tabela 2 - Estatística descritiva dos valores de fósforo (mg dm ⁻³) e potássio (mg dm ⁻³) obtidos utilizando diferentes dimensões de malhas amostrais em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão.....	73
Tabela 3 - Parâmetros geoestatísticos dos valores de fósforo (mg dm ⁻³) e potássio (mg dm ⁻³) obtidos utilizando diferentes dimensões de malhas amostrais em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão.....	75
Tabela 4 - Coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre os mapas dos teores de fósforo e potássio obtidos nas diferentes dimensões de malha amostral em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão.	83

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO II

Figura 1 – Municípios onde se localizam as 60 áreas experimentais de Latossolo Vermelho manejadas com agricultura de precisão. Rio Grande do Sul, Brasil..... 45

ARTIGO III

Figura 1 - Detalhe da localização da área de estudo, Boa Vista das Missões – RS, Brasil.... 68

Figura 2 - Área experimental com as malhas amostrais e os pontos georreferenciados sobrepostos, em que: A) malha 50 x 50 m (164 pontos); B) malha 75 x 75 m (74 pontos); C) malha 100 x 100 m (38 pontos); D) malha 125 x 125 m (26 pontos); E) malha 150 x 150 m (16 pontos); F) malha 175 x 175 m (14 pontos); G) malha 200 x 200 m (9 pontos)..... 70

Figura 3 - Espacialização dos valores de fósforo (mg dm^{-3}) obtidos utilizando diferentes dimensões de malhas amostrais, em que: A) 50 x 50 m; B) 75 x 75 m; C) 100 x 100 m; D) 125 x 125 m; E) 150 x 150 m; F) malha 175 x 175 m; G) 200 x 200 m, em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão..... 78

Figura 4 - Espacialização dos valores de potássio (mg dm^{-3}) obtidos utilizando diferentes dimensões de malhas amostrais, em que: A) 50 x 50 m; B) 75 x 75 m; C) 100 x 100 m; D) 125 x 125 m; E) 150 x 150 m; F) malha 175 x 175 m; G) 200 x 200 m, em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão..... 79

Figura 5 - Desvios absolutos dos valores de fósforo (mg dm^{-3}) obtidos na malha 50 x 50 m, em relação aos valores obtidos nas malhas 75 x 75 m (A), 100 x 100 m (B), 125 x 125 m (C), 150 x 150 m (D), 175 x 175 m (E), 200 x 200 m (F), em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão. 80

Figura 6 - Desvios absolutos dos valores de potássio (mg dm^{-3}) obtidos na malha 50 x 50 m, em relação aos valores obtidos nas malhas 75 x 75 m (A), 100 x 100 m (B), 125 x 125 m (C), 150 x 150 m (D), 175 x 175 m (E), 200 x 200 m (F), em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão. 81

Figura 7 - Coeficientes de desvio relativo (CDR,%) entre os mapas dos teores de fósforo e potássio obtidos nas diferentes dimensões de malha amostral em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão..... 82

LISTA DE APÊNDICES

ARTIGO II

Apêndice A - Valores mínimos, médios e máximos, e coeficiente de variação (CV%) dos teores de argila e valores de capacidade de troca de cátions potencial (CTC_{pH7}) em áreas de Latossolos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.63

ARTIGO III

Apêndice A - Estatística descritiva dos teores de argila (%) e valores de capacidade de troca de cátions potencial (CTC_{pH7} , $cmolc\ dm^{-3}$) obtidos utilizando diferentes dimensões de malhas amostrais em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão.93

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 ARTIGO I	17
MALHAS AMOSTRAIS E A VARIABILIDADE ESPACIAL EM LATOSSOLOS NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL. I - ESTUDO EXPLORATÓRIO DOS ATRIBUTOS DE ACIDEZ E BASES RELACIONADAS	17
2.1 Resumo	17
2.2 Abstract.....	17
2.3 Introdução.....	18
2.4 Material e Métodos	20
2.5 Resultados e Discussão.....	23
2.6 Conclusões.....	35
2.7 Agradecimentos	36
2.8 Referências Bibliográficas.....	36
3 ARTIGO II.....	42
MALHAS AMOSTRAIS E A VARIABILIDADE ESPACIAL EM LATOSSOLOS NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL. II - ESTUDO EXPLORATÓRIO DOS TEORES DE FÓSFORO E POTÁSSIO	42
3.1 Resumo	42
3.2 Abstract.....	42
3.3 Introdução.....	43
3.4 Material e Métodos	44
3.5 Resultados e Discussão.....	47
3.6 Conclusões.....	55
3.7 Agradecimentos	56
3.8 Referências Bibliográficas.....	56
3.9 Apêndice.....	63

4 ARTIGO III	64
DIMENSÃO DE MALHA AMOSTRAL PARA PREDIÇÃO DOS TEORES DE FÓSFORO E POTÁSSIO EM ÁREA DE LATOSSOLO VERMELHO MANEJADA COM AGRICULTURA DE PRECISÃO	64
4.1 Resumo	64
4.2 Abstract.....	64
4.3 Introdução.....	65
4.4 Material e Métodos.....	67
4.5 Resultados e Discussão.....	72
4.6 Conclusões.....	84
4.7 Agradecimentos.....	85
4.8 Referências Bibliográficas.....	85
4.9 Apêndice.....	93
5 DISCUSSÃO	94
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira vem passando por um intenso processo de modernização e especialização dos sistemas produtivos, e por consequência, tornando-se cada vez mais competitiva economicamente em escala global. Nesse sentido, verifica-se a necessidade de sistemas agrícolas mais produtivos e mais eficientes na utilização dos recursos naturais, capazes de atender as atuais e futuras demandas mundiais por alimentos e energias renováveis (ALEXANDRATOS e BRUINSMA, 2012; NAÇÕES UNIDAS, 2012).

Diante deste novo cenário agrícola, a agricultura de precisão (AP) tem se tornado um importante “agente” destas transformações, aliando os conhecimentos técnicos e as inovações tecnológicas ao gerenciamento e racionalização da utilização dos recursos de produção. Dentre os inúmeros conceitos aplicáveis a AP, pode-se defini-la como um recente conceito de gestão do sistema solo-planta-atmosfera, baseada nos princípios da variabilidade espacial e gestão de informações, que engloba considerações dos fatores de produção e da produtividade das culturas (MONTANARI et al., 2012).

A inserção da AP no Brasil ocorreu no final da década de 90, início dos anos 2000, a partir de iniciativas de Universidades e Órgãos de Pesquisa nas Regiões Sudeste e Sul (AMADO e SANTI, 2011). No entanto, foi nos últimos anos, que a AP tem se popularizado entre os produtores rurais e se consolidado como uma importante estratégia de manejo e gerenciamento dos fatores de produção e das culturas. Somente no estado do Rio Grande do Sul (RS), estima-se que aproximadamente dois milhões de hectares (ha) são manejados com alguma ferramenta de AP (SANTI et al., 2009), intervindo, especialmente, no reconhecimento e manejo da variabilidade da fertilidade do solo.

O principal pressuposto da AP é transpor os “paradigmas” que cercam o manejo do solo realizado na agricultura tradicional, baseando as intervenções pela “média”, e permitir a realização do manejo diferenciado nas lavouras, considerando a variabilidade espacial dos atributos e adequando as intervenções em sítio-específico de acordo com necessidades das culturas. Entretanto, a variabilidade espaço-temporal dos atributos do solo, resultante da ação dos fatores de formação do solo e intervenções antrópicas, variam em diferentes escalas espaciais e temporais (TRANGMAR et al., 1985; CAMBARDELLA et al., 1994; MALLARINO e WITTRY, 2004; PATZOLD et al., 2008), carecendo de estratégias de

amostragens de solo que contemplem essa complexa variabilidade natural e/ou induzida às lavouras.

Nesse sentido, o principal método de amostragem de solo que vem sendo recomendado e utilizado em larga escala a nível nacional e mundial, é o sistemático, por meio de malhas regulares (ROEL e TERRA, 2006; KERRY et al., 2010; WEBSTER e LARK, 2012). A forma mais comum das malhas é a quadricular, devido à praticidade e facilidade de orientação nas áreas para encontrar os pontos amostrais georreferenciados (ROEL e TERRA, 2006; WEBSTER e LARK, 2012), quando comparadas a outras formas de malha, como a triangular, retangular ou hexagonal.

Entretanto, mesmo sendo o método de amostragem de solo mais antigo e popularizado, considerado tradicional na AP, ainda persistem questionamentos quanto à dimensão ideal da malha amostral a ser utilizada nos planos de amostragens. Diversos trabalhos reportados na literatura internacional revelam a necessidade de utilizar malhas amostrais cuja densidade amostral seja igual ou superior a uma amostra ha^{-1} . No entanto, essa densidade amostral apontada é dependente da escala da variabilidade dos atributos no solo, podendo variar de acordo com a área e atributo avaliado (CHANG et al., 1999; KERRY et al., 2010; MONTANARI et al., 2012).

Nas condições da região Sul do Brasil, as recomendações oficiais da Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (COMISSÃO..., 2004), apresentam uma abordagem pouco aprofundada sobre a metodologia de coleta de solo em áreas de AP, em que prevê a necessidade de um número de amostras de solo muito maior do que na amostragem tradicional, porém, sem definições da dimensão da malha amostral e formas de representação do ponto amostral. Desta forma, essa falta de padronização metodológica gera precedentes para que as intervenções que vêm sendo realizadas nas áreas de AP brasileiras sejam baseadas predominantemente em aspectos práticos e econômicos, que por vezes, não caracterizam eficientemente o solo amostrado, limitando o uso da geoestatística para modelar e predizer os valores em locais não amostrados.

No Brasil, as malhas amostrais que têm sido utilizadas comercialmente variam de 100 a 225 m, de acordo com a precisão desejada, o tamanho da área e os custos de amostragem e de análise do solo (COELHO, 2003; NANNI et al., 2011). Mais especificamente, na região Sul, em partes, devido à estrutura fundiária, as malhas amostrais são um pouco menores, variando de 100 a 173 m. Entretanto, essas dimensões de malhas utilizadas no Brasil, basicamente foram “importadas” da AP praticada nos Estados Unidos, mesmo sendo locais,

que apresentam diferentes condições de solos, clima, relevos, estrutura fundiária, dentre outros.

As principais implicações, em utilizar uma malha amostral que seja eficiente na representação da variabilidade espacial dos atributos do solo, de modo que, evite ou minimize os erros de amostragem, estão relacionadas ao manejo correto de corretivos e fertilizantes. Ao proceder intervenções baseadas em mapas de condição que não refletem as disponibilidades reais dos nutrientes no solo, é possível que as doses aplicadas sejam subestimadas e/ou superestimadas, acarretando assim, em menor eficiência técnica e econômica do uso dos insumos, aumentando custos de produção, limitando a expressão do potencial produtivo das culturas e ampliando os riscos de contaminação ambiental.

Portanto, estudos visando verificar a influência das dimensões das malhas amostrais que estão sendo utilizadas em nível de campo na predição dos atributos químicos do solo manejados em sítio-específico nas condições do Sul do Brasil, se fazem necessários. Nesse contexto, o objetivo geral do trabalho foi avaliar a eficiência do uso de diferentes dimensões de malhas amostrais utilizadas para caracterizar a variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolos Vermelhos manejados com AP na região Sul do Brasil.

2 ARTIGO I

MALHAS AMOSTRAIS E A VARIABILIDADE ESPACIAL EM LATOSSOLOS NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL. I - ESTUDO EXPLORATÓRIO DOS ATRIBUTOS DE ACIDEZ E BASES RELACIONADAS

2.1 Resumo

O conhecimento da variabilidade espacial é um importante fator a ser considerado no planejamento de um programa de amostragem de solo e manejo da cultura na agricultura de precisão (AP). Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência da dimensão das malhas amostrais utilizadas no Rio Grande do Sul (RS) na caracterização da variabilidade espacial dos atributos de acidez e bases relacionadas em Latossolos Vermelhos manejados com AP. O estudo foi conduzido em 60 áreas agrícolas localizadas na região Norte do RS, que apresentam solo classificado como Latossolo Vermelho e são manejadas com ferramentas de AP. As áreas foram amostradas utilizando malhas regulares de 100 x 100 m (20 áreas), 142 x 142 m (20 áreas) e 173 x 173 m (20 áreas), sendo que 10 áreas de cada malha foram coletadas de 0,00-0,10 m e 10 áreas de 0,00-0,15 m. Os valores de $\text{pH}_{\text{água}}$, V, Mg e Ca foram submetidos a análise estatística exploratória e a análise geoestatística por meio de semivariogramas. As áreas apresentaram elevados teores de Ca e Mg, e locais com moderada acidez do solo. Considerando procedimentos geoestatísticos, as malhas amostrais utilizadas nas áreas de Latossolos Vermelhos manejados com AP no RS, não são eficientes para captar as diferentes escalas da variabilidade espacial dos atributos de acidez e bases relacionadas, podendo comprometer a acurácia das prescrições de corretivos em sítio-específico.

Palavras-chave: agricultura de precisão, amostragem de solo; estatística exploratória, geoestatística.

2.2 Abstract

The knowledge of spatial variability is an important factor to be considered in planning a program of soil sampling and crop management in precision agriculture (PA). In this context, the objective of the work was to evaluate the influence of size of sampling grids used in Rio

Grande do Sul (RS) in the characterization of spatial variability of attributes acidity and bases related in Oxisols managed with PA. The study was conducted in 60 agricultural areas located in North region of RS, with a presenting soil classified as Oxisols and are managed with PA tools. The areas were sampled using regular grids of 100 x 100 m (20 areas), 142 x 142 m (20 areas) and 173 x 173 m (20 areas), being that 10 areas of each grid were collected from 0.00-0.10 m and 10 areas from 0.00-0.15 m. The values of pH_{water} , V, Ca and Mg were subjected to exploratory statistical analysis and geostatistical analysis through semivariograms. The areas showed elevated levels of Ca and Mg, and subareas with moderate acidity. Considering geostatistical procedures, the sampling grids used in the areas of Oxisols managed with PA in RS, are not efficient to capture the different scales of spatial variability of the attributes of acidity and base related, which can compromise the accuracy of the site-specific corrective prescriptions.

Keywords: precision agriculture, soil sampling, exploratory statistics, geostatistics.

2.3 Introdução

Os Latossolos encontram-se amplamente distribuídos por praticamente todas as regiões do Brasil, sendo a classe taxonômica predominante, ocupando 31,61% da superfície do território nacional (2,69 milhões de km^2) (ANJOS et al., 2012). No Rio Grande do Sul (RS) os Latossolos ocorrem basicamente na metade norte, uma região que está localizada na província geomorfológica do Planalto, formada por uma sucessão de derrames vulcânicos com resfriamento na superfície da crosta terrestre, predominando a formação de mineral do tipo basalto (STRECK et al., 2008).

São solos altamente intemperizados, muito profundos, bem drenados, fortemente ácidos e apresentam alta homogeneidade no perfil (SANTOS et al., 2006; MONTANARI et al., 2008; STRECK et al., 2008; ANJOS et al., 2012). Entretanto, apesar de serem solos considerados como homogêneos estes podem compreender variações de suas características tanto em curtas como em longas distâncias.

A variabilidade do solo é resultante da interação de complexos processos pedogenéticos comandados pelos fatores de sua formação, tais como: clima, topografia, material de origem e vegetação, e intensificada pelas práticas antrópicas de uso e manejo do solo (TRANGMAR et al., 1985; MALLARINO e WITTRY, 2004; CANTARUTTI et al., 2007; SIQUEIRA et al., 2010). Dessa forma, solos de mesma classe taxonômica, considerados pedologicamente similares (homogêneos) podem apresentar diferenças na

variabilidade de seus atributos quando submetidos a diferentes práticas de manejo, e solos de classes diferentes, quando submetidos ao mesmo manejo, podem apresentar atributos com variabilidade semelhantes (CORÁ et al., 2004; CAVALCANTE et al., 2007). Diante disso, a compreensão da variabilidade espacial do solo é um fator importante que deve ser considerado no planejamento de um programa de amostragem de solo e manejo da cultura (COELHO, 2003; MALLARINO e WITTRY, 2004; SOUZA et al., 2004; CANTARUTTI et al., 2007; MONTANARI et al., 2008; KERRY et al., 2010; NANNI et al., 2011; MONTANARI et al., 2012).

Com o advento da adoção da agricultura de precisão (AP) no Brasil, e em especial na região Sul, onde somente no RS se estima que aproximadamente dois milhões de hectares sejam manejadas com alguma ferramenta de AP (SANTI et al., 2009), o conhecimento da variabilidade espacial do solo tornou-se passível de ser obtido, a partir da amostragem sistemática por meio de malhas regulares. Entretanto, embora essa forma de amostragem já esteja consolidada e sendo recomendada oficialmente (COMISSÃO..., 2004), ainda persistem dúvidas quanto a dimensão ideal da malha amostral para captar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e prescrever a necessidade de corretivos e fertilizantes em sítio-específico de modo acurado.

A influência de diferentes dimensões de malhas amostrais, utilizadas na coleta de solo, sobre a acurácia das informações geradas é amplamente discutida na literatura internacional. Os estudos envolvem o uso dos princípios e ferramentas da geoestatística na orientação de amostragens de solo (MCBRATNEY et al., 1981; MCBRATNEY e WEBSTER, 1983; HAN et al., 1992; WEBSTER e OLIVER, 1992; MCBRATNEY e PRINGLE, 1999; KERRY e OLIVER, 2008; KERRY et al., 2010; WEBSTER e LARK, 2012), a influência da dimensão da malha amostral na qualidade da interpolação dos dados (KRAVCHENKO, 2003; FRANZEN, 2011), na reprodutibilidade da variabilidade espacial (CHANG et al., 1999; SHI et al., 2000) e na caracterização e manejo dos nutrientes em sítios-específicos (FRANZEN e PECK, 1995; MALLARINO e WITTRY, 2004). Entretanto, existem poucos estudos para as condições de solos brasileiros (NANNI et al., 2011; MONTANARI et al., 2012) e ainda inexistem para as condições sul brasileiras.

Atualmente, as malhas amostrais que estão sendo comumente adotadas nas lavouras brasileiras apresentam dimensões variando de 100 a 225 m (quadrículas de um a cinco ha) (COELHO 2003; NANNI et al., 2011). Na região Sul as amostras são coletadas em distâncias um pouco menores, de 100 a 175 m (quadrículas de um a três ha). No entanto, as malhas que estão sendo utilizadas alicerçam-se basicamente em razões de ordem econômicas e práticas,

por vezes, negligenciando os princípios geoestatísticos de dependência espacial (MATERON, 1963; GOOVAERTS, 1999; VIEIRA, 2000; WEBSTER e OLIVER, 2007).

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência da dimensão das malhas amostrais utilizadas no RS na variabilidade espacial dos atributos de acidez e bases relacionadas em Latossolos Vermelhos manejados com AP.

2.4 Material e Métodos

O estudo foi conduzido em 60 áreas agrícolas localizadas na Região Norte do estado do RS, Brasil, abrangendo 6.046,55 ha distribuídos em 23 municípios. A região estudada está localizada na província geomorfológica do Planalto, e se estende pelas regiões fisiográficas do Planalto Médio, Alto Uruguai e Missões. O relevo da região é suave ondulado, e o solo predominante é classificado como Latossolo Vermelho, naturalmente com altos teores de alumínio e ferro, associados à baixa saturação por bases (aluminoférrico, distroférrico ou distrófico) e textura argilosa (SANTOS et al., 2006; STRECK et al. 2008).

As amostragens georreferenciadas do solo nas áreas estudadas foram realizadas entre os anos de 2008 a 2011, seguindo diferentes estratégias metodológicas quanto a dimensão de malha amostral e profundidade de amostragem. Todas as áreas utilizadas foram amostradas pela primeira vez na forma georreferenciada de maneira que não tivessem efeitos de aplicações em taxa variada de corretivos e fertilizantes. Na tabela 1, é apresentada a relação das áreas, com as devidas estratégias de amostragem, localização e dimensão total.

No que tange a dimensão da malha amostral, foram estudadas as três dimensões mais utilizadas em nível de campo nas áreas de AP do RS, sendo essas: 100 x 100 m (uma amostra a cada um ha); 142 x 142 m (uma amostra a cada dois ha); e 173 x 173 m (uma amostra a cada três ha). Assim, para cada malha foram estudadas 20 áreas, sendo que, 10 áreas foram coletadas na profundidade 0,00-0,10m, profundidade recomendada pela Comissão... (2004) para áreas agrícolas com sistema plantio direto consolidado, e as outras 10 áreas foram coletadas na profundidade 0,00-0,15m, profundidade adaptada da recomendação da Comissão... (2004), que vem sendo amplamente utilizada pelos produtores rurais e prestadores de serviço nas áreas de AP do estado do RS. Desta forma, foram coletadas e estudadas 3.539 amostras de solo.

Tabela 1 - Dimensão da malha amostral, profundidade de amostragem, localização e dimensão das áreas de Latossolos Vermelho estudadas no Rio Grande do Sul, Brasil.

Área	Malha Amostral (m)	Profundidade Amostrada (m)	Município/RS	Coordenadas Geográficas		Área (ha)
				Latitude	Longitude	
1	100 x 100	0,00-0,10	Carazinho	28°15'24"S	52°40'07"O	81,93
2	100 x 100	0,00-0,10	Espumoso	28°42'48"S	52°52'43"O	28,68
3	100 x 100	0,00-0,10	Ibiçá	28°07'86"S	51°76'30"O	35,18
4	100 x 100	0,00-0,10	Espumoso	28°44'03"S	52°55'26"O	40,00
5	100 x 100	0,00-0,10	Espumoso	28°42'36"S	52°52'22"O	48,77
6	100 x 100	0,00-0,10	Palmeira de Missões	27°49'45"S	53°24'08"O	57,52
7	100 x 100	0,00-0,10	Estrela Velha	29°12'44"S	53°10'46"O	65,00
8	100 x 100	0,00-0,10	Alto Alegre	28°47'42"S	52°57'44"O	47,00
9	100 x 100	0,00-0,10	Tupanciretã	29°04'60"S	53°41'15"O	47,14
10	100 x 100	0,00-0,10	São Luis Gonzaga	28°48'01"S	48°76'90"O	46,69
<i>Subtotal</i>						497,91
1	142 x 142	0,00-0,10	Carazinho	28°20'60"S	52°62'52"O	68,09
2	142 x 142	0,00-0,10	Carazinho	28°25'01"S	52°64'39"O	118,08
3	142 x 142	0,00-0,10	Carazinho	28°25'78"S	52°67'69"O	73,31
4	142 x 142	0,00-0,10	Carazinho	28°23'13"S	52°66'77"O	74,44
5	142 x 142	0,00-0,10	Carazinho	28°24'00"S	52°66'74"O	88,06
6	142 x 142	0,00-0,10	Santo Antonio do Planalto	28°27'72"S	52°66'57"O	113,78
7	142 x 142	0,00-0,10	Santo Antonio do Planalto	28°28'40"S	52°65'49"O	89,92
8	142 x 142	0,00-0,10	Carazinho	28°25'84"S	52°71'05"O	99,14
9	142 x 142	0,00-0,10	Carazinho	28°23'87"S	52°67'78"O	124,21
10	142 x 142	0,00-0,10	Não-Me-Toque	28°40'71"S	52°90'16"O	134,33
<i>Subtotal</i>						983,36
1	173 x 173	0,00-0,10	Fortaleza dos Valos	28°99'30"S	53°30'85"O	103,00
2	173 x 173	0,00-0,10	Tupanciretã	29°07'85"S	53°94'33"O	95,51
3	173 x 173	0,00-0,10	Nova Ramada	28°12'64"S	53°76'32"O	152,65
4	173 x 173	0,00-0,10	Nova Ramada	28°12'00"S	53°77'09"O	98,49
5	173 x 173	0,00-0,10	Nova Ramada	28°11'11"S	53°75'96"O	80,89
6	173 x 173	0,00-0,10	Palmeira de Missões	27°88'21"S	53°41'97"O	59,40
7	173 x 173	0,00-0,10	Cruz Alta	28°59'19"S	53°61'43"O	72,79
8	173 x 173	0,00-0,10	Cruz Alta	28°58'65"S	53°60'54"O	93,33
9	173 x 173	0,00-0,10	Cruz Alta	28°75'41"S	53°58'99"O	118,92
10	173 x 173	0,00-0,10	Nova Ramada	28°13'43"S	53°76'80"O	103,57
<i>Subtotal</i>						978,55
Total						2.459,82
1	100 x 100	0,00-0,15	Santo Augusto	28°01'20"S	53°34'47"O	106,32
2	100 x 100	0,00-0,15	Condor	28°03'01"S	53°33'57"O	95,00
3	100 x 100	0,00-0,15	Palmeira de Missões	28°02'10"S	53°34'24"O	110,30
4	100 x 100	0,00-0,15	Santo Augusto	28°01'45"S	53°35'10"O	166,67
5	100 x 100	0,00-0,15	Cruz Alta	28°33'15"S	53°37'27"O	78,87
6	100 x 100	0,00-0,15	Seberi	27°36'48"S	53°21'32"O	133,43
7	100 x 100	0,00-0,15	Seberi	27°59'32"S	53°34'09"O	118,16
8	100 x 100	0,00-0,15	Seberi	27°60'29"S	53°38'23"O	72,60
9	100 x 100	0,00-0,15	Erval Seco	27°59'93"S	53°40'74"O	118,66
10	100 x 100	0,00-0,15	Seberi	27°60'61"S	53°38'82"O	56,34
<i>Subtotal</i>						1.056,35
1	142 x 142	0,00-0,15	Coronel Bicaco	27°84'13"S	53°58'06"O	63,89
2	142 x 142	0,00-0,15	Coronel Bicaco	27°83'01"S	53°59'51"O	63,70
3	142 x 142	0,00-0,15	Santo Augusto	27°96'24"S	53°77'50"O	125,55
4	142 x 142	0,00-0,15	Santo Augusto	27°95'82"S	53°78'66"O	110,16
5	142 x 142	0,00-0,15	Coronel Bicaco	27°72'47"S	53°58'35"O	61,35
6	142 x 142	0,00-0,15	Coronel Bicaco	27°88'45"S	53°56'83"O	70,23
7	142 x 142	0,00-0,15	Palmeira de Missões	27°91'84"S	53°35'77"O	136,81
8	142 x 142	0,00-0,15	Condor	28°22'36"S	53°33'79"O	281,53
9	142 x 142	0,00-0,15	Condor	28°23'31"S	53°35'33"O	101,84
10	142 x 142	0,00-0,15	Condor	28°21'19"S	53°35'66"O	75,39
<i>Subtotal</i>						1.090,45
1	173 x 173	0,00-0,15	Palmeira de Missões	27°98'83"S	53°51'37"O	132,29
2	173 x 173	0,00-0,15	Condor	28°20'68"S	53°37'19"O	158,79
3	173 x 173	0,00-0,15	Garruchos	28°26'30"S	55°36'84"O	65,18
4	173 x 173	0,00-0,15	Boa Vista das Missões	27°71'46"S	53°34'66"O	217,58
5	173 x 173	0,00-0,15	Boa Vista das Missões	27°71'92"S	53°33'58"O	117,17
6	173 x 173	0,00-0,15	Panambi	28°25'44"S	53°37'15"O	206,02
7	173 x 173	0,00-0,15	Palmeira de Missões	27°97'07"S	53°46'22"O	116,75
8	173 x 173	0,00-0,15	Condor	28°04'53"S	53°58'08"O	123,76
9	173 x 173	0,00-0,15	Santa Bárbara do Sul	28°26'21"S	53°33'01"O	217,19
10	173 x 173	0,00-0,15	Boa Vista do Cadeado	28°60'31"S	53°91'01"O	85,20
<i>Subtotal</i>						1.439,93
Total						3.586,73
Total Geral						6.046,55

As amostras de solo foram coletadas com uso de trado de rosca acoplado em um quadriciclo, em ambas as profundidades. Posteriormente, foram encaminhadas para análises nos laboratórios de análises de solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e da Cooperativa Central Gaúcha Ltda (CCGL TEC/FUNDACEP). As amostras foram analisadas conforme metodologias descritas por Tedesco et al. (1995) e recomendadas pela Comissão... (2004). Para o presente estudo, foram avaliados os atributos de acidez, $\text{pH}_{\text{água}}$ e saturação por bases (V) e os cátions básicos relacionados, cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

Os dados foram submetidos à análise exploratória (estatística descritiva), objetivando verificar a posição e dispersão dos dados, com o auxílio do programa computacional *Statistical Analysis System – SAS 8.0* (SAS INSTITUTE, 1999). Os parâmetros estatísticos determinados foram: mínimo, média, máximo, desvio padrão e coeficientes de variação (CV%), de precisão (CP%), de assimetria (Cs) e de curtose (Ck). Com base nos valores de CV(%) obtidos, a dispersão dos dados foi classificada em: baixa (CV: <15%), moderada (CV: 15 a 35%) e alta (CV: >35%) (WILDING e DREES, 1983). Os valores de Cs, que expressam à dispersão (achatamento) da distribuição em relação a um padrão, que geralmente é a curva normal, foram classificados em: Ck =0 distribuição é mesocúrtica, Ck <0 platicúrtica e se Ck >0 leptocúrtica. Os valores de Ck que visam caracterizar quanto e como a distribuição de frequências se afasta da simetria, foram classificados em: Cs >0 distribuição assimétrica à direita; Cs <0 distribuição é assimétrica à esquerda; e Cs =0, a distribuição é simétrica. Além disso, verificou-se a existência de tendência central (normalidade) dos dados originais por meio do Teste W ($p < 0,05$) (SHAPIRO e WILK, 1965). Foram considerados como distribuição de probabilidade normal os dados que obtiveram resultado de p -valor >0,05, ou seja, valor não significativo ao nível de 5% de significância.

A análise da variabilidade espacial dos atributos de acidez e bases relacionadas foi feita através de semivariogramas (VIEIRA, 2000), cujos ajustes foram realizados por modelos teóricos (esférico, exponencial, gaussiano e linear) utilizando o programa computacional *Gamma Design Software – GS+* (ROBERTSON, 1998). Os modelos dos semivariogramas foram ajustados com base no melhor coeficiente de determinação (r^2) e menor soma de quadrados do resíduo (SQR) e avaliados pela técnica de validação cruzada. Do ajuste de um modelo matemático, foram definidos os parâmetros do semivariograma: efeito pepita (C_0), contribuição (C_1), patamar (C_0+C_1) e alcance (a). O índice de dependência espacial (IDE), foi calculado por meio da equação, $\text{IDE} = [C_0/(C_0+C_1)]*100$. Com base nos IDE classificou-se o grau de dependência espacial (GDE) como forte, para $\text{IDE} \leq 25\%$; moderado, para IDE entre 25 e 75%, e fraco, para $\text{IDE} > 75\%$ (CAMBARDELLA et al., 1994).

2.5 Resultados e Discussão

A análise estatística exploratória dos atributos de acidez, $\text{pH}_{\text{água}}$ e V (Tabela 2 e 3), possibilitou verificar que 57 áreas estudadas (95,0%) apresentam locais com problemas de acidez, $\text{pH} < 5,5$ ou $V < 65,0\%$, que podem restringir o desenvolvimento normal das plantas cultivadas, sob sistema plantio direto (COMISSÃO..., 2004; FIORIN, 2007). Essa constatação está fortemente relacionada à acidez natural característica de solos que sofreram intenso intemperismo, associada às práticas de manejo adotadas (SANTOS et al., 2006; STRECK et al., 2008; ANJOS et al., 2012). Em áreas agrícolas, a acidez pode ser acentuada pela absorção dos cátions básicos pelas culturas e exportação com as colheitas, pelo manejo inadequado do solo favorecendo a erosão e exposição de horizontes subsuperficiais (mais ácidos), pelo uso de fertilizantes nitrogenados e pela oxidação do enxofre e da matéria orgânica (SOUZA et al., 2007).

A utilização de malhas amostrais menores, possibilitando o aumento no número de pontos amostrais, promoveu melhorias na representatividade e na acurácia das amostragens de solo realizadas nas áreas estudadas (<CP%). Entretanto, independente da dimensão da malha e da profundidade amostrada foi possível identificar, com base nos valores mínimos e máximos de $\text{pH}_{\text{água}}$ e V, uma considerável amplitude em relação à média, indicando que a utilização da amostragem georreferenciada de solo, preconizada pela AP, caracterizou-se como uma importante estratégia para a identificação de locais da área, cuja acidez do solo pode tornar-se fator limitante. Desta forma, permite o incremento da eficiência técnica e econômica do uso de corretivos, a partir de intervenções localizadas em sítio-específico.

Em relação à dispersão dos dados, com base nos valores de coeficiente de variação (CV%), verificou-se que os valores de $\text{pH}_{\text{água}}$ apresentaram baixa dispersão (CV: <15%), com amplitude de 2,06 a 8,53%. Já os valores de V, variaram de 4,83 a 29,38%, classificando a dispersão de baixa a moderada (CV: <35%). Esses resultados concordam com vários estudos anteriormente desenvolvidos em Latossolos (SOUZA et al., 2004; MONTEZANO et al., 2006; CAVALCANTE et al., 2007; MONTANARI et al., 2008; AMADO et al., 2009; CHERUBIN et al., 2011; DALCHIAVON et al., 2012, SANTI et al., 2012, BOTTEGA et al., 2013). Entretanto, os baixos CVs observados para os valores de $\text{pH}_{\text{água}}$ devem-se a escala logarítmica de sua expressão, exigindo cautela na comparação com outras variáveis (COELHO, 2003; CANTARUTTI et al., 2007). Além disso, ressaltam-se os cuidados em comparar os valores de CVs entre as áreas, visto que o número de amostras (n) é diferente. Para tanto, recomenda-se observar os valores de CPs, que considera o “n” em seu cálculo.

Tabela 2 - Estatística descritiva dos valores de pH_{água} em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.

Área	Malha Amostral (m)	Profundidade de Amostragem (m)	Parâmetros Estatísticos ⁽¹⁾										
			n	Valores			DP	Coeficientes					Teste W ⁽²⁾
				Mínimo	Média	Máximo		CV	CP	Cs	Ck		
1	100 x 100	0,00-0,10	89	4,80	5,27	6,30	0,30	5,71	0,61	0,82	0,68	0,93*	
2	100 x 100	0,00-0,10	28	6,00	6,42	6,70	0,18	2,81	0,53	-0,49	-0,06	0,93ns	
3	100 x 100	0,00-0,10	33	5,20	5,56	6,30	0,22	3,99	0,69	1,21	2,85	0,88*	
4	100 x 100	0,00-0,10	40	5,50	6,18	6,60	0,28	4,50	0,71	-0,27	-0,70	0,94*	
5	100 x 100	0,00-0,10	49	5,60	5,94	6,20	0,15	2,52	0,36	0,22	-0,48	0,92*	
6	100 x 100	0,00-0,10	57	6,00	6,42	7,00	0,50	7,76	1,03	0,33	-1,96	0,63*	
7	100 x 100	0,00-0,10	65	4,60	5,50	6,20	0,39	7,07	0,88	-0,35	-0,60	0,97ns	
8	100 x 100	0,00-0,10	47	4,40	4,83	5,40	0,20	4,13	0,60	0,39	0,66	0,96ns	
9	100 x 100	0,00-0,10	46	4,90	5,80	6,90	0,33	5,72	0,84	0,53	2,50	0,94*	
10	100 x 100	0,00-0,10	41	4,90	5,24	5,60	0,21	3,98	0,62	0,20	-1,05	0,94*	
1	142 x 142	0,00-0,10	45	5,50	5,67	5,90	0,11	2,06	0,31	0,23	-0,60	0,91*	
2	142 x 142	0,00-0,10	75	5,50	5,98	6,20	0,15	2,59	0,30	-1,01	1,07	0,89*	
3	142 x 142	0,00-0,10	45	5,10	5,51	5,80	0,14	2,58	0,38	-0,59	0,96	0,93*	
4	142 x 142	0,00-0,10	43	5,20	5,50	5,70	0,12	2,28	0,35	-0,21	-0,39	0,93*	
5	142 x 142	0,00-0,10	59	5,20	5,56	5,90	0,18	3,29	0,43	-0,07	-0,67	0,96ns	
6	142 x 142	0,00-0,10	73	4,80	5,34	5,70	0,18	3,43	0,40	-0,18	0,61	0,95*	
7	142 x 142	0,00-0,10	60	5,00	5,45	5,80	0,14	2,63	0,34	-0,63	2,18	0,91*	
8	142 x 142	0,00-0,10	62	5,00	5,68	6,30	0,23	4,08	0,52	-0,42	1,02	0,96*	
9	142 x 142	0,00-0,10	83	4,80	5,40	6,20	0,26	4,88	0,54	0,15	-0,08	0,98ns	
10	142 x 142	0,00-0,10	91	4,90	5,37	5,80	0,21	3,96	0,42	0,27	-0,52	0,96*	
1	173 x 173	0,00-0,10	34	4,70	5,53	6,20	0,39	6,97	1,20	0,01	-0,38	0,96ns	
2	173 x 173	0,00-0,10	36	4,80	5,36	5,80	0,22	4,11	0,69	0,05	0,15	0,93*	
3	173 x 173	0,00-0,10	51	4,40	5,51	6,20	0,41	7,52	1,05	-0,62	0,37	0,96ns	
4	173 x 173	0,00-0,10	33	4,60	5,48	6,50	0,41	7,45	1,30	0,61	0,69	0,96ns	
5	173 x 173	0,00-0,10	27	5,00	5,54	6,30	0,31	5,56	1,07	0,39	-0,30	0,94ns	
6	173 x 173	0,00-0,10	20	5,00	5,34	5,60	0,14	2,61	0,58	-0,42	0,61	0,94ns	
7	173 x 173	0,00-0,10	24	5,00	5,52	6,00	0,27	4,92	1,00	0,14	-0,53	0,97ns	
8	173 x 173	0,00-0,10	31	4,90	5,57	6,00	0,26	4,62	0,83	-0,36	0,14	0,97ns	
9	173 x 173	0,00-0,10	40	4,70	5,31	6,40	0,29	5,47	0,86	1,02	4,12	0,90*	
10	173 x 173	0,00-0,10	34	4,80	5,54	6,10	0,36	6,50	1,11	0,36	-0,57	0,95ns	
1	100 x 100	0,00-0,15	106	4,70	5,69	6,20	0,26	4,58	0,44	-0,69	1,16	0,96*	
2	100 x 100	0,00-0,15	91	5,00	5,41	6,20	0,27	4,98	0,52	0,77	0,37	0,94*	
3	100 x 100	0,00-0,15	112	4,90	5,92	6,50	0,28	5,92	0,56	-0,82	1,59	0,94*	
4	100 x 100	0,00-0,15	167	4,90	5,74	6,40	0,30	5,31	0,41	-0,28	-0,42	0,98*	
5	100 x 100	0,00-0,15	77	5,40	5,86	6,50	0,25	5,86	0,67	0,34	-0,27	0,97ns	
6	100 x 100	0,00-0,15	127	5,00	5,77	6,70	0,26	4,45	0,39	0,35	1,76	0,96*	
7	100 x 100	0,00-0,15	119	4,70	5,58	6,30	0,30	5,47	0,50	-0,42	0,01	0,97*	
8	100 x 100	0,00-0,15	71	4,90	5,78	6,50	0,34	5,86	0,70	-0,14	0,01	0,99ns	
9	100 x 100	0,00-0,15	116	4,70	5,18	6,00	0,27	5,27	0,49	0,85	0,41	0,93*	
10	100 x 100	0,00-0,15	54	5,30	5,80	6,30	0,22	3,80	0,52	-0,32	-0,10	0,97ns	
1	142 x 142	0,00-0,15	31	4,50	5,08	5,60	0,28	5,49	0,99	-0,05	-0,75	0,96ns	
2	142 x 142	0,00-0,15	60	4,60	5,43	6,00	0,26	5,44	0,70	-0,08	1,60	0,93*	
3	142 x 142	0,00-0,15	64	4,30	4,90	7,00	0,42	8,53	1,07	2,53	9,95	0,79*	
4	142 x 142	0,00-0,15	53	4,70	5,26	6,00	0,26	4,97	0,68	0,66	1,23	0,95*	
5	142 x 142	0,00-0,15	30	5,20	5,61	6,70	0,33	5,83	1,06	1,17	2,81	0,90*	
6	142 x 142	0,00-0,15	37	4,60	5,27	5,90	0,25	4,79	0,79	-0,04	0,77	0,96ns	
7	142 x 142	0,00-0,15	67	5,00	5,50	6,00	0,27	4,83	0,59	0,34	-0,83	0,94*	
8	142 x 142	0,00-0,15	144	5,30	5,88	6,50	0,25	4,19	0,35	0,14	-0,41	0,98ns	
9	142 x 142	0,00-0,15	55	4,70	5,52	6,70	0,40	5,52	0,74	0,75	1,06	0,96ns	
10	142 x 142	0,00-0,15	38	4,90	5,37	6,30	0,31	5,73	0,93	0,78	0,91	0,95ns	
1	173 x 173	0,00-0,15	26	4,80	5,41	5,90	0,32	6,01	1,18	-0,19	-1,13	0,94ns	
2	173 x 173	0,00-0,15	55	5,60	6,00	6,40	0,21	3,58	0,48	-0,14	-1,08	0,94*	
3	173 x 173	0,00-0,15	21	5,00	5,23	5,50	0,13	2,50	0,55	0,00	-0,32	0,94ns	
4	173 x 173	0,00-0,15	71	5,10	5,58	6,60	0,22	3,98	0,47	1,27	5,38	0,90*	
5	173 x 173	0,00-0,15	39	5,10	5,50	5,90	0,16	2,99	0,48	0,55	0,36	0,86*	
6	173 x 173	0,00-0,15	67	5,00	5,63	6,80	0,40	7,17	0,88	0,78	0,01	0,93*	
7	173 x 173	0,00-0,15	39	4,80	5,26	5,70	0,21	4,09	0,65	0,10	-0,07	0,96ns	
8	173 x 173	0,00-0,15	40	5,10	5,63	6,30	0,23	4,17	0,66	1,09	1,93	0,86*	
9	173 x 173	0,00-0,15	73	4,80	5,70	6,40	0,26	4,51	0,53	-0,46	1,94	0,96*	
10	173 x 173	0,00-0,15	28	4,80	5,54	6,30	0,37	6,71	1,27	0,19	-0,71	0,96ns	

⁽¹⁾n: número de observações (pontos amostrais); DP: desvio padrão; CV (%): coeficiente de variação; CP (%): coeficiente de precisão; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; ⁽²⁾Teste W: Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (ns) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Tabela 3 - Estatística descritiva dos valores de saturação por bases (V%) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.

Área	Malha Amostral (m)	Profundidade de Amostragem (m)	Parâmetros Estatísticos ⁽¹⁾									
			n	Valores			DP	Coeficientes				Teste W ⁽²⁾
				Mínimo	Média	Máximo		CV	CP	Cs	Ck	
1	100 x 100	0,00-0,10	89	29,00	57,18	88,00	11,05	19,33	2,05	0,28	-0,14	0,99ns
2	100 x 100	0,00-0,10	28	64,00	85,12	89,50	3,34	4,92	0,74	-0,94	0,90	0,93ns
3	100 x 100	0,00-0,10	33	56,90	66,96	84,80	6,57	9,81	1,71	0,54	0,14	0,97ns
4	100 x 100	0,00-0,10	40	64,30	81,84	87,80	3,95	4,83	0,76	-0,24	-1,25	0,93*
5	100 x 100	0,00-0,10	49	63,60	74,31	83,50	4,18	5,62	0,80	0,17	-0,58	0,98ns
6	100 x 100	0,00-0,10	57	60,00	81,28	91,00	6,82	8,39	1,11	-0,93	0,61	0,93*
7	100 x 100	0,00-0,10	65	31,60	67,24	87,20	12,21	18,16	2,25	-0,93	0,72	0,94*
8	100 x 100	0,00-0,10	47	38,10	53,45	66,10	5,91	11,06	1,61	-0,25	-0,23	0,99ns
9	100 x 100	0,00-0,10	46	29,50	61,11	79,90	9,71	15,89	2,34	-0,67	1,90	0,95ns
10	100 x 100	0,00-0,10	41	43,20	54,29	70,40	7,31	13,46	2,10	0,22	-0,69	0,96ns
1	142 x 142	0,00-0,10	45	43,00	56,56	69,00	6,36	11,25	1,68	-0,28	-0,58	0,97ns
2	142 x 142	0,00-0,10	75	45,00	75,12	88,00	6,12	8,15	0,94	-1,65	7,14	0,89*
3	142 x 142	0,00-0,10	45	35,00	56,80	68,00	8,48	14,94	2,23	-0,72	-0,16	0,93*
4	142 x 142	0,00-0,10	43	41,00	57,37	69,00	5,36	9,35	1,43	-0,85	1,53	0,95ns
5	142 x 142	0,00-0,10	59	35,00	58,29	81,00	10,59	18,17	2,37	0,00	-0,39	0,98ns
6	142 x 142	0,00-0,10	73	42,00	62,04	77,00	6,39	10,30	1,21	-0,19	1,11	0,97ns
7	142 x 142	0,00-0,10	60	50,00	61,70	73,00	5,28	8,56	1,11	-0,07	-0,19	0,97ns
8	142 x 142	0,00-0,10	62	61,00	72,03	89,00	5,28	7,32	0,93	0,64	1,45	0,96ns
9	142 x 142	0,00-0,10	83	38,00	62,49	84,00	10,88	17,41	1,91	-0,31	-0,51	0,98ns
10	142 x 142	0,00-0,10	91	44,00	59,37	74,00	7,08	11,93	1,25	-0,10	-0,60	0,98ns
1	173 x 173	0,00-0,10	34	21,70	56,04	77,90	14,11	25,18	4,32	-0,73	0,33	0,95ns
2	173 x 173	0,00-0,10	36	36,90	59,49	75,40	8,67	14,58	2,43	-0,18	0,27	0,98ns
3	173 x 173	0,00-0,10	51	16,70	63,47	85,30	14,47	22,79	3,19	-1,32	2,24	0,90*
4	173 x 173	0,00-0,10	33	35,10	62,71	80,30	10,33	16,48	2,87	-0,56	0,28	0,97ns
5	173 x 173	0,00-0,10	27	47,30	63,53	83,30	9,54	15,01	2,89	-0,10	-0,74	0,96ns
6	173 x 173	0,00-0,10	20	37,00	53,80	67,00	9,04	16,81	3,76	-0,31	-0,95	0,95ns
7	173 x 173	0,00-0,10	24	28,90	57,09	71,80	8,90	15,59	3,18	-1,19	3,23	0,92*
8	173 x 173	0,00-0,10	31	44,00	61,48	71,70	7,00	11,39	2,05	-0,51	-0,25	0,96ns
9	173 x 173	0,00-0,10	40	25,80	51,60	77,30	10,17	19,71	3,12	-0,16	0,65	0,99ns
10	173 x 173	0,00-0,10	34	39,20	64,23	87,80	11,34	17,65	3,03	-0,65	0,19	0,93*
1	100 x 100	0,00-0,15	106	11,00	65,77	83,00	11,35	17,25	1,68	-1,57	4,57	0,89*
2	100 x 100	0,00-0,15	91	45,00	65,09	88,00	7,98	12,26	1,29	-0,07	0,10	0,99ns
3	100 x 100	0,00-0,15	112	29,00	71,33	89,00	10,16	14,24	1,35	-1,40	3,18	0,90*
4	100 x 100	0,00-0,15	167	29,00	68,93	91,00	10,54	15,29	1,18	-0,88	0,72	0,95*
5	100 x 100	0,00-0,15	77	50,00	69,09	82,00	6,81	9,86	1,12	-0,28	-0,17	0,98ns
6	100 x 100	0,00-0,15	127	39,00	67,81	88,00	8,30	12,24	1,09	-0,37	0,86	0,98ns
7	100 x 100	0,00-0,15	119	25,00	63,65	81,00	11,30	17,75	1,63	-0,92	0,83	0,94*
8	100 x 100	0,00-0,15	71	42,00	69,77	86,00	10,21	14,64	1,74	-0,51	-0,28	0,96*
9	100 x 100	0,00-0,15	116	23,00	51,14	84,00	12,42	24,28	2,25	0,26	-0,10	0,99ns
10	100 x 100	0,00-0,15	54	49,00	73,02	86,00	7,56	10,36	1,41	-0,86	0,80	0,95*
1	142 x 142	0,00-0,15	31	21,80	46,92	69,90	12,81	27,30	4,90	-0,24	-0,73	0,97ns
2	142 x 142	0,00-0,15	60	16,80	58,85	77,20	10,38	17,64	2,28	-1,21	3,84	0,92*
3	142 x 142	0,00-0,15	64	20,00	45,56	90,00	13,39	29,38	3,67	0,73	1,31	0,97ns
4	142 x 142	0,00-0,15	53	41,00	58,89	80,00	8,66	14,71	2,02	0,12	-0,32	0,99ns
5	142 x 142	0,00-0,15	30	48,00	65,97	89,00	9,60	14,55	2,66	0,19	-0,17	0,99ns
6	142 x 142	0,00-0,15	37	26,70	51,99	69,30	8,83	16,99	2,79	-0,47	0,73	0,96ns
7	142 x 142	0,00-0,15	67	34,80	57,62	79,90	11,31	19,63	2,40	0,22	-0,81	0,97ns
8	142 x 142	0,00-0,15	144	51,00	71,44	87,00	7,41	10,37	0,86	-0,54	-0,04	0,97*
9	142 x 142	0,00-0,15	55	29,00	62,74	89,00	13,49	21,50	2,90	-0,02	-0,55	0,98ns
10	142 x 142	0,00-0,15	38	28,00	50,08	80,00	12,05	24,07	3,90	0,45	0,27	0,97ns
1	173 x 173	0,00-0,15	26	59,00	70,23	79,00	5,41	7,71	1,51	-0,51	-0,86	0,92*
2	173 x 173	0,00-0,15	55	60,00	75,09	87,00	7,15	9,52	1,28	-0,48	-0,84	0,94*
3	173 x 173	0,00-0,15	21	33,00	46,19	54,00	6,04	13,07	2,85	-0,86	-0,14	0,91*
4	173 x 173	0,00-0,15	71	43,30	62,97	86,70	6,89	10,94	1,30	0,00	1,63	0,97ns
5	173 x 173	0,00-0,15	39	44,90	63,00	78,20	5,84	9,27	1,48	-0,31	1,92	0,96ns
6	173 x 173	0,00-0,15	67	38,00	61,40	84,00	11,43	18,61	2,27	0,23	-0,68	0,97ns
7	173 x 173	0,00-0,15	39	30,00	53,44	67,00	8,63	16,14	2,58	-0,89	0,73	0,94*
8	173 x 173	0,00-0,15	40	43,00	63,25	83,00	7,79	12,33	1,95	-0,23	1,09	0,97ns
9	173 x 173	0,00-0,15	73	39,00	67,74	84,00	7,87	11,62	1,36	-0,68	1,32	0,97ns
10	173 x 173	0,00-0,15	28	44,00	61,61	85,00	11,05	17,94	3,39	0,45	-0,28	0,96ns

⁽¹⁾n: número de observações (pontos amostrais); DP: desvio padrão; CV (%): coeficiente de variação; CP (%): coeficiente de precisão; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; ⁽²⁾Teste W: Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (ns) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Apesar dos dados de $\text{pH}_{\text{água}}$ e V apresentarem baixa e moderada dispersão, em 58,33 e 33,33%, respectivamente, das áreas estudadas não seguiram distribuições de frequências normal, sendo confirmados pelos coeficientes de assimetria, deslocados à esquerda ($C_s < 0$) ou à direita ($C_s > 0$) e coeficientes de curtose com distribuições platicúrticas ($C_k < 0$) e leptocúrticas ($C_k > 0$). Estes resultados indicando a falta de normalidade dos dados também foram verificados em áreas de Latossolos por Cavalcante et al. (2007), Montanari et al. (2008), Cherubin et al. (2011) e Dalchiavon et al. (2012). No entanto, é importante salientar, que a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, porém, a presença de distribuição assimétrica, com muitos valores anômalos, deve ser considerada visto que a krigagem é um estimador linear (WEBSTER e OLIVER, 2007). Na geoestatística, mais importante que a normalidade dos dados é a ocorrência ou não do chamado efeito proporcional, em que a média e a variância dos dados não sejam constantes na área de estudo (CAVALCANTE et al., 2007).

Quanto aos cátions básicos, Ca e Mg (Tabela 4 e 5) verificou-se que os Latossolos estudados apresentam em média teores classificados como altos para ambos os macronutrientes ($\text{Ca} > 4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $\text{Mg} > 1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (COMISSÃO..., 2004). Estudos de Amado et al. (2009), Cherubin et al. (2011) e Santi et al. (2012) desenvolvidos em Latossolos Vermelhos no RS, também verificaram altos teores de Ca e Mg, concordando com os resultados obtidos. Estes altos teores, devem-se a presença de minerais como plagioclásios, piroxênios e olivina, ricos nestes elementos, na constituição das rochas basálticas, material de origem predominante dos Latossolos ocorrentes na região de estudo (STRECK et al., 2008). Além disso, as adições de calcário dolomítico realizadas ao longo dos anos, associadas à baixa mobilidade do Ca e Mg no solo também devem ter contribuído significativamente para a manutenção e elevação dos teores naturais destes macronutrientes no solo.

A dispersão dos dados de Ca e Mg foi classificada de baixa a moderada, com amplitudes que variaram de 10,88 a 34,08% e de 13,67 a 35,00%, respectivamente, concordando com Souza et al. (2004), Cavalcante et al. (2007), Montezano et al. (2006), Amado et al. (2009), Cherubin et al. (2011), Santi et al. (2012) e Bottega et al. (2013). Para ambos os macronutrientes, observou-se pequena predominância de áreas (61,67% e 52,66%) que apresentaram distribuição de frequência normal, entretanto, as que não seguiram a normalidade, não apresentaram valores muito discrepantes que poderiam limitar o uso da geoestatística.

Tabela 4 - Estatística descritiva dos valores de cálcio (Ca, $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.

Área	Malha Amostral (m)	Profundidade de Amostragem (m)	Parâmetros Estatísticos ⁽¹⁾									
			n	Valores			DP	Coeficientes				Teste W ⁽²⁾
				Mínimo	Média	Máximo		CV	CP	Cs	Ck	
1	100 x 100	0,00-0,10	89	2,70	5,26	9,90	1,15	21,82	2,31	1,01	2,40	0,95*
2	100 x 100	0,00-0,10	28	5,30	9,07	10,80	1,24	13,71	2,59	-1,34	1,95	0,89*
3	100 x 100	0,00-0,10	33	6,10	7,62	10,20	0,83	10,88	1,89	0,75	1,59	0,96ns
4	100 x 100	0,00-0,10	40	5,50	7,94	10,00	1,15	14,46	2,29	0,29	-0,66	0,94*
5	100 x 100	0,00-0,10	49	4,50	6,91	11,30	1,07	15,50	2,21	1,40	5,12	0,91*
6	100 x 100	0,00-0,10	57	4,50	7,88	13,50	1,77	22,48	2,98	0,99	1,99	0,93*
7	100 x 100	0,00-0,10	65	3,60	6,76	10,20	1,20	17,82	2,21	-0,04	1,33	0,97ns
8	100 x 100	0,00-0,10	47	4,90	6,45	8,30	0,77	11,94	1,74	0,29	-0,10	0,98ns
9	100 x 100	0,00-0,10	46	1,70	3,34	5,30	0,81	24,31	3,58	0,52	0,17	0,97ns
10	100 x 100	0,00-0,10	41	2,60	5,11	7,30	0,90	17,53	2,74	0,08	1,23	0,97ns
1	142 x 142	0,00-0,10	45	2,00	3,50	5,40	0,73	20,80	3,10	0,65	0,79	0,95ns
2	142 x 142	0,00-0,10	75	2,10	5,59	10,50	1,35	24,16	2,79	0,51	1,69	0,98ns
3	142 x 142	0,00-0,10	45	2,50	5,02	6,70	0,93	18,49	2,76	-0,20	-0,34	0,97ns
4	142 x 142	0,00-0,10	43	2,70	4,89	6,40	0,72	14,66	2,24	-0,63	0,98	0,97ns
5	142 x 142	0,00-0,10	59	2,60	4,34	6,90	1,12	25,85	3,37	0,68	-0,19	0,94*
6	142 x 142	0,00-0,10	73	3,90	5,79	7,60	0,70	12,17	1,42	-0,32	0,86	0,97ns
7	142 x 142	0,00-0,10	60	3,90	5,99	7,80	0,85	14,24	1,84	-0,23	-0,32	0,99ns
8	142 x 142	0,00-0,10	62	5,40	6,89	9,40	1,00	14,52	1,84	0,67	-0,01	0,95*
9	142 x 142	0,00-0,10	83	3,10	5,30	7,50	0,96	18,07	1,98	-0,22	-0,16	0,98ns
10	142 x 142	0,00-0,10	91	4,10	5,72	8,00	0,84	14,70	1,54	0,54	-0,16	0,97ns
1	173 x 173	0,00-0,10	34	1,80	4,60	6,90	1,19	25,89	4,44	-0,02	-0,04	0,98ns
2	173 x 173	0,00-0,10	36	3,00	5,00	7,00	0,83	16,67	2,78	-0,05	0,71	0,98ns
3	173 x 173	0,00-0,10	51	2,40	6,38	13,30	2,01	31,45	4,40	1,01	2,62	0,94*
4	173 x 173	0,00-0,10	33	3,80	5,97	9,30	1,35	22,55	3,93	0,75	0,75	0,95ns
5	173 x 173	0,00-0,10	27	3,70	5,62	9,20	1,28	22,81	4,39	0,69	0,85	0,96ns
6	173 x 173	0,00-0,10	20	2,50	4,60	6,20	1,23	26,73	5,98	-0,54	-1,10	0,90*
7	173 x 173	0,00-0,10	24	2,70	4,22	5,40	0,69	16,35	3,34	-0,31	-0,54	0,96ns
8	173 x 173	0,00-0,10	31	3,60	4,83	6,20	0,70	14,53	2,61	0,07	-0,57	0,97ns
9	173 x 173	0,00-0,10	40	2,50	4,06	6,00	0,81	20,01	3,16	0,38	0,30	0,96ns
10	173 x 173	0,00-0,10	34	3,50	6,66	17,60	2,47	34,08	5,84	2,64	11,21	0,77*
1	100 x 100	0,00-0,15	106	1,40	5,62	8,90	1,20	21,31	2,07	-0,22	1,39	0,98ns
2	100 x 100	0,00-0,15	91	4,00	6,49	12,70	1,43	22,09	2,32	1,38	4,44	0,91*
3	100 x 100	0,00-0,15	112	2,40	5,40	7,90	1,08	21,10	1,99	-0,14	0,14	0,99ns
4	100 x 100	0,00-0,15	167	1,60	4,97	7,80	1,07	21,55	1,67	0,00	0,03	0,99ns
5	100 x 100	0,00-0,15	77	5,00	6,95	9,40	0,97	13,97	1,59	0,48	0,01	0,97ns
6	100 x 100	0,00-0,15	127	2,90	5,71	13,00	1,35	23,68	2,10	1,81	6,60	0,88*
7	100 x 100	0,00-0,15	119	2,50	5,88	13,90	1,88	31,91	2,93	1,49	3,25	0,89*
8	100 x 100	0,00-0,15	71	4,10	6,76	11,70	1,76	26,04	3,09	0,86	0,35	0,94*
9	100 x 100	0,00-0,15	116	2,50	4,85	11,40	1,59	32,86	3,05	1,90	4,28	0,82*
10	100 x 100	0,00-0,15	54	4,50	7,17	11,10	1,52	21,18	2,88	0,84	0,42	0,94*
1	142 x 142	0,00-0,15	31	2,90	5,19	8,00	1,32	25,35	4,55	0,24	-0,54	0,98ns
2	142 x 142	0,00-0,15	60	2,20	5,33	7,60	0,91	17,03	2,20	-0,24	2,09	0,96ns
3	142 x 142	0,00-0,15	64	2,30	4,55	10,60	1,48	32,63	4,08	2,04	6,90	0,83*
4	142 x 142	0,00-0,15	53	4,00	6,51	8,60	0,97	14,90	2,05	-0,15	-0,29	0,99ns
5	142 x 142	0,00-0,15	30	5,20	7,31	10,70	1,58	21,61	3,95	0,62	-0,55	0,93ns
6	142 x 142	0,00-0,15	37	3,20	4,81	6,70	0,84	17,55	2,89	0,48	0,14	0,96ns
7	142 x 142	0,00-0,15	67	2,90	4,87	8,00	1,39	28,56	3,49	0,69	-0,67	0,91*
8	142 x 142	0,00-0,15	144	2,30	6,93	13,60	1,58	22,84	1,90	0,64	3,78	0,93*
9	142 x 142	0,00-0,15	55	3,40	6,16	10,60	1,62	26,27	3,54	0,39	-0,28	0,98ns
10	142 x 142	0,00-0,15	38	1,90	4,54	7,30	1,26	27,84	4,52	-0,20	-0,24	0,98ns
1	173 x 173	0,00-0,15	26	4,70	5,74	7,70	0,75	13,12	2,57	0,92	0,52	0,94ns
2	173 x 173	0,00-0,15	55	5,40	7,80	12,90	1,64	20,96	2,83	0,88	0,87	0,94*
3	173 x 173	0,00-0,15	21	3,20	4,64	5,60	0,62	13,37	2,92	-0,46	0,03	0,96ns
4	173 x 173	0,00-0,15	71	4,30	5,98	9,30	0,80	13,41	1,59	0,95	3,34	0,94*
5	173 x 173	0,00-0,15	39	5,10	6,35	8,90	0,73	11,45	1,83	1,06	2,55	0,93*
6	173 x 173	0,00-0,15	67	2,50	4,65	7,00	1,06	22,76	2,78	0,51	-0,24	0,96ns
7	173 x 173	0,00-0,15	39	2,70	5,08	7,20	1,04	20,42	3,27	-0,22	0,12	0,97ns
8	173 x 173	0,00-0,15	40	2,60	5,27	8,40	1,33	25,35	4,01	0,04	0,00	0,97ns
9	173 x 173	0,00-0,15	73	2,70	5,47	8,40	1,07	19,58	2,29	0,20	0,28	0,99ns
10	173 x 173	0,00-0,15	28	2,90	4,65	9,30	1,32	28,48	5,38	1,84	5,00	0,85*

⁽¹⁾n: número de observações (pontos amostrais); DP: desvio padrão; CV (%): coeficiente de variação; CP (%): coeficiente de precisão; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; ⁽²⁾Teste W: Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (ns) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Tabela 5 - Estatística descritiva dos valores de magnésio (Mg , $cmol_c\ dm^{-3}$) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.

Área	Malha Amostral (m)	Profundidade de Amostragem (m)	Parâmetros Estatísticos ⁽¹⁾									
			n	Valores			DP	Coeficientes				Teste W ⁽²⁾
				Mínimo	Média	Máximo		CV	CP	Cs	Ck	
1	100 x 100	0,00-0,10	89	0,90	2,26	6,00	0,72	31,70	3,36	1,93	7,41	0,86*
2	100 x 100	0,00-0,10	28	1,50	3,01	3,60	0,50	16,54	3,13	-1,56	2,43	0,84*
3	100 x 100	0,00-0,10	33	2,40	3,16	4,90	0,49	15,54	2,71	1,31	3,57	0,91*
4	100 x 100	0,00-0,10	40	2,20	3,46	4,60	0,61	17,66	2,79	-0,01	-0,41	0,96ns
5	100 x 100	0,00-0,10	49	1,60	2,40	3,70	0,36	14,97	2,14	0,92	2,80	0,94*
6	100 x 100	0,00-0,10	57	1,60	3,30	4,80	0,63	18,98	2,51	0,24	0,18	0,97ns
7	100 x 100	0,00-0,10	65	1,00	2,24	3,40	0,53	23,63	2,93	-0,12	-0,16	0,98ns
8	100 x 100	0,00-0,10	47	1,20	2,12	3,30	0,40	18,91	2,76	0,50	0,82	0,96ns
9	100 x 100	0,00-0,10	46	0,70	1,55	2,90	0,49	31,71	4,68	0,97	0,87	0,92*
10	100 x 100	0,00-0,10	41	1,30	2,02	3,00	0,43	21,10	3,30	0,95	0,19	0,88*
1	142 x 142	0,00-0,10	45	0,90	1,52	2,60	0,36	23,74	3,54	1,19	1,71	0,91*
2	142 x 142	0,00-0,10	75	1,00	2,68	5,00	0,64	24,01	2,77	0,58	1,75	0,96*
3	142 x 142	0,00-0,10	45	0,80	1,99	3,20	0,52	26,16	3,90	0,33	0,06	0,97ns
4	142 x 142	0,00-0,10	43	0,60	1,59	2,30	0,32	20,29	3,09	-0,40	1,36	0,95ns
5	142 x 142	0,00-0,10	59	1,00	1,86	3,90	0,58	31,13	4,05	1,25	1,74	0,90*
6	142 x 142	0,00-0,10	73	1,70	2,69	5,90	0,75	27,98	3,27	2,92	9,60	0,65*
7	142 x 142	0,00-0,10	60	1,50	2,29	3,80	0,41	17,77	2,29	0,81	2,04	0,96*
8	142 x 142	0,00-0,10	62	1,70	2,81	3,80	0,46	16,19	2,06	-0,08	-0,32	0,99ns
9	142 x 142	0,00-0,10	83	1,20	2,13	3,20	0,48	22,50	2,47	-0,05	-0,55	0,98ns
10	142 x 142	0,00-0,10	91	1,30	2,42	3,80	0,47	19,38	2,03	0,23	0,05	0,99ns
1	173 x 173	0,00-0,10	34	1,00	2,38	3,50	0,61	25,78	4,42	-0,12	-0,07	0,97ns
2	173 x 173	0,00-0,10	36	1,10	2,05	3,40	0,47	22,87	3,81	0,93	1,66	0,91*
3	173 x 173	0,00-0,10	51	1,10	2,98	5,70	0,90	30,21	4,23	0,69	1,53	0,95*
4	173 x 173	0,00-0,10	33	1,60	2,82	5,40	0,78	27,75	4,83	1,38	2,61	0,90*
5	173 x 173	0,00-0,10	27	1,30	2,96	4,70	0,85	28,76	5,53	0,25	-0,33	0,98ns
6	173 x 173	0,00-0,10	20	0,90	1,76	2,50	0,53	30,03	6,71	-0,16	-1,51	0,91ns
7	173 x 173	0,00-0,10	24	1,00	1,91	2,70	0,41	21,68	4,43	0,08	-0,01	0,98ns
8	173 x 173	0,00-0,10	31	1,60	2,11	2,80	0,31	14,86	2,67	0,08	-0,86	0,95ns
9	173 x 173	0,00-0,10	40	0,80	1,56	2,40	0,36	23,12	3,66	0,15	-0,23	0,98ns
10	173 x 173	0,00-0,10	34	1,60	3,01	7,00	1,17	35,00	6,00	1,49	2,88	0,88*
1	100 x 100	0,00-0,15	106	0,70	2,75	4,40	0,59	21,59	2,10	-0,14	1,19	0,98ns
2	100 x 100	0,00-0,15	91	1,80	2,74	6,90	0,61	22,40	2,35	3,55	22,83	0,74*
3	100 x 100	0,00-0,15	112	1,10	2,46	4,60	0,59	23,96	2,26	0,33	0,96	0,98ns
4	100 x 100	0,00-0,15	167	0,80	2,35	4,00	0,52	22,17	1,72	0,21	0,15	0,99ns
5	100 x 100	0,00-0,15	77	1,80	2,77	3,90	0,46	16,76	1,91	0,44	-0,38	0,97ns
6	100 x 100	0,00-0,15	127	1,10	2,29	4,20	0,44	19,24	1,71	0,72	2,01	0,96*
7	100 x 100	0,00-0,15	119	1,00	2,13	4,20	0,50	23,32	2,14	0,74	1,79	0,96*
8	100 x 100	0,00-0,15	71	1,90	3,07	5,10	0,75	24,35	2,89	0,80	0,19	0,94*
9	100 x 100	0,00-0,15	116	1,10	2,22	4,40	0,50	22,38	2,08	1,15	2,77	0,93*
10	100 x 100	0,00-0,15	54	1,80	2,87	4,40	0,65	22,55	3,07	0,43	-0,50	0,97ns
1	142 x 142	0,00-0,15	31	0,90	1,78	3,40	0,59	33,11	5,95	1,09	0,89	0,90*
2	142 x 142	0,00-0,15	60	1,10	2,46	3,90	0,52	21,13	2,73	0,37	0,99	0,97ns
3	142 x 142	0,00-0,15	64	0,80	1,46	3,30	0,43	29,22	3,65	1,26	3,89	0,91*
4	142 x 142	0,00-0,15	53	2,20	3,09	4,00	0,42	13,67	1,88	0,09	-0,50	0,98ns
5	142 x 142	0,00-0,15	30	1,90	3,18	5,70	1,00	31,36	5,73	1,00	0,33	0,90*
6	142 x 142	0,00-0,15	37	3,20	4,81	6,70	0,84	17,55	2,89	0,48	0,14	0,96ns
7	142 x 142	0,00-0,15	67	1,00	1,98	3,90	0,79	39,86	4,87	0,91	-0,41	0,87*
8	142 x 142	0,00-0,15	144	0,80	3,24	7,40	0,91	27,98	2,33	0,86	4,81	0,91*
9	142 x 142	0,00-0,15	55	1,60	2,81	5,00	0,79	28,07	3,78	0,76	0,41	0,95*
10	142 x 142	0,00-0,15	38	0,80	1,84	3,20	0,55	29,88	4,85	0,29	-0,03	0,98ns
1	173 x 173	0,00-0,15	26	2,20	2,80	3,70	0,39	13,96	2,74	0,63	-0,04	0,95ns
2	173 x 173	0,00-0,15	55	2,40	3,71	6,50	0,93	25,12	3,39	1,00	0,73	0,94*
3	173 x 173	0,00-0,15	21	1,20	1,71	2,40	0,33	19,39	4,23	0,29	-0,56	0,97ns
4	173 x 173	0,00-0,15	71	1,70	2,44	3,40	0,35	14,44	1,71	0,44	0,69	0,97ns
5	173 x 173	0,00-0,15	39	1,90	2,67	3,60	0,40	15,06	2,41	0,43	-0,37	0,97ns
6	173 x 173	0,00-0,15	67	1,40	2,39	3,90	0,61	25,57	3,12	0,65	-0,34	0,94*
7	173 x 173	0,00-0,15	39	0,80	1,79	2,90	0,45	25,29	4,05	0,02	0,88	0,96ns
8	173 x 173	0,00-0,15	40	1,20	2,35	5,00	0,60	25,47	4,03	1,96	9,44	0,82*
9	173 x 173	0,00-0,15	73	1,50	2,59	4,40	0,54	20,66	2,42	0,46	0,43	0,97ns
10	173 x 173	0,00-0,15	28	1,50	2,77	4,80	0,76	27,49	5,20	0,61	0,52	0,96ns

⁽¹⁾n: número de observações (pontos amostrais); DP: desvio padrão; CV (%): coeficiente de variação; CP (%): coeficiente de precisão; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; ⁽²⁾Teste W: Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (ns) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

A variabilidade espacial dos atributos de acidez, $\text{pH}_{\text{água}}$ e V, e das bases relacionadas Ca e Mg foi analisada a partir dos resultados da análise geoestatística (Tabelas 6, 7, 8 e 9). Para os quatro atributos analisados, percebeu-se elevada distinção da estrutura de variabilidade espacial nas áreas estudadas, mesmo quando as amostras foram coletadas na mesma profundidade e com mesma dimensão de malha amostral. Esta variação pode ser comprovada pela amplitude observada nos raios de dependência espacial entre as amostras (alcances). Em todas as malhas estudadas, verificaram-se áreas onde os valores de $\text{pH}_{\text{água}}$, V, Ca e Mg não apresentaram dependência espacial, caracterizando distribuições aleatórias (efeito pepita puro), e portanto, a geoestatística não se aplicaria (VIEIRA, 2000). Nota-se que há uma tendência de aumento na ocorrência de distribuições aleatórias à medida que o tamanho da malha amostral utilizada aumenta, confirmando pressuposições apontadas por Cambardella et al. (1994) e Vieira (2000), em que a malha amostral utilizada não possui pontos suficientes para detectar a dependência que, se existir, será manifestada à distâncias menores que o menor espaçamento entre amostras.

Nas áreas onde os atributos de acidez, Ca e Mg apresentaram estrutura de variabilidade espacial definida, em geral, verificou-se que o grau de dependência espacial foi de moderado a forte, demonstrando que, em tais condições, os atributos foram mais influenciados por propriedades intrínsecas do solo (CAMBARDELLA et al., 1994). Além disso, práticas de manejo, como as calagens superficiais e uniformes realizadas ao longo do tempo de uso agrícolas do solo contribuem para a baixa variabilidade espacial dos atributos de acidez em menores distâncias.

Entretanto, estes resultados merecem cautela, uma vez que os semivariogramas foram gerados utilizando um limitado número de pontos. Webster e Lark (2012) alertam que ao utilizar de 30 a 50 pares de pontos para cada distância, como é indicado por alguns autores, implica em obter menos de 50 pontos amostrais em malhas bidimensionais, e, quase inevitavelmente, conduzirá a estimativas pouco acuradas e semivariogramas com altos níveis de erro. Nesse sentido, de acordo com Webster e Oliver (1992) quando a variação é isotrópica, para que sejam geradas estimativas confiáveis são requeridos no mínimo 100 pontos amostrais e idealmente de 150 a 200. Por outro lado, embora este número de pontos amostrais, seja considerado um importante referencial na atual literatura, não é passível de generalização para todas as situações, podendo ser insuficiente em áreas que as variáveis apresentam variabilidade em escalas menores (curtas distâncias) e pode ser demasiado para áreas em que as variáveis apresentam variabilidade em escalas maiores (longas distâncias) (KERRY et al., 2010).

Tabela 6 - Análise geoestatística dos valores de $pH_{\text{água}}$ em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.

Área	Malha Amostral (m)	Prof. de Amostragem (m)	n ⁽¹⁾	Efeito Pepita	Patamar	Contribuição	Alcance	Modelo	r ²	Dependência Espacial	
										IDE ⁽²⁾	GDE ⁽³⁾
1	100 x 100	0,00-0,10	89	EPP ⁽⁴⁾	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
2	100 x 100	0,00-0,10	28	0,00	0,06	0,05	636,00	Linear	0,98	8,10	Forte
3	100 x 100	0,00-0,10	33	0,04	0,05	0,01	422,80	Linear	0,30	78,00	Fraco
4	100 x 100	0,00-0,10	40	0,05	0,11	0,06	1.295,00	Esférico	0,74	45,45	Moderado
5	100 x 100	0,00-0,10	49	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
6	100 x 100	0,00-0,10	57	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
7	100 x 100	0,00-0,10	65	0,00	0,17	0,17	397,00	Esférico	0,98	1,49	Forte
8	100 x 100	0,00-0,10	47	0,00	0,04	0,04	246,00	Exponencial	0,69	2,50	Forte
9	100 x 100	0,00-0,10	46	0,04	0,12	0,08	384,00	Exponencial	0,77	33,33	Moderado
10	100 x 100	0,00-0,10	41	0,01	0,04	0,03	442,00	Esférico	0,99	22,32	Forte
1	142 x 142	0,00-0,10	45	0,01	0,03	0,02	2.110,00	Esférico	0,72	25,93	Moderada
2	142 x 142	0,00-0,10	75	0,01	0,04	0,03	2.053,00	Esférico	0,81	30,95	Moderada
3	142 x 142	0,00-0,10	45	0,01	0,03	0,02	2.238,00	Esférico	0,67	49,33	Moderada
4	142 x 142	0,00-0,10	43	0,00	0,02	0,02	319,00	Esférico	0,81	0,06	Forte
5	142 x 142	0,00-0,10	59	0,02	0,05	0,03	1.938,00	Esférico	0,90	38,60	Moderada
6	142 x 142	0,00-0,10	73	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
7	142 x 142	0,00-0,10	60	0,00	0,02	0,02	408,00	Exponencial	0,89	20,00	Forte
8	142 x 142	0,00-0,10	62	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
9	142 x 142	0,00-0,10	83	0,00	0,07	0,07	364,00	Esférico	0,83	0,14	Forte
10	142 x 142	0,00-0,10	91	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
1	173 x 173	0,00-0,10	34	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
2	173 x 173	0,00-0,10	36	0,01	0,05	0,04	477,00	Exponencial	0,76	20,00	Forte
3	173 x 173	0,00-0,10	51	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
4	173 x 173	0,00-0,10	33	0,05	0,39	0,34	2.321,00	Esférico	0,87	12,44	Forte
5	173 x 173	0,00-0,10	27	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
6	173 x 173	0,00-0,10	20	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
7	173 x 173	0,00-0,10	24	0,00	0,07	0,07	421,00	Esférico	0,82	0,14	Forte
8	173 x 173	0,00-0,10	31	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
9	173 x 173	0,00-0,10	40	0,06	0,13	0,07	2.110,00	Esférico	0,45	46,88	Moderado
10	173 x 173	0,00-0,10	34	0,00	0,14	0,14	475,00	Esférico	0,82	0,07	Forte
1	100 x 100	0,00-0,15	106	0,05	0,13	0,08	3.110,00	Esférico	0,64	35,57	Moderado
2	100 x 100	0,00-0,15	91	0,03	0,22	0,19	3.110,00	Esférico	0,87	11,98	Forte
3	100 x 100	0,00-0,15	112	0,05	0,17	0,12	2.981,00	Esférico	0,77	27,71	Moderado
4	100 x 100	0,00-0,15	167	0,01	0,11	0,09	532,00	Esférico	0,87	12,95	Forte
5	100 x 100	0,00-0,15	77	0,00	0,06	0,06	269,00	Esférico	0,69	0,16	Forte
6	100 x 100	0,00-0,15	127	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
7	100 x 100	0,00-0,15	119	0,00	0,10	0,09	496,00	Esférico	0,58	4,49	Forte
8	100 x 100	0,00-0,15	71	0,00	0,13	0,13	483,00	Exponencial	0,89	0,08	Forte
9	100 x 100	0,00-0,15	116	0,05	0,10	0,05	1.565,77	Gaussiano	0,85	47,06	Moderado
10	100 x 100	0,00-0,15	54	0,01	0,06	0,05	620,00	Esférico	0,99	12,83	Forte
1	142 x 142	0,00-0,15	31	0,04	0,09	0,05	752,00	Esférico	0,90	43,82	Moderado
2	142 x 142	0,00-0,15	60	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
3	142 x 142	0,00-0,15	64	0,15	0,19	0,04	872,13	Linear	0,56	80,65	Fraco
4	142 x 142	0,00-0,15	53	0,05	0,08	0,04	833,29	Linear	0,83	56,09	Moderado
5	142 x 142	0,00-0,15	30	0,04	0,13	0,10	588,55	Linear	0,72	27,82	Moderado
6	142 x 142	0,00-0,15	37	0,00	0,06	0,06	342,00	Exponencial	0,55	0,17	Forte
7	142 x 142	0,00-0,15	67	0,01	0,08	0,07	731,00	Esférico	0,68	12,82	Forte
8	142 x 142	0,00-0,15	144	0,05	0,09	0,04	1.900,00	Linear	0,70	54,44	Moderado
9	142 x 142	0,00-0,15	55	0,00	0,17	0,17	419,00	Esférico	0,90	0,06	Forte
10	142 x 142	0,00-0,15	38	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
1	173 x 173	0,00-0,15	26	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
2	173 x 173	0,00-0,15	55	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
3	173 x 173	0,00-0,15	21	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
4	173 x 173	0,00-0,15	71	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
5	173 x 173	0,00-0,15	39	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
6	173 x 173	0,00-0,15	67	0,00	0,17	0,17	650,00	Esférico	0,79	0,06	Forte
7	173 x 173	0,00-0,15	39	0,04	0,06	0,02	1.090,15	Linear	0,78	64,71	Moderado
8	173 x 173	0,00-0,15	40	0,03	0,07	0,04	896,68	Linear	0,80	44,12	Moderado
9	173 x 173	0,00-0,15	73	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
10	173 x 173	0,00-0,15	28	0,00	0,53	0,53	2.364,00	Linear	0,97	0,19	Forte

⁽¹⁾n: número de observações (pontos amostrais); ⁽²⁾IDE: índice de dependência amostral; ⁽³⁾GDE: grau de dependência espacial; ⁽⁴⁾EPP: efeito pepita puro.

Tabela 7 - Análise geoestatística dos valores de saturação por bases (V%) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.

Área	Malha Amostral (m)	Prof. de Amostragem (m)	n ⁽¹⁾	Efeito Pepita	Patamar	Contribuição	Alcance	Modelo	r ²	Dependência Espacial	
										IDE ⁽²⁾	GDE ⁽³⁾
1	100 x 100	0,00-0,10	89	91,90	183,90	92,00	3.110,00	Esférico	0,36	49,97	Moderado
2	100 x 100	0,00-0,10	28	2,49	23,60	21,11	771,00	Gaussiano	0,90	10,55	Forte
3	100 x 100	0,00-0,10	33	6,80	42,28	35,48	302,00	Esférico	0,93	16,08	Forte
4	100 x 100	0,00-0,10	40	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
5	100 x 100	0,00-0,10	49	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
6	100 x 100	0,00-0,10	57	38,20	76,41	38,21	1.016,00	Linear	0,30	49,99	Moderado
7	100 x 100	0,00-0,10	65	5,10	175,80	170,70	454,00	Esférico	0,87	2,90	Forte
8	100 x 100	0,00-0,10	47	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
9	100 x 100	0,00-0,10	46	66,00	132,10	66,10	2.064,00	Exponencial	0,79	49,96	Moderado
10	100 x 100	0,00-0,10	41	33,50	88,81	55,31	1.675,00	Esférico	0,86	37,72	Moderado
1	142 x 142	0,00-0,10	45	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
2	142 x 142	0,00-0,10	75	15,60	92,20	76,60	1.767,00	Gaussiano	0,93	16,92	Forte
3	142 x 142	0,00-0,10	45	27,50	262,00	234,50	1.250,00	Gaussiano	0,97	10,50	Forte
4	142 x 142	0,00-0,10	43	0,01	28,42	28,41	316,00	Esférico	0,69	0,04	Forte
5	142 x 142	0,00-0,10	59	25,00	250,90	225,90	1.877,00	Esférico	0,99	9,96	Forte
6	142 x 142	0,00-0,10	73	30,43	60,87	30,44	1.540,00	Gaussiano	0,93	49,99	Moderado
7	142 x 142	0,00-0,10	60	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
8	142 x 142	0,00-0,10	62	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
9	142 x 142	0,00-0,10	83	0,10	123,40	123,30	418,00	Esférico	0,79	0,08	Forte
10	142 x 142	0,00-0,10	91	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
1	173 x 173	0,00-0,10	34	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
2	173 x 173	0,00-0,10	36	58,00	116,01	58,01	3.110,00	Esférico	0,35	50,00	Moderado
3	173 x 173	0,00-0,10	51	0,10	218,70	218,60	537,00	Exponencial	0,61	0,05	Forte
4	173 x 173	0,00-0,10	33	16,20	233,30	217,10	2.083,00	Esférico	0,75	6,94	Forte
5	173 x 173	0,00-0,10	27	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
6	173 x 173	0,00-0,10	20	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
7	173 x 173	0,00-0,10	24	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
8	173 x 173	0,00-0,10	31	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
9	173 x 173	0,00-0,10	40	74,20	148,50	74,30	2.110,00	Esférico	0,91	49,97	Moderado
10	173 x 173	0,00-0,10	34	0,10	129,90	129,80	473,00	Esférico	0,77	0,08	Moderado
1	100 x 100	0,00-0,15	106	81,60	256,10	174,50	3.110,00	Esférico	0,67	31,86	Moderado
2	100 x 100	0,00-0,15	91	50,60	312,10	261,50	2.628,00	Exponencial	0,92	16,21	Forte
3	100 x 100	0,00-0,15	112	78,10	160,60	82,50	2.756,00	Esférico	0,52	48,63	Moderado
4	100 x 100	0,00-0,15	167	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
5	100 x 100	0,00-0,15	77	0,10	48,48	48,38	261,00	Esférico	0,67	0,21	Forte
6	100 x 100	0,00-0,15	127	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
7	100 x 100	0,00-0,15	119	0,80	135,90	135,10	471,00	Esférico	0,78	0,59	Forte
8	100 x 100	0,00-0,15	71	30,70	124,70	94,00	833,00	Esférico	0,98	24,62	Forte
9	100 x 100	0,00-0,15	116	71,00	352,00	281,00	3.805,00	Esférico	0,95	20,17	Forte
10	100 x 100	0,00-0,15	54	7,10	62,34	55,24	421,00	Esférico	0,90	11,39	Forte
1	142 x 142	0,00-0,15	31	77,00	189,10	112,10	843,00	Exponencial	0,51	40,72	Moderado
2	142 x 142	0,00-0,15	60	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
3	142 x 142	0,00-0,15	64	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
4	142 x 142	0,00-0,15	53	56,20	112,41	56,21	2.110,00	Esférico	0,96	50,00	Moderado
5	142 x 142	0,00-0,15	30	24,80	143,50	118,70	750,00	Gaussiano	0,99	17,28	Forte
6	142 x 142	0,00-0,15	37	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
7	142 x 142	0,00-0,15	67	24,70	141,90	117,20	706,00	Esférico	0,76	17,41	Forte
8	142 x 142	0,00-0,15	144	30,80	63,30	32,50	1.504,00	Esférico	0,97	48,66	Moderado
9	142 x 142	0,00-0,15	55	0,10	188,50	188,40	387,00	Esférico	0,91	0,05	Forte
10	142 x 142	0,00-0,15	38	95	240,40	145,80	2.060,00	Esférico	0,57	39,35	Moderado
1	173 x 173	0,00-0,15	26	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
2	173 x 173	0,00-0,15	55	38,00	76,01	38,01	3.110,00	Esférico	0,33	49,99	Moderado
3	173 x 173	0,00-0,15	21	17,00	64,75	47,75	2.733,00	Exponencial	0,50	26,25	Moderado
4	173 x 173	0,00-0,15	71	42,58	51,13	8,55	1.760,00	Linear	0,39	83,28	Fraco
5	173 x 173	0,00-0,15	39	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
6	173 x 173	0,00-0,15	67	0,10	134,20	134,10	639,00	Esférico	0,79	0,07	Forte
7	173 x 173	0,00-0,15	39	19,50	210,50	191,00	3.110,00	Esférico	0,97	9,26	Forte
8	173 x 173	0,00-0,15	40	12,50	106,00	93,50	1.535,00	Esférico	0,97	11,79	Forte
9	173 x 173	0,00-0,15	73	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
10	173 x 173	0,00-0,15	28	60,60	332,10	271,50	1.900,00	Gaussiano	0,79	18,25	Forte

⁽¹⁾n: número de observações (pontos amostrais); ⁽²⁾IDE: índice de dependência amostral; ⁽³⁾GDE: grau de dependência espacial; ⁽⁴⁾EPP: efeito pepita puro.

Tabela 8 - Análise geoestatística dos valores de cálcio (Ca, $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.

Área	Malha Amostral (m)	Prof. de Amostragem (m)	n ⁽¹⁾	Efeito Pepita	Patamar	Contribuição	Alcance	Modelo	r ²	Dependência Espacial	
										IDE ⁽²⁾	GDE ⁽³⁾
1	100 x 100	0,00-0,10	89	0,98	1,97	0,98	3.110,00	Esférico	0,35	49,97	Moderado
2	100 x 100	0,00-0,10	28	0,46	3,54	3,08	843,50	Gaussiano	0,87	12,99	Forte
3	100 x 100	0,00-0,10	33	0,39	0,79	0,40	683,00	Esférico	0,95	49,68	Moderado
4	100 x 100	0,00-0,10	40	0,01	1,88	1,87	566,00	Esférico	0,82	0,53	Forte
5	100 x 100	0,00-0,10	49	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
6	100 x 100	0,00-0,10	57	2,46	4,93	2,47	3.110,00	Esférico	0,41	49,90	Moderado
7	100 x 100	0,00-0,10	65	0,01	1,57	1,56	354,00	Exponencial	0,77	0,64	Forte
8	100 x 100	0,00-0,10	47	0,38	0,77	0,39	433,00	Exponencial	0,41	49,35	Moderado
9	100 x 100	0,00-0,10	46	0,45	3,02	2,56	2.484,00	Gaussiano	0,87	15,04	Forte
10	100 x 100	0,00-0,10	41	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
1	142 x 142	0,00-0,10	45	0,23	0,57	0,34	618,00	Exponencial	0,73	40,18	Moderado
2	142 x 142	0,00-0,10	75	0,28	3,57	3,29	1.694,00	Esférico	0,93	7,84	Forte
3	142 x 142	0,00-0,10	45	0,36	2,72	2,36	2.042,00	Gaussiano	0,93	13,09	Forte
4	142 x 142	0,00-0,10	43	0,01	0,52	0,51	372,00	Esférico	0,78	1,92	Forte
5	142 x 142	0,00-0,10	59	0,58	1,87	1,29	553,00	Gaussiano	0,97	31,02	Moderado
6	142 x 142	0,00-0,10	73	0,36	0,72	0,36	2.187,00	Esférico	0,70	49,93	Moderado
7	142 x 142	0,00-0,10	60	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
8	142 x 142	0,00-0,10	62	0,00	1,03	1,03	462,00	Exponencial	0,42	0,10	Forte
9	142 x 142	0,00-0,10	83	0,00	1,02	1,02	563,00	Esférico	0,90	0,10	Forte
10	142 x 142	0,00-0,10	91	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
1	173 x 173	0,00-0,10	34	0,00	1,42	1,42	450,00	Exponencial	0,46	0,07	Forte
2	173 x 173	0,00-0,10	36	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
3	173 x 173	0,00-0,10	51	2,92	11,85	8,93	3.164,00	Gaussiano	0,67	24,64	Forte
4	173 x 173	0,00-0,10	33	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
5	173 x 173	0,00-0,10	27	1,27	2,55	1,28	3.110,00	Esférico	0,31	49,80	Moderado
6	173 x 173	0,00-0,10	20	1,17	2,33	1,16	2.110,00	Esférico	0,44	50,21	Moderado
7	173 x 173	0,00-0,10	24	0,00	0,50	0,50	356,00	Esférico	0,60	0,20	Forte
8	173 x 173	0,00-0,10	31	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
9	173 x 173	0,00-0,10	40	0,35	0,75	0,40	1.272,00	Exponencial	0,93	46,27	Moderado
10	173 x 173	0,00-0,10	34	0,01	6,09	6,08	442,00	Esférico	0,44	0,16	Forte
1	100 x 100	0,00-0,15	106	0,98	2,75	1,77	3.110,00	Esférico	0,67	35,68	Moderado
2	100 x 100	0,00-0,15	91	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
3	100 x 100	0,00-0,15	112	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
4	100 x 100	0,00-0,15	167	0,87	1,74	0,87	3.761,00	Esférico	0,68	50,00	Moderado
5	100 x 100	0,00-0,15	77	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
6	100 x 100	0,00-0,15	127	1,34	2,69	1,35	4.800,00	Exponencial	0,41	49,81	Moderado
7	100 x 100	0,00-0,15	119	0,53	6,91	6,38	2.042,00	Esférico	0,98	7,67	Forte
8	100 x 100	0,00-0,15	71	0,98	4,21	3,23	1.185,00	Esférico	0,98	23,28	Forte
9	100 x 100	0,00-0,15	116	0,42	5,84	5,42	2.759,00	Esférico	0,93	7,19	Forte
10	100 x 100	0,00-0,15	54	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
1	142 x 142	0,00-0,15	31	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
2	142 x 142	0,00-0,15	60	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
3	142 x 142	0,00-0,15	64	1,56	3,13	1,57	2.110,00	Esférico	0,86	49,84	Moderado
4	142 x 142	0,00-0,15	53	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
5	142 x 142	0,00-0,15	30	0,30	3,77	3,47	841,00	Esférico	0,99	7,96	Forte
6	142 x 142	0,00-0,15	37	0,00	0,74	0,74	321,00	Esférico	0,68	0,14	Forte
7	142 x 142	0,00-0,15	67	0,26	2,16	1,91	662,00	Esférico	0,90	11,81	Forte
8	142 x 142	0,00-0,15	144	1,24	6,33	5,09	3.290,00	Gaussiano	0,99	19,59	Forte
9	142 x 142	0,00-0,15	55	0,00	2,64	2,64	348,00	Esférico	0,74	0,04	Forte
10	142 x 142	0,00-0,15	38	0,61	4,23	3,62	1.517,00	Gaussiano	0,95	14,42	Forte
1	173 x 173	0,00-0,15	26	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
2	173 x 173	0,00-0,15	55	1,52	5,24	3,72	3.110,00	Esférico	0,98	29,01	Moderado
3	173 x 173	0,00-0,15	21	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
4	173 x 173	0,00-0,15	71	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
5	173 x 173	0,00-0,15	39	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
6	173 x 173	0,00-0,15	67	0,00	1,17	1,17	693,00	Esférico	0,80	0,09	Forte
7	173 x 173	0,00-0,15	39	0,71	2,45	1,74	2.323,00	Gaussiano	0,97	28,98	Moderado
8	173 x 173	0,00-0,15	40	0,20	3,41	3,21	1.609,00	Esférico	0,99	5,87	Forte
9	173 x 173	0,00-0,15	73	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
10	173 x 173	0,00-0,15	28	0,46	3,93	3,47	2.355,00	Esférico	0,91	11,70	Forte

⁽¹⁾n: número de observações (pontos amostrais); ⁽²⁾IDE: índice de dependência amostral; ⁽³⁾GDE: grau de dependência espacial; ⁽⁴⁾EPP: efeito pepita puro.

Tabela 9 - Análise geoestatística dos valores de magnésio ($Mg, cmol_c dm^{-3}$) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.

Área	Malha Amostral (m)	Prof. de Amostragem (m)	n ⁽¹⁾	Efeito Pepita	Patamar	Contribuição	Alcance	Modelo	r ²	Dependência Espacial	
										IDE ⁽²⁾	GDE ⁽³⁾
1	100 x 100	0,00-0,10	89	0,22	0,56	0,34	774,00	Esférico	0,76	38,93	Moderado
2	100 x 100	0,00-0,10	28	0,02	0,58	0,56	765,57	Gaussiano	0,88	3,47	Forte
3	100 x 100	0,00-0,10	33	0,15	0,30	0,15	1.242,00	Esférico	0,81	50,00	Moderado
4	100 x 100	0,00-0,10	40	0,07	0,48	0,41	512,00	Esférico	0,79	13,57	Forte
5	100 x 100	0,00-0,10	49	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
6	100 x 100	0,00-0,10	57	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
7	100 x 100	0,00-0,10	65	0,05	0,32	0,27	422,00	Esférico	0,88	14,78	Forte
8	100 x 100	0,00-0,10	47	0,02	0,18	0,16	330,00	Exponencial	0,53	8,52	Forte
9	100 x 100	0,00-0,10	46	0,12	0,56	0,44	1.968,00	Esférico	0,95	21,21	Forte
10	100 x 100	0,00-0,10	41	0,08	0,21	0,13	562,00	Esférico	0,88	39,44	Moderado
1	142 x 142	0,00-0,10	45	0,07	0,21	0,14	1.538,00	Esférico	0,92	31,25	Moderado
2	142 x 142	0,00-0,10	75	0,07	1,17	1,10	2.654,00	Esférico	0,94	5,98	Forte
3	142 x 142	0,00-0,10	45	0,01	1,10	1,09	3.110,00	Esférico	0,95	0,91	Forte
4	142 x 142	0,00-0,10	43	0,00	0,11	0,11	501,00	Esférico	0,79	0,09	Forte
5	142 x 142	0,00-0,10	59	0,06	0,88	0,82	2.110,00	Esférico	0,97	6,83	Forte
6	142 x 142	0,00-0,10	73	0,41	0,83	0,42	3.110,00	Esférico	0,31	49,40	Moderado
7	142 x 142	0,00-0,10	60	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
8	142 x 142	0,00-0,10	62	0,05	0,26	0,21	791,00	Esférico	0,80	17,69	Forte
9	142 x 142	0,00-0,10	83	0,02	0,28	0,26	890,00	Esférico	0,91	7,04	Forte
10	142 x 142	0,00-0,10	91	0,03	0,23	0,19	467,00	Esférico	0,47	14,73	Forte
1	173 x 173	0,00-0,10	34	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
2	173 x 173	0,00-0,10	36	0,16	0,32	0,16	2.687,00	Esférico	0,61	49,85	Moderado
3	173 x 173	0,00-0,10	51	0,29	1,84	1,55	3.110,00	Esférico	0,90	15,76	Forte
4	173 x 173	0,00-0,10	33	0,39	0,87	0,48	2.223,00	Esférico	0,52	44,94	Moderado
5	173 x 173	0,00-0,10	27	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
6	173 x 173	0,00-0,10	20	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
7	173 x 173	0,00-0,10	24	0,00	0,17	0,17	372,00	Exponencial	0,35	0,06	Forte
8	173 x 173	0,00-0,10	31	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
9	173 x 173	0,00-0,10	40	0,08	0,19	0,11	1.752,00	Esférico	0,88	43,01	Moderado
10	173 x 173	0,00-0,10	34	0,00	1,53	1,53	632,00	Esférico	0,86	0,07	Forte
1	100 x 100	0,00-0,15	106	0,24	0,66	0,42	3.110,00	Esférico	0,64	36,36	Moderado
2	100 x 100	0,00-0,15	91	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
3	100 x 100	0,00-0,15	112	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
4	100 x 100	0,00-0,15	167	0,23	0,29	0,06	1.298,00	Linear	0,52	79,31	Fraco
5	100 x 100	0,00-0,15	77	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
6	100 x 100	0,00-0,15	127	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
7	100 x 100	0,00-0,15	119	0,08	0,36	0,28	1.546,00	Esférico	0,94	22,22	Forte
8	100 x 100	0,00-0,15	71	0,28	1,21	0,93	3.209,00	Esférico	0,92	22,81	Forte
9	100 x 100	0,00-0,15	116	0,12	0,36	0,24	2.001,00	Esférico	0,92	33,33	Moderado
10	100 x 100	0,00-0,15	54	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
1	142 x 142	0,00-0,15	31	0,19	0,58	0,39	1.725,00	Esférico	0,98	32,59	Moderado
2	142 x 142	0,00-0,15	60	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
3	142 x 142	0,00-0,15	64	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
4	142 x 142	0,00-0,15	53	0,13	0,26	0,13	2.110,00	Esférico	0,38	50,00	Moderado
5	142 x 142	0,00-0,15	30	0,00	2,01	2,01	1.075,00	Esférico	0,99	0,05	Forte
6	142 x 142	0,00-0,15	37	0,00	0,19	0,19	447,00	Esférico	0,68	0,05	Forte
7	142 x 142	0,00-0,15	67	0,00	0,73	0,73	746,00	Esférico	0,88	0,14	Forte
8	142 x 142	0,00-0,15	144	0,39	2,02	1,63	3.226,00	Gaussiano	0,99	19,21	Forte
9	142 x 142	0,00-0,15	55	0,00	0,62	0,62	387,00	Esférico	0,74	0,16	Forte
10	142 x 142	0,00-0,15	38	0,10	0,90	0,80	2.876,00	Esférico	0,90	11,11	Forte
1	173 x 173	0,00-0,15	26	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
2	173 x 173	0,00-0,15	55	0,56	3,14	2,58	3.513,00	Gaussiano	0,99	17,83	Forte
3	173 x 173	0,00-0,15	21	0,06	0,26	0,20	3.110,00	Esférico	0,47	23,08	Forte
4	173 x 173	0,00-0,15	71	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
5	173 x 173	0,00-0,15	39	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
6	173 x 173	0,00-0,15	67	0,00	0,44	0,44	933,00	Esférico	0,94	0,23	Forte
7	173 x 173	0,00-0,15	39	0,15	0,31	0,16	3.110,00	Esférico	0,51	48,39	Moderado
8	173 x 173	0,00-0,15	40	0,02	1,22	1,20	3.110,00	Esférico	0,95	1,39	Forte
9	173 x 173	0,00-0,15	73	0,02	0,32	0,30	876,00	Exponencial	0,60	6,25	Forte
10	173 x 173	0,00-0,15	28	0,00	1,99	1,99	3.110,00	Esférico	0,93	0,05	Forte

⁽¹⁾n: número de observações (pontos amostrais); ⁽²⁾IDE: índice de dependência amostral; ⁽³⁾GDE: grau de dependência espacial; ⁽⁴⁾EPP: efeito pepita puro.

Diante disso, quando são utilizadas malhas amostrais maiores, com pontos mais espaçados entre si, geralmente ≥ 100 m, associados a um tamanho reduzido das áreas, situação comumente verificada nas áreas de AP do sul do Brasil, a compreensão e representação das diferentes escalas da variabilidade dos atributos de acidez e das bases relacionadas, ainda são limitadas, mesmo com o uso de geoestatística (SIQUEIRA et al., 2010). Portanto, pode-se inferir que as malhas amostrais utilizadas nas áreas de Latossolo Vermelhos manejados com AP no RS, não são eficientes para captar as diferentes escalas da variabilidade espacial de $\text{pH}_{\text{água}}$, V, Ca e Mg, especialmente quando expressa em curtas distâncias. Entretanto, é importante ressaltar que a inserção da AP e conseqüentemente da amostragem de solo em malhas, mesmo que apresentem níveis de confiabilidade limitados em algumas situações, possibilitaram uma evolução no diagnóstico da fertilidade do solo sem precedentes na agricultura gaúcha e brasileira, resgatando o papel fundamental da amostragem de solo na gestão da fertilidade do solo e da produção agrícola.

A ineficiência das malhas amostrais utilizadas comercialmente, também são apontadas por Kerry e Oliver (2008), Kerry et al. (2010) e Franzen (2011) no Estados Unidos, onde geralmente as áreas de AP utilizam malhas de 100 m (uma amostra ha^{-1}). Para condições brasileiras, os resultados do presente estudo concordam com os obtidos por Corá e Beraldo (2006) e Nanni et al. (2011) onde a coleta de uma amostra ha^{-1} não foi suficientes para captar a variabilidade espacial da V, sendo necessário o uso de malhas mais adensadas para possibilitar a recomendação de corretivos com maior acurácia.

Desta forma, na ausência de dependência espacial dos dados ou dependências com confiabilidade limitada atribuída, sugere-se que os usuários de AP não utilizem a interpolação por krigagem, caso contrário, os mapas temáticos dos atributos do solo utilizados para determinar as taxas variáveis de corretivos e fertilizantes não expressarão os principais padrões de variação presente na área (KERRY e OLIVER, 2008). Sob tais condições, o uso de interpoladores mais simples (lineares ou polinomiais), como o inverso da distância, podem ser tão eficientes quanto o método de krigagem (KRAVCHENKO, 2003; FRANZEN, 2011). Segundo Corá e Beraldo (2006), a precisão dos mapas é dependente do método de interpolação utilizado na estimativa dos valores em locais não amostrados, e o método de interpolação, por sua vez, é dependente da densidade de pontos amostrados por área.

Estes resultados endossam o que está sendo praticado atualmente no campo, em que os usuário da AP, durante o processo de elaboração dos mapas temáticos utilizam programas computacionais, disponíveis no mercado para suporte em AP, que não levam em consideração a dependência espacial dos atributos analisados para estimar valores em locais não

amostrados (CORÁ e BERALDO, 2006). Entretanto, é importante reiterar, que a possibilidade de gerar os mapas temáticos dos atributos de acidez, Ca e Mg e intervir em sítio-específico com bases neles, na ausência de dependência espacial dos dados verificada por meio da geoestatística, não exime os planos amostrais de preconizar amostragens mais densas, capazes de realmente detectar as diferentes escalas de variabilidade espacial dos atributos analisados. Por melhor que seja o método de interpolação, jamais conseguirá prever os valores com acurácia equiparável aos valores obtidos por meio da amostragem no campo.

Diante dos resultados obtidos neste estudo exploratório, confirmam-se as pressuposições de que a variabilidade espacial dos atributos de acidez e bases relacionadas é única em cada área, sendo condicionada em diferentes escalas por fatores intrínsecos e extrínsecos do solo. Portanto, a partir de malhas amostrais com dimensões ≥ 100 m, como as que vêm sendo utilizadas na região Sul do Brasil, não é possível generalizar um modelo confiável da variabilidade espacial destes atributos para Latossolos Vermelhos. Entretanto, o estudo fornece uma noção geral da escala de variação dos atributos estudados no solo, constituindo-se um importante referencial que poderá balizar o planejamento de futuras estratégias de amostragem de solo a serem adotadas nas áreas de AP do RS.

Como sugestões futuras, indica-se a necessidade de estudos detalhados em uma microrregião, propriedade ou uma mesma área, testando diferentes dimensões de malhas amostrais, visando melhor compreensão do comportamento da variabilidade dos diferentes atributos químicos no solo e possíveis definições de estratégias de manejo da fertilidade mais eficientes.

2.6 Conclusões

1. Os atributos de acidez do solo, $\text{pH}_{\text{água}}$ e V e bases relacionadas, Ca e Mg, apresentam de baixa a moderada dispersão dos dados, entretanto, não foi constatada a normalidade dos dados em todas as áreas estudadas.
2. As malhas amostrais utilizadas nas áreas de Latossolo Vermelhos manejados com AP no RS, de modo geral, sob procedimentos geoestatísticos, não são eficientes para captar as diferentes escalas da variabilidade espacial dos atributos de acidez e bases relacionadas, podendo induzir prescrições de corretivos de menor acurácia.
3. A profundidade de amostragem, 0,00-0,10 m ou 0,00-0,15 m, não altera a eficiência das malhas amostrais testadas.

4. A utilização de malhas amostrais com baixo número de pontos e/ou pontos demasiadamente distantes ($\geq 100\text{m}$) pode limitar a eficiência da interpolação, comprometendo a acurácia das predições nos locais não amostrados.
5. A variabilidade espacial em curtas distâncias (microvariabilidade) deverá ser levada em consideração em futuros planos de amostragem, visando à caracterização e manejo localizado da acidez do solo, nas áreas de Latossolo Vermelho manejadas com AP.

2.7 Agradecimentos

Aos professores Dr. Antônio Luis Santi e Dr. Jackson Ernani Fiorin pela disponibilização do banco de dados para realização deste estudo. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

2.8 Referências Bibliográficas

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.831-843, 2009.

ANJOS, L. H. C. dos; JACOMINE, P. K. T.; SANTOS, H. G. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. Sistema Brasileiro de Classificação de Solo. In: KER, J. C; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds). **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.303-343, 2012.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M. de; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. de. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p.1-9, 2013.

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 American Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.;

BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.769-850, 2007.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1329-1339, 2007.

CHANG, J.; CLAY, D. E.; CARLSON, C. G.; MALO, D.; CLAY, S. A. Precision Farming Protocols: Part 1. Grid distance and soil nutrient impact on the reproducibility of spatial variability measurements. **Precision Agriculture**, v.1, p.277-289, 1999.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p.196-210, 2011.

COELHO, A. M. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, R. F.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVARES V., V. H. (Eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.259-290, 2003.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1013-1021, 2004.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.374-387, 2006.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.453-461, 2012.

FIORIN, J. E. **Manejo e Fertilidade do Solo no Sistema Plantio Direto**. Passo Fundo: Berthier, 2007. 184p.

FRANZEN, D. W. Collecting and analyzing soil spatial information using kriging and inverse distance. In: CLAY, D. E.; SHANAHAN, J. F. **GIS Applications in Agriculture – Volume Two – Nutrients Management for Energy Efficiency**, EUA: CRC Press, p.61-80, 2011.

FRANZEN, D. W.; PECK, T. R. Field soil sampling density for variable rate fertilization. **Journal of Production Agriculture**, v.8, p.568-574, 1995.

GOOVAERTS, P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. **Geoderma**, v.89, p.1-45, 1999.

HAN, S.; GORING, C. E.; HUMMEL, J. W.; CAHAM, M. D. Selection of cell size for site-specific crop management. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.37, p.19-25, 1992.

KERRY, R.; OLIVER, M. A. Determining nugget:sill ratios of standardized variograms from aerial photographs to krige sparse soil data. **Precision Agriculture**, v.9, p.33-56, 2008.

KERRY, R.; OLIVER, M. A.; FROGBROOK, Z. L. Sampling in Precision Agriculture. In: OLIVER, M. A. (Org.). **Geostatistical Applications for Precision Agriculture**. 1 ed. Heidelberg: Springer-Verlag, p.35-63, 2010.

KRAVCHENKO, A. N. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. **Soil Science Society of America Journal**, v.67, p.1564-1571, 2003.

MALLARINO, A. P.; WITTRY, D. Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. **Precision Agriculture**, v.5, p.131-144, 2004.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v.58, p.1246-1266, 1963.

McBRATNEY, A. B.; PRINGLE, M. J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. **Precision Agriculture**, v.1, p.125-152, 1999.

MCBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R.; BURGESS, T. M. The design of optimal sampling schemes for local estimation of regionalized variables. I. Theory and Method: **Computers & Geosciences**, v.7, p.331-334, 1981.

McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties? **Soil Science**, v.135, p.177-183, 1983.

MONTANARI, R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES Jr., J.; SOUZA, Z. M.; PAZETO, R. J.; CAMARGO, L. A. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos. **Ciência Rural**, v.38, p.1266-1272, 2008.

MONTANARI, R.; SOUZA, G. S. A.; PEREIRA, G. T.; MARQUES Jr., J.; SIQUEIRA, D. S.; SIQUEIRA, G. M. The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v.13, p.542-552, 2012.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.839-847, 2006.

NANNI, M. R.; POVH, F. P.; DAMATTÊS, J. A. M.; OLIVEIRA, R. B.; CHICATI, M. L.; CEZAR, E. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. **Scientia Agrícola**, v.68, p.386-392, 2011.

ROBERTSON, G. P. **GS+**: geostatistics for the environmental sciences. Versão 5.03. Beta, Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; DELLA FLORA, L. P.; BASSO, J. C. Análise de componentes principais de atributos

químicos e físicos do solo limitante à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1346-1357, 2012.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; DELLA FLORA, L. P.; SMANIOTTO, R. F. F. É chegada a hora da integração do conhecimento. **Revista Plantio Direto**, v.129, p.24-30, 2009.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SAS INSTITUTE – Statistical Analysis System. **SAS/STAT User's Guide 8.0**. North Caroline, NC: SAS Institute Inc., 1999. 3365p.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, v.52, p.591-611, 1965.

SHI, Z.; WANG, K.; BAILEY, J. S.; JORDAN, C.; HIGGINS, A. J. Sampling strategies for mapping soil phosphorus and soil potassium distributions in cool temperate grassland. **Precision Agriculture**, v.2, p.347-357, 2000.

SIQUEIRA, D. S.; MARQUES Jr., J.; PEREIRA, G. T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. **Geoderma**, v.155, p.55-66, 2010.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.206-274, 2007.

SOUZA, Z. M. de; MARQUES Jr., J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v.34, p.1763-1771, 2004.

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

TEDESCO, M. J; GIANELLO, C; BISSANI, C. A; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v.38, p.45-94, 1985.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES V., V. H. e SCHAEFFER, C. E. G. R. eds. **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54, 2000.

WEBSTER, R.; LARK, M. **Field Sampling for Environmental Science and Management**. 1° ed. London: Routledge. 2012. 200p.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Geostatistics for Environmental Scientists**. 2° ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 2007. 330p.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. Sample adequately to estimate variograms of soil properties. **Journal of Soil Science**, v.43, p.177-192, 1992.

WILDING, L. P.; DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L. P.; SMECK, N. E.; HALL, G. F. (Eds). **Pedogenesis and Soil Taxonomy - I. Concepts and Interactions**. Amsterdam: Elsevier, p.83-116, 1983.

3 ARTIGO II

MALHAS AMOSTRAIS E A VARIABILIDADE ESPACIAL EM LATOSSOLOS NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL. II - ESTUDO EXPLORATÓRIO DOS TEORES DE FÓSFORO E POTÁSSIO

3.1 Resumo

O sucesso do manejo de fertilizantes em sítio específico é condicionado por uma amostragem de solo que possibilite reconhecer adequadamente a variabilidade espacial do nutriente manejado no solo. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi estudar a eficiência das malhas amostrais, utilizadas no Sul do Brasil, na caracterização da variabilidade espacial do fósforo (P) e potássio (K) em Latossolos Vermelhos manejados com AP. O estudo foi conduzido em 60 áreas agrícolas localizadas no norte do Rio Grande do Sul (RS), que apresentam solo classificado como Latossolo Vermelho. As áreas foram amostradas utilizando malhas regulares de 100 x 100 m (20 áreas), 142 x 142 m (20 áreas) e 173 x 173 m (20 áreas), sendo que 10 áreas de cada malha foram coletadas de 0,00-0,10 m e 10 áreas de 0,00-0,15 m. Os valores de P e K foram submetidos à análise estatística exploratória e a análise geoestatística por meio de semivariogramas. Com base nos resultados, conclui-se que as áreas de Latossolos Vermelhos manejadas com AP no RS apresentam teores médios de P e K adequados ao desenvolvimento das culturas, entretanto, ainda existem locais com baixos teores de P justificando fertilizações em sítio-específico. As dimensões de malhas amostrais utilizadas não são eficientes para captar as diferentes escalas da variabilidade espacial de P e K, necessitando malhas amostrais menores que considerem a variabilidade a curtas distâncias.

Palavras-chave: agricultura de precisão, amostragem de solo, fertilidade do solo, manejo sítio-específico.

3.2 Abstract

The successful management of fertilizer site-specific is affected by a soil sampling that enables adequately recognize the spatial variability of soil nutrient managed. In this context, the objective of the work was to evaluate the influence of dimensional sampling grids used in the characterizations of spatial variability of attributes P and K in Oxisols managed with PA.

The study was conducted in 60 agricultural areas, located in North region of Rio Grande do Sul (RS), presenting soil classified as Oxisols and are managed with PA tools. The areas were sampled using grids of 100 x 100 m (20 areas), 142 x 142 m (20 areas) and 173 x 173 m (20 areas), being that 10 areas of each grid were collected from 0.00-0.10 m and 10 areas from 0.00-0.15 m. The values of P and K subjected to exploratory statistical and geostatistical analysis through semivariograms. Based on the results, it is concluded that the areas of Oxisols managed with PA in RS showed concentration of P and K suitable for crops development, however there are still subareas with low levels of P, justifying fertilization on site-specific. The sampling grids size used are not efficient to capture the different scales of spatial variability of P and K, requiring smaller sampling grids to consider variability over short distances.

Keywords: precision agriculture, soil sampling, soil fertility, site-specific management.

3.3 Introdução

A busca pela otimização dos recursos de produção e consequente redução dos custos envolvidos nas atividades agrícolas brasileiras, tem exigido que a gestão da fertilidade do solo se torne cada vez mais eficiente. Diante disso, a adoção da agricultura de precisão (AP), um sistema de gerenciamento agrícola, que se utiliza de um conjunto de tecnologias e procedimentos para obter o registro georreferenciado das informações e consequentemente, otimizar a utilização dos fatores de produção envolvidos, tem se intensificado, tornando uma importante estratégia para melhorar a fertilidade dos solos e a produtividade das culturas.

No estado do Rio Grande do Sul (RS), se estima que mais de dois milhões de hectares (ha) utilizem alguma ferramenta de AP (SANTI et al., 2009), basicamente voltadas ao manejo da fertilidade do solo, concentrando-se na metade norte, onde localizam-se as principais regiões de produção de grãos. Nessa região, tem-se predominância de solos classificados como Latossolos (STRECK et al., 2008), caracterizados por serem altamente intemperizados, muito profundos, bem drenados, homogeneidade no perfil, fortemente ácidos e baixa fertilidade química (STRECK et al., 2008; SANTOS et al., 2006; ANJOS et al., 2012). Portanto, aplicações de corretivos e fertilizantes, especialmente fosfatados, apresentam uma alta probabilidade de respostas positivas na produtividade das culturas (RHEINHEIMER et al., 2001; FIORIN, 2007; AMADO e SANTI, 2011).

Com a introdução da AP, a primeira etapa no manejo da fertilidade do solo constitui-se em estabelecer um plano de amostragem criterioso, capaz de captar a variabilidade espacial

dos atributos do solo eficientemente (COELHO, 2003). Com base nas informações obtidas a partir da amostragem, torna-se possível proceder ao manejo da fertilidade da área de modo diferenciado, considerando a variabilidade e a dependência espacial dos nutrientes no solo (AMADO e SANTI, 2011).

Os planos de amostragens de solo, adotados comercialmente nas áreas de AP do RS, para a caracterização da variabilidade dos atributos químicos do solo e orientação de aplicações localizadas de corretivos e fertilizantes (fosfatados e potássicos), utilizam indiscriminadamente malhas amostrais regulares, com pontos de coleta espaçados de 100 m (uma amostra cada um ha) a 175 m (uma amostra cada três ha). No entanto, essas dimensões de malhas, na maioria das vezes, não levam em consideração, princípios básicos da geoestatística, como a escala de variação dos atributos e o número de amostras necessárias para uma acurada predição dos pontos não amostrados (KERRY et al., 2010).

Diversos estudos têm demonstrado que a dependência espacial varia conforme o tipo de solo (MONTANARI et al., 2008), relevo (SOUZA et al., 2004; FRANZEN et al., 2006; SOUZA et al., 2006; MONTANARI et al., 2008), atributo químico (MALLARINO e WITTRY, 2004; CHERUBIN et al., 2011; NANNI et al., 2011), profundidade de coleta (CORÁ et al., 2004; ZANÃO Jr. et al., 2010) e uso e manejo do solo (CORÁ et al., 2004; CAVALCANTE et al., 2007). Portanto, as diferentes escalas de variação dos atributos do solo induzem uma grande dificuldade no desenvolvimento de um plano de amostragem, que utilize uma malha amostral com espaçamento único quando vários atributos do solo estão envolvidos (CAMBARDELLA e KARLEN, 1999; CHANG et al., 1999; MONTANARI et al., 2012).

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi estudar a eficiência das malhas amostrais, utilizadas no Sul do Brasil, na caracterização da variabilidade espacial do fósforo (P) e potássio (K) em Latossolos Vermelhos manejados com AP.

3.4 Material e Métodos

O estudo foi conduzido em 60 áreas agrícolas localizadas na região Norte do estado do RS, Brasil, abrangendo 6.046,55 ha distribuídos em 23 municípios (Figura 1).

A região estudada está localizada na província geomorfológica do Planalto, e estende-se pelas regiões fisiográficas do Planalto Médio, Alto Uruguai e Missões. O relevo é suave ondulado, e o solo predominante é classificado como Latossolo Vermelho, com altos teores de alumínio e ferro, associados a baixa saturação por bases (aluminoférrico, distroférico ou distrófico) e textura argilosa (SANTOS et al., 2006; STRECK et al., 2008).

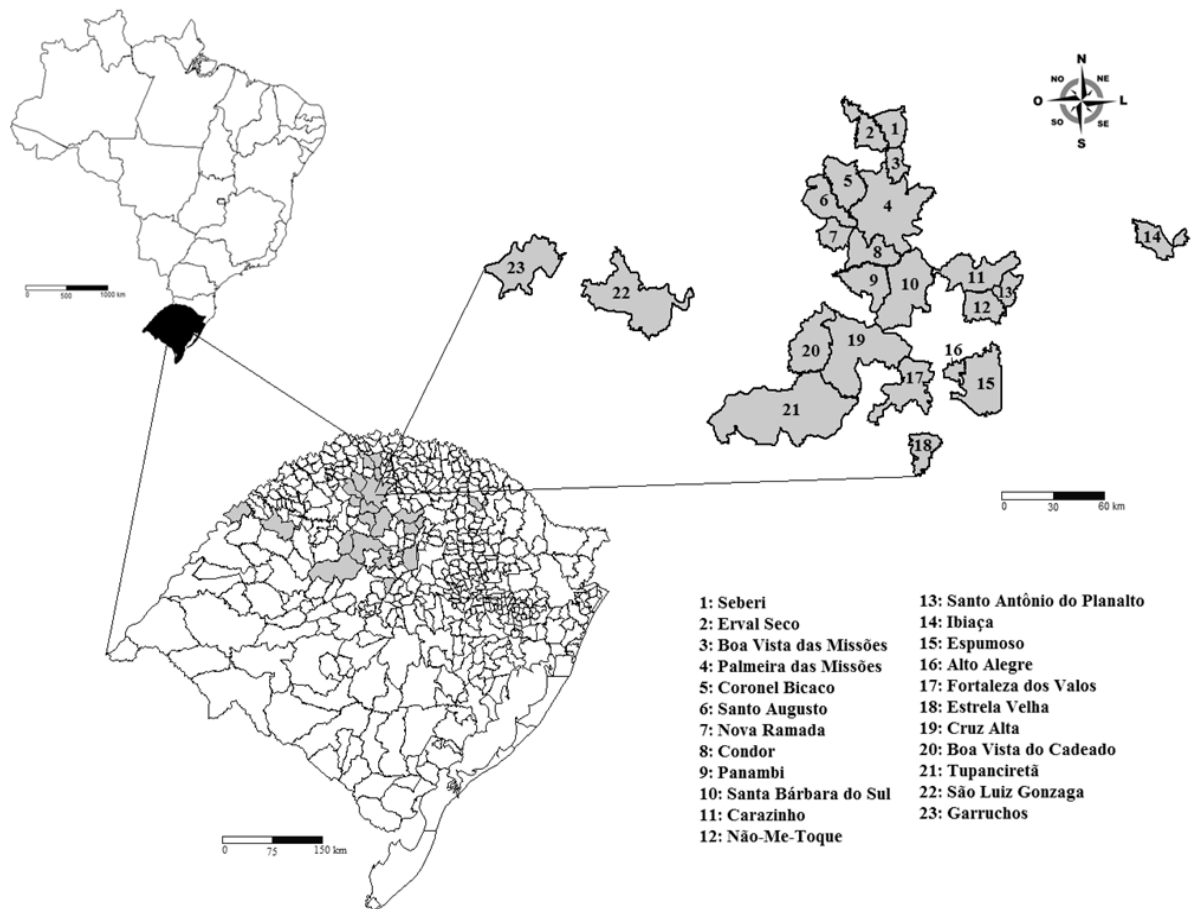


Figura 1 – Municípios onde se localizam as 60 áreas experimentais de Latosolo Vermelho manejadas com agricultura de precisão. Rio Grande do Sul, Brasil.

As amostragens georreferenciadas do solo nas áreas estudadas foram realizadas entre os anos de 2008 a 2011, seguindo diferentes estratégias metodológicas quanto à dimensão de malha amostral e profundidade de amostragem. Todas as áreas utilizadas foram amostradas pela primeira vez na forma georreferenciada de maneira que não tivessem efeitos de aplicações em taxa variada de corretivos e fertilizantes.

As dimensões de malhas amostrais avaliadas são as mais comumente utilizadas em nível de campo nas áreas de AP do RS, sendo essas: 100 x 100 m (uma amostra a cada um ha); 142 x 142 m (uma amostra a cada dois ha); e 173 x 173 m (uma amostra a cada três ha). Assim, para cada malha foram estudadas 20 áreas, sendo que, 10 áreas foram coletadas na profundidade 0,00-0,10 m, profundidade recomendada pela Comissão... (2004) para áreas agrícolas com sistema plantio direto consolidado, e as outras 10 áreas foram coletadas na profundidade 0,00-0,15 m, profundidade adaptada da recomendação da Comissão... (2004),

que vem sendo amplamente utilizada pelos produtores rurais e prestadores de serviço nas áreas de AP do RS. Desta forma, foram coletadas e estudadas 3.539 amostras de solo.

As amostras de solo foram coletadas com uso de trado de rosca acoplado em quadriciclo, em ambas as profundidades. As amostras foram encaminhadas para análises nos laboratório de análises de solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e da Cooperativa Central Gaúcha Ltda (CCGL TEC/FUNDACEP). As amostras foram analisadas conforme metodologias descritas por Tedesco et al. (1995) e recomendadas pela Comissão... (2004). Para o presente estudo, foram avaliados os teores disponíveis de P (mg dm^{-3}) e K (mg dm^{-3}). Os parâmetros interpretativos de P e K, teor de argila (%) e capacidade de troca de cátions potencial ($\text{CTC}_{\text{pH}7}$, $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), respectivamente, são apresentados no Apêndice A. Com bases nas recomendações da Comissão... (2004) as áreas apresentaram teores médios de argila classificados na classe 2 (40-60%) e $\text{CTC}_{\text{pH}7}$ classificada como média (5,1-15,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Os dados foram submetidos à análise exploratória (estatística descritiva), objetivando verificar a posição e dispersão dos dados, com o auxílio do programa computacional *Statistical Analysis System – SAS 8.0* (SAS INSTITUTE, 1999). Os parâmetros estatísticos determinados foram: mínimo, média, máximo, desvio padrão e coeficientes de variação (CV%), de precisão (CP%), de assimetria (Cs) e de curtose (Ck). Com base nos valores de CV(%) obtidos, a dispersão dos dados foi classificada em: baixa (CV: <15%), moderada (CV: 15 a 35%) e alta (CV: >35%) (WILDING e DREES, 1983). Os valores de coeficiente de curtose (Cs), que expressa a dispersão (achatamento) da distribuição em relação a um padrão, que geralmente é a curva normal, foram classificados em: Ck =0 distribuição é mesocúrtica, Ck <0 platicúrtica e se Ck >0 leptocúrtica. Os valores de coeficiente de assimetria (Ck) que visam caracterizar quanto e como a distribuição de frequências se afasta da simetria, foram classificados em: Cs >0 distribuição assimétrica à direita; Cs <0 distribuição é assimétrica à esquerda; e Cs =0, a distribuição é simétrica. Além disso, verificou-se a existência de tendência central (normalidade) dos dados originais por meio do Teste W ($p < 0,05$) (SHAPIRO e WILK, 1965). Foram considerados como distribuição de probabilidade normal os dados que obtiveram resultado de p -valor >0,05, ou seja, valor não significativo ao nível de 5% de significância.

A análise da variabilidade espacial dos atributos químicos foi feita através de semivariogramas (VIEIRA, 2000), cujos ajustes foram realizados por modelos teóricos (esférico, exponencial, gaussiano e linear) utilizando o programa computacional *Gamma Design Software – GS+* (ROBERTSON, 1998). Os modelos dos semivariogramas foram

ajustados com base no melhor coeficiente de determinação (r^2) e menor soma de quadrados do resíduo (SQR) e avaliados pela técnica de validação cruzada. Do ajuste de um modelo matemático aos dados, foram definidos os parâmetros do semivariograma: efeito pepita (C_0), contribuição (C_1), patamar (C_0+C_1) e alcance (a). O índice de dependência espacial (IDE), foi calculado por meio da equação, $IDE = [C_0/(C_0+C_1)]*100$. Com base nos IDE classificou-se o grau de dependência espacial (GDE) como forte, para $IDE \leq 25\%$; moderado, para IDE entre 25 e 75%, e fraco, para $IDE > 75\%$ (CAMBARDELLA et al., 1994).

3.5 Resultados e Discussão

A análise estatística exploratória dos valores de P (Tabela 1) possibilitou verificar que em geral, os teores médios encontram-se adequados, entretanto, a maioria das áreas ainda apresentam locais com teores limitantes ao desenvolvimento das culturas (COMISSÃO..., 2004; FIORIN, 2007). Os baixos teores de P disponíveis são característicos de Latossolos Vermelhos ocorrem no RS (FIORIN, 2007), e já foram reportados em trabalhos de Amado et al. (2009), Cherubin et al. (2011) e Santi et al. (2012a e b). Segundo Novais et al. (2007) a medida que aumenta o grau de intemperismo, há uma mudança gradual nas características do solo, tornando-se mais eletropositivo e com grande capacidade de adsorver e reter ânions, tais como os fosfatos. Assim, caracteriza-se como um dos nutrientes mais limitantes às plantas e, por consequência, torna-se prioridade de intervenção de manejo, via fertilizantes (SILVA et al., 2010).

Quanto à amplitude dos valores de P, verifica-se que os teores máximos foram de 2,50 a 17,90 vezes maiores que os valores mínimos, indicando a enorme potencialidade do uso do manejo em sítio-específico preconizado na AP. Segundo Amado et al. (2009) a utilização do teor médio de P como critério de definição da dose de adubação fosfatada, em área com elevada variabilidade espacial pode conduzir a erros, subestimando e/ou superestimando a necessidade adequada de fertilizante.

O teste de normalidade revelou que 70,00% das áreas não apresentaram distribuição de frequência normal, com coeficientes de assimetria deslocados à direita ($C_s > 0$) e coeficientes de curtose indicando distribuições leptocúrticas ($C_k > 0$). A variação dos dados é comprovada pelos valores de CV, classificados em 26,66% das áreas como moderados (15-35%) e em 73,34% das áreas, como altos ($> 35\%$). Altas variações em dados de P concordam com diversos estudos em Latossolos reportados na literatura (MONTEZANO et al., 2006; MONTANARI et al., 2008; AMADO et al., 2009; SILVA et al., 2010; ZANÃO Jr. et al.,

2010; CHERUBIN et al., 2011; NANNI et al., 2011; DALCHIAVON et al., 2012; FERRAZ et al., 2012; SANTI et al., 2012a e b). De acordo com muitos dos autores acima citados, a elevada variação dos teores de P decorre em função das sucessivas aplicações de fertilizantes localizada na linha a taxa fixa contribuindo para a manutenção e/ou aumento da micro e macrovariabilidade espacial nas áreas. Além disso, a falta metodologias que indique e padronize o arranjo espacial de coleta das subamostras nos pontos georreferenciados (relação linha e entrelinha) contribui para o aumento da variação dos dados obtidos.

Em relação ao K (Tabela 2) verificou-se que as áreas estudadas apresentam teores acima do nível crítico, classificando como altos e muito altos (COMISSÃO..., 2004). Altos teores de K também foram verificados por Amado et al. (2009), Cherubin et al. (2011) e Santi et al. (2012a e b) sob condições de Latossolos no sul do Brasil, e estão atrelados ao intenso intemperismo dos minerais primários (micas, feldspatos e feldspatóides) e secundários (illita, vermiculita e argilominerais interestratificados) que contém este elemento (ERNANI et al., 2007) associado ao histórico de sucessivas adubações utilizando formulações com elevadas quantidade de K adicionada às culturas (RHEINHEIMER et al., 2001). Cabe ressaltar, que o excesso de K no solo pode causar desequilíbrio de bases e comprometer a produtividade das culturas (NOGARA NETO et al., 2011; SANTI et al., 2012a), portanto, nessas situações a aplicação de fertilizantes potássicos merece cautela, sendo recomendada somente adubação de reposição de acordo com a exportação das culturas.

Quanto à amplitude dos valores de K, nota-se que os teores máximos foram de 1,70 a 7,70 vezes maiores que os valores mínimos. Essa menor variação em relação à observada no P, é refletida pelos valores de CV, predominantemente classificados como moderados (15-35%) em 86,67% das áreas, e pela distribuição de frequências normal, observadas em mais da metade (57,67%) das áreas estudadas. As menores variações do K (MONTEZANO et al., 2006, AMADO et al., 2009, ZANÃO Jr. et al., 2010; CHERUBIN et al., 2011, FERRAZ et al., 2012 e SANTI et al., 2012b), podem ser atribuídos à maior mobilidade horizontal e vertical do K em relação ao P no solo (ERNANI et al., 2007) minimizando a microvariabilidade a partir da concentração de fertilizantes potássicos na linha. Além disso, a rápida liberação do K presente nos restos culturais, dispostos uniformemente na área, contribui na redução da variabilidade dos teores no solo.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos teores de fósforo (P, mg dm⁻³) em áreas de Latossolo Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.

Área	Malha Amostral (m)	Profundidade de Amostragem (m)	Parâmetros Estatísticos ⁽¹⁾									
			n	Valores			DP	Coeficientes				Teste W ⁽²⁾
				Mínimo	Média	Máximo		CV	CP	Cs	Ck	
1	100 x 100	0,00-0,10	89	6,80	27,08	63,00	11,56	42,68	4,52	1,11	0,93	0,91*
2	100 x 100	0,00-0,10	28	9,40	16,16	31,40	5,51	34,09	6,44	1,74	2,31	0,77*
3	100 x 100	0,00-0,10	33	4,10	12,00	23,60	4,76	39,68	6,91	0,74	0,53	0,94ns
4	100 x 100	0,00-0,10	40	10,90	21,06	40,30	7,65	36,30	5,74	0,81	0,19	0,93*
5	100 x 100	0,00-0,10	49	10,40	19,47	32,50	4,61	23,69	3,38	0,44	0,42	0,98ns
6	100 x 100	0,00-0,10	57	5,00	17,89	50,00	8,88	49,63	6,57	1,37	2,50	0,90*
7	100 x 100	0,00-0,10	65	10,80	24,02	43,40	7,07	29,44	3,65	0,70	0,44	0,96ns
8	100 x 100	0,00-0,10	47	8,70	16,74	32,60	5,32	31,77	4,63	1,03	0,87	0,92*
9	100 x 100	0,00-0,10	46	5,40	15,80	40,90	8,10	51,28	7,56	1,40	2,29	0,88*
10	100 x 100	0,00-0,10	41	3,90	8,19	16,70	2,51	30,68	4,79	1,05	2,45	0,94*
1	142 x 142	0,00-0,10	45	13,00	19,82	33,00	4,25	21,47	3,20	1,22	1,60	0,90*
2	142 x 142	0,00-0,10	75	6,80	13,88	41,00	6,61	47,59	5,50	1,83	4,36	0,83*
3	142 x 142	0,00-0,10	45	13,00	20,93	35,00	4,81	22,97	3,42	1,25	1,54	0,89*
4	142 x 142	0,00-0,10	43	13,00	23,19	41,00	6,36	27,44	4,18	0,76	0,25	0,95ns
5	142 x 142	0,00-0,10	59	13,00	24,27	53,00	7,31	30,12	3,92	1,39	3,55	0,91*
6	142 x 142	0,00-0,10	73	13,00	24,01	43,00	6,46	26,90	3,15	0,81	0,63	0,95*
7	142 x 142	0,00-0,10	60	11,00	19,30	38,00	6,89	35,72	4,61	0,85	0,09	0,92*
8	142 x 142	0,00-0,10	62	2,10	17,48	39,00	7,35	42,06	5,34	0,38	0,23	0,98ns
9	142 x 142	0,00-0,10	83	5,60	25,82	53,00	10,79	41,79	4,59	0,07	-0,65	0,98ns
10	142 x 142	0,00-0,10	91	6,30	21,24	59,00	9,24	43,51	4,56	1,12	2,63	0,93*
1	173 x 173	0,00-0,10	34	3,60	9,81	26,30	4,98	50,82	8,72	1,35	2,41	0,88*
2	173 x 173	0,00-0,10	36	2,70	4,80	10,00	1,56	32,57	5,43	1,35	2,20	0,88*
3	173 x 173	0,00-0,10	51	3,60	12,87	32,10	6,76	52,57	7,36	1,06	0,95	0,92*
4	173 x 173	0,00-0,10	33	3,50	11,41	24,80	4,40	38,57	6,71	1,13	1,66	0,92*
5	173 x 173	0,00-0,10	27	4,10	9,91	19,10	3,68	37,10	7,14	0,74	-0,09	0,93ns
6	173 x 173	0,00-0,10	20	9,50	16,27	22,00	3,44	21,13	4,72	-0,04	-0,80	0,96ns
7	173 x 173	0,00-0,10	24	5,00	11,88	30,70	6,96	58,57	11,96	1,57	2,13	0,82*
8	173 x 173	0,00-0,10	31	2,90	8,25	18,40	4,01	48,61	8,73	0,85	0,21	0,93ns
9	173 x 173	0,00-0,10	40	10,00	26,77	63,10	12,31	45,98	7,27	1,33	1,98	0,89*
10	173 x 173	0,00-0,10	34	1,50	9,88	21,60	5,11	51,69	8,86	0,69	0,00	0,93*
1	100 x 100	0,00-0,15	106	2,70	9,06	24,00	4,73	52,19	5,07	1,41	1,68	0,86*
2	100 x 100	0,00-0,15	91	3,80	14,37	34,00	6,56	45,65	4,79	0,76	0,29	0,95*
3	100 x 100	0,00-0,15	112	3,80	12,55	59,00	7,68	61,17	5,78	3,06	13,62	0,72*
4	100 x 100	0,00-0,15	167	6,90	15,66	52,00	6,04	38,60	2,99	2,30	8,73	0,82*
5	100 x 100	0,00-0,15	77	9,40	18,47	42,00	6,53	35,37	4,03	1,48	2,58	0,88*
6	100 x 100	0,00-0,15	127	4,60	12,00	62,00	7,55	62,92	5,58	3,36	16,63	0,69*
7	100 x 100	0,00-0,15	119	2,40	5,88	27,00	3,01	51,18	4,69	3,48	20,05	0,72*
8	100 x 100	0,00-0,15	71	5,30	15,26	36,00	6,44	42,23	5,01	0,82	0,49	0,95ns
9	100 x 100	0,00-0,15	116	4,20	8,37	25,00	3,63	43,42	4,03	2,27	6,18	0,77*
10	100 x 100	0,00-0,15	54	6,60	17,12	43,00	6,85	40,02	5,45	1,17	2,65	0,93*
1	142 x 142	0,00-0,15	31	1,50	5,53	10,40	2,43	43,93	7,89	0,18	-0,82	0,96ns
2	142 x 142	0,00-0,15	60	2,80	6,82	12,50	2,62	38,33	4,95	0,55	-0,63	0,94*
3	142 x 142	0,00-0,15	64	7,20	33,68	77,00	13,20	39,18	4,90	0,41	0,82	0,98ns
4	142 x 142	0,00-0,15	53	7,20	19,21	32,00	19,21	24,07	3,31	0,09	0,49	0,98ns
5	142 x 142	0,00-0,15	30	3,20	8,81	16,00	3,43	38,98	7,12	0,17	-0,87	0,96ns
6	142 x 142	0,00-0,15	37	2,60	10,28	32,50	7,88	76,69	12,61	1,56	1,78	0,79*
7	142 x 142	0,00-0,15	67	3,70	7,99	19,40	3,27	40,99	5,01	1,00	1,52	0,92*
8	142 x 142	0,00-0,15	144	2,80	12,87	50,00	5,38	41,85	3,49	2,85	15,60	0,80ns
9	142 x 142	0,00-0,15	55	6,10	13,37	32,00	5,17	38,63	5,21	1,24	2,23	0,91*
10	142 x 142	0,00-0,15	38	6,90	14,87	38,00	5,67	38,14	6,19	2,06	6,65	0,83*
1	173 x 173	0,00-0,15	26	5,70	10,91	17,00	2,60	23,83	4,67	0,52	0,46	0,95ns
2	173 x 173	0,00-0,15	55	5,70	13,07	27,00	5,23	39,97	5,39	0,80	-0,09	0,93*
3	173 x 173	0,00-0,15	21	7,40	13,21	29,00	4,74	35,89	7,83	2,01	5,50	0,82*
4	173 x 173	0,00-0,15	71	3,90	10,35	24,60	4,31	41,59	4,94	0,63	0,30	0,96*
5	173 x 173	0,00-0,15	39	3,20	12,17	28,80	5,75	47,34	7,58	1,00	1,17	0,93*
6	173 x 173	0,00-0,15	67	3,40	7,20	15,00	2,23	31,03	3,79	1,08	2,00	0,93*
7	173 x 173	0,00-0,15	39	8,50	14,97	35,00	5,33	35,60	5,70	1,66	4,26	0,87*
8	173 x 173	0,00-0,15	40	4,00	8,12	21,00	3,53	43,52	6,88	1,83	4,32	0,83*
9	173 x 173	0,00-0,15	73	3,10	7,69	15,00	2,45	31,92	3,74	0,62	0,33	0,97ns
10	173 x 173	0,00-0,15	28	5,70	13,43	24,00	4,84	36,03	6,81	0,28	-0,40	0,97ns

⁽¹⁾n: número de observações (pontos amostrais); DP: desvio padrão; CV (%): coeficiente de variação; CP (%): coeficiente de precisão; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; ⁽²⁾Teste W: Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (ns) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Tabela 2 - Estatística descritiva dos teores de potássio (K, mg dm⁻³) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.

Áreas	Malha Amostral (m)	Profundidade de Amostragem (m)	Parâmetros Estatísticos ⁽¹⁾									
			n	Valores			DP	Coeficientes				Teste W ⁽²⁾
				Mínimo	Média	Máximo		CV	CP	Cs	Ck	
1	100 x 100	0,00-0,10	89	108,00	260,13	410,00	71,63	27,54	2,92	0,07	-0,26	0,98ns
2	100 x 100	0,00-0,10	28	89,00	267,11	244,00	41,03	24,55	4,64	-0,11	-0,45	0,97ns
3	100 x 100	0,00-0,10	33	110,00	208,15	384,00	54,33	26,10	4,54	0,84	2,14	0,95ns
4	100 x 100	0,00-0,10	40	149,00	291,22	444,00	71,35	24,50	3,87	0,08	-0,46	0,99ns
5	100 x 100	0,00-0,10	49	130,00	254,65	395,00	55,21	21,68	3,10	0,70	0,19	0,93*
6	100 x 100	0,00-0,10	57	134,00	251,86	380,00	56,36	22,38	2,96	-0,13	-0,48	0,98ns
7	100 x 100	0,00-0,10	65	115,00	216,40	366,00	59,08	27,30	3,39	0,56	-0,07	0,96*
8	100 x 100	0,00-0,10	47	107,00	221,77	351,00	63,66	28,70	4,19	0,08	-0,83	0,97ns
9	100 x 100	0,00-0,10	46	47,00	122,80	235,00	40,42	32,91	4,85	0,65	0,11	0,96ns
10	100 x 100	0,00-0,10	41	149,00	207,68	330,00	33,07	15,92	2,49	1,29	3,48	0,92*
1	142 x 142	0,00-0,10	45	130,00	204,49	313,00	41,37	20,23	3,02	0,65	-0,06	0,96ns
2	142 x 142	0,00-0,10	75	141,00	209,91	333,00	43,75	20,84	2,41	0,47	-0,29	0,97ns
3	142 x 142	0,00-0,10	45	198,00	282,33	366,00	42,06	14,90	2,22	-0,11	-0,38	0,98ns
4	142 x 142	0,00-0,10	43	139,00	202,63	287,00	28,53	14,08	2,15	0,29	0,97	0,98ns
5	142 x 142	0,00-0,10	59	160,00	243,05	400,00	52,68	21,68	2,82	0,82	0,66	0,95*
6	142 x 142	0,00-0,10	73	182,00	258,45	400,00	50,47	19,53	2,29	1,27	1,75	0,89*
7	142 x 142	0,00-0,10	60	175,00	299,28	400,00	53,93	18,02	2,33	-0,17	-0,29	0,98ns
8	142 x 142	0,00-0,10	62	127,00	278,18	400,00	78,89	28,36	3,60	0,22	-1,23	0,92*
9	142 x 142	0,00-0,10	83	144,00	251,49	346,00	46,29	18,40	2,02	0,07	-0,79	0,98ns
10	142 x 142	0,00-0,10	91	115,00	202,94	400,00	59,35	29,24	3,07	0,96	0,84	0,93*
1	173 x 173	0,00-0,10	34	77,00	164,38	287,00	48,55	29,53	5,06	0,50	0,19	0,97ns
2	173 x 173	0,00-0,10	36	89,00	149,50	285,00	43,89	29,36	4,89	1,21	1,48	0,91*
3	173 x 173	0,00-0,10	51	57,00	201,12	384,00	68,28	32,49	4,55	0,14	0,52	0,98ns
4	173 x 173	0,00-0,10	33	77,00	236,00	513,00	111,51	47,25	8,23	1,10	0,53	0,89*
5	173 x 173	0,00-0,10	27	89,00	203,78	435,00	89,92	44,13	8,49	1,00	0,75	0,91*
6	173 x 173	0,00-0,10	20	152,00	219,00	291,00	44,51	20,32	4,54	0,20	-1,38	0,93ns
7	173 x 173	0,00-0,10	24	77,00	118,83	204,00	26,28	22,12	4,52	1,39	3,61	0,90*
8	173 x 173	0,00-0,10	31	68,00	129,26	189,00	30,46	23,57	4,23	-0,05	-0,64	0,98ns
9	173 x 173	0,00-0,10	40	78,00	195,25	459,00	63,73	32,64	5,16	1,65	6,60	0,87*
10	173 x 173	0,00-0,10	34	75,00	282,91	420,00	80,22	28,35	4,86	-0,97	0,90	0,92*
1	100 x 100	0,00-0,15	106	81,00	222,46	343,00	57,93	26,04	2,53	0,06	-0,47	0,99ns
2	100 x 100	0,00-0,15	91	50,00	168,68	351,00	70,93	42,05	4,41	1,01	0,55	0,91*
3	100 x 100	0,00-0,15	112	73,00	168,51	345,00	64,11	64,11	6,06	0,87	0,11	0,93ns
4	100 x 100	0,00-0,15	167	80,00	187,39	400,00	56,27	30,03	2,32	1,04	2,13	0,94ns
5	100 x 100	0,00-0,15	77	89,00	161,48	352,00	46,18	28,60	3,26	1,45	3,20	0,90*
6	100 x 100	0,00-0,15	127	89,00	208,83	352,00	55,55	26,60	2,36	0,38	-0,33	0,98ns
7	100 x 100	0,00-0,15	119	46,00	142,67	295,00	60,44	42,36	3,88	0,51	-0,31	0,97*
8	100 x 100	0,00-0,15	71	112,00	216,07	398,00	58,99	27,30	3,24	0,54	0,68	0,97ns
9	100 x 100	0,00-0,15	116	79,00	139,03	341,00	51,63	37,14	3,45	1,88	3,51	0,80*
10	100 x 100	0,00-0,15	54	75,00	233,89	400,00	70,55	30,16	4,10	0,48	0,01	0,97ns
1	142 x 142	0,00-0,15	31	98,00	160,00	281,00	45,95	28,72	5,16	1,10	0,96	0,90*
2	142 x 142	0,00-0,15	60	79,00	180,88	261,00	32,62	18,03	2,33	-0,25	0,66	0,99ns
3	142 x 142	0,00-0,15	64	121,00	199,64	375,00	52,86	26,48	3,31	0,91	0,90	0,94*
4	142 x 142	0,00-0,15	53	72,00	146,20	234,00	41,43	28,33	3,89	0,27	-0,86	0,97ns
5	142 x 142	0,00-0,15	30	121,00	251,00	383,00	60,60	24,12	4,40	0,26	-0,14	0,98ns
6	142 x 142	0,00-0,15	37	64,00	109,38	171,00	25,98	23,75	3,90	0,43	-0,13	0,98ns
7	142 x 142	0,00-0,15	67	122,00	169,82	230,00	25,47	15,00	1,83	0,38	-0,60	0,97ns
8	142 x 142	0,00-0,15	144	75,00	179,98	400,00	80,16	44,54	3,71	0,89	0,37	0,93*
9	142 x 142	0,00-0,15	55	55,00	143,47	320,00	70,02	48,80	6,58	0,89	-0,06	0,90ns
10	142 x 142	0,00-0,15	38	89,00	150,42	277,00	37,10	24,67	4,00	0,84	2,34	0,93*
1	173 x 173	0,00-0,15	26	93,00	137,38	201,00	25,42	18,51	3,63	0,61	0,32	0,97ns
2	173 x 173	0,00-0,15	55	106,00	175,87	361,00	39,62	22,52	3,04	2,06	7,99	0,85*
3	173 x 173	0,00-0,15	21	81,00	117,33	191,00	25,69	21,90	4,78	1,44	2,68	0,89*
4	173 x 173	0,00-0,15	71	138,00	181,59	257,00	25,53	14,06	1,67	0,45	0,22	0,97ns
5	173 x 173	0,00-0,15	39	128,00	181,20	223,00	24,80	13,69	2,19	-0,28	-0,80	0,96ns
6	173 x 173	0,00-0,15	67	42,00	94,43	164,00	22,46	23,78	2,91	0,69	1,09	0,96*
7	173 x 173	0,00-0,15	39	126,00	173,87	255,00	27,36	15,73	2,52	0,49	0,79	0,97ns
8	173 x 173	0,00-0,15	40	62,00	95,05	158,00	22,06	23,20	3,67	1,10	1,21	0,92*
9	173 x 173	0,00-0,15	73	51,00	112,56	394,00	44,81	39,80	4,66	3,53	20,93	0,73*
10	173 x 173	0,00-0,15	28	103,00	215,96	383,00	55,24	25,58	4,83	0,79	2,11	0,96ns

⁽¹⁾n: número de observações (pontos amostrais); DP: desvio padrão; CV (%): coeficiente de variação; CP (%): coeficiente de precisão; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; ⁽²⁾Teste W: Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (ns) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Efetuada por meio dos semivariogramas, a análise geoestatística permitiu detectar que as áreas estudadas apresentaram diferentes escalas de variabilidade espacial tanto para P (Tabela 3) quanto para K (Tabela 4), mesmo em amostras coletadas nas mesmas profundidades e dimensões de malha. Essa amplitude na escala de variabilidade é comprovada pelos valores de alcance que variaram de 211 a 4.462 m para o P e de 315 a 4.091 m para o K. O alcance é o principal parâmetro fornecido pela geoestatística, representando a distância na qual uma variável regionalizada apresenta continuidade espacial, sendo que a partir desta distância, o comportamento espacial da variável é totalmente aleatório (VIEIRA, 2000).

Em todas as malhas estudadas, verificaram-se áreas onde os valores de P e K não apresentaram dependência espacial, caracterizando distribuições aleatórias (efeito pepita puro - EPP), ou seja, a variabilidade não é explicada ou a variação não é detectada. O EPP pode ocorrer devido a erros de medidas, de amostragem ou microvariações não detectadas, considerando que o espaçamento de amostragem utilizado é maior que o necessário para detectar dependência espacial (CAMBARDELLA et al., 1994; VIEIRA, 2000; WEBSTER e OLIVER, 2007). Nesse sentido, observou-se que há uma tendência de aumento na ocorrência de distribuições aleatórias à medida que aumenta a dimensão da malha amostral, especialmente para o K, confirmando que as malhas amostrais utilizadas não possuem pontos suficientes para detectar a dependência que, se existir, será manifestada às distâncias menores que o menor espaçamento entre amostras.

A não detecção da dependência espacial do P e K em 40,00% e 31,67%, respectivamente, das áreas estudadas, é um resultado esperado, visto que P e K são atributos muito afetados por práticas de manejo (adubações em linha, exportação via colheita, sistema plantio direto, rotações de cultura...), condicionando assim, variações em curtas distâncias mais pronunciadas (MALLARINO e WITTRY, 2004; NANNI et al., 2011). Resultados semelhantes foram obtidos por Corá e Beraldo (2006) e Nanni et al. (2011), onde a coleta de uma amostra ha^{-1} não foi suficiente para captar a variabilidade espacial de P, e de P e K, respectivamente, indicando a necessidade de malhas mais adensadas para possibilitar a recomendação de fertilizantes com maior acurácia. Os resultados e constatações deste estudo concordam com a realidade verificada nas áreas comerciais que adotam a AP nos Estados Unidos, em que a amostragem comumente utilizando malhas de 100 m (uma amostra ha^{-1}), não é eficiente na detecção das diferentes escalas de variação dos atributos do solo, em especial de P e K. Para tanto, alguns autores apontam que a dimensão das malhas para P e K não deveria ser superior a 60 m (WOLLENHAUPT et al., 1994; FRANZEN e PECK, 1995) e em muitos casos, ainda menores (MCBRATNEY e PRINGLE, 1999; LAUZON et al., 2005).

Tabela 3 - Análise geoestatística dos valores de fósforo (P, mg dm⁻³) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.

Área	Malha Amostral (m)	Prof. de Amostragem (m)	n ⁽¹⁾	Efeito Pepita	Patamar	Contribuição	Alcance	Modelo	r ²	Dependência Espacial	
										IDE ⁽²⁾	GDE ⁽³⁾
1	100 x 100	0,00-0,10	89	18,00	286,00	268,00	1.711,00	Esférico	0,98	6,29	Forte
2	100 x 100	0,00-0,10	28	EPP ⁽⁴⁾	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
3	100 x 100	0,00-0,10	33	0,01	23,33	23,32	273,00	Exponencial	0,70	0,04	Forte
4	100 x 100	0,00-0,10	40	30,20	67,57	37,37	431,00	Esférico	0,58	44,69	Moderado
5	100 x 100	0,00-0,10	49	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
6	100 x 100	0,00-0,10	57	23,81	47,63	23,82	2.643,00	Exponencial	0,30	49,99	Moderado
7	100 x 100	0,00-0,10	65	35,20	70,41	35,21	1.710,00	Esférico	0,41	49,99	Moderado
8	100 x 100	0,00-0,10	47	22,59	45,19	22,60	1.744,00	Esférico	0,70	49,99	Moderado
9	100 x 100	0,00-0,10	46	45,30	118,89	73,59	2.110,00	Esférico	0,44	38,10	Moderado
10	100 x 100	0,00-0,10	41	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
1	142 x 142	0,00-0,10	45	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
2	142 x 142	0,00-0,10	75	25,96	55,20	29,24	888,54	Gaussiano	0,94	47,03	Moderado
3	142 x 142	0,00-0,10	45	1,60	54,20	52,60	1.913,00	Esférico	0,94	2,95	Forte
4	142 x 142	0,00-0,10	43	19,10	88,46	69,36	2.110,00	Esférico	0,90	21,59	Forte
5	142 x 142	0,00-0,10	59	40,00	80,01	40,01	2.110,00	Esférico	0,34	49,99	Moderado
6	142 x 142	0,00-0,10	73	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
7	142 x 142	0,00-0,10	60	35,10	101,11	66,01	2.099,00	Gaussiano	0,88	34,71	Moderado
8	142 x 142	0,00-0,10	62	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
9	142 x 142	0,00-0,10	83	28,90	136,50	107,60	850,00	Esférico	0,95	21,17	Forte
10	142 x 142	0,00-0,10	91	47,00	163,30	116,30	3.110,00	Esférico	0,73	28,78	Moderado
1	173 x 173	0,00-0,10	34	6,20	60,45	54,25	2.622,00	Esférico	0,66	10,26	Forte
2	173 x 173	0,00-0,10	36	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
3	173 x 173	0,00-0,10	51	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
4	173 x 173	0,00-0,10	33	0,01	21,42	21,41	642,00	Exponencial	0,52	0,05	Forte
5	173 x 173	0,00-0,10	27	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
6	173 x 173	0,00-0,10	20	9,32	18,65	9,33	2.110,00	Esférico	0,38	49,97	Moderado
7	173 x 173	0,00-0,10	24	0,10	55,60	55,50	399,00	Esférico	0,74	0,18	Forte
8	173 x 173	0,00-0,10	31	0,01	17,13	17,12	430,00	Esférico	0,80	0,06	Forte
9	173 x 173	0,00-0,10	40	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
10	173 x 173	0,00-0,10	34	0,01	29,86	29,85	605,00	Esférico	0,69	0,03	Forte
1	100 x 100	0,00-0,15	106	20,73	24,07	3,34	4.462,00	Gaussiano	0,55	86,12	Fraco
2	100 x 100	0,00-0,15	91	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
3	100 x 100	0,00-0,15	112	53,00	66,24	13,24	1.322,00	Linear	0,42	80,01	Fraco
4	100 x 100	0,00-0,15	167	0,10	34,89	34,79	211,00	Esférico	0,77	0,29	Forte
5	100 x 100	0,00-0,15	77	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
6	100 x 100	0,00-0,15	127	22,00	244,90	222,90	2.991,00	Gaussiano	0,87	8,98	Forte
7	100 x 100	0,00-0,15	119	4,00	13,56	9,56	1.317,00	Linear	0,89	29,50	Moderado
8	100 x 100	0,00-0,15	71	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
9	100 x 100	0,00-0,15	116	8,13	37,25	29,12	3.367,10	Gaussiano	0,96	21,83	Forte
10	100 x 100	0,00-0,15	54	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
1	142 x 142	0,00-0,15	31	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
2	142 x 142	0,00-0,15	60	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
3	142 x 142	0,00-0,15	64	18,00	192,10	174,10	516,00	Exponencial	0,84	9,37	Forte
4	142 x 142	0,00-0,15	53	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
5	142 x 142	0,00-0,15	30	7,07	13,50	6,43	588,55	Linear	0,99	52,37	Moderado
6	142 x 142	0,00-0,15	37	0,10	64,02	63,92	393,00	Esférico	0,58	0,16	Forte
7	142 x 142	0,00-0,15	67	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
8	142 x 142	0,00-0,15	144	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
9	142 x 142	0,00-0,15	55	0,01	25,95	25,94	426,00	Exponencial	0,58	0,04	Forte
10	142 x 142	0,00-0,15	38	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
1	173 x 173	0,00-0,15	26	3,35	8,91	5,56	1.287,00	Esférico	0,61	37,60	Moderado
2	173 x 173	0,00-0,15	55	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
3	173 x 173	0,00-0,15	21	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
4	173 x 173	0,00-0,15	71	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
5	173 x 173	0,00-0,15	39	0,10	34,90	34,80	501,00	Exponencial	0,69	0,29	Forte
6	173 x 173	0,00-0,15	67	0,01	4,91	4,90	570,00	Esférico	0,56	0,20	Forte
7	173 x 173	0,00-0,15	39	20,52	41,05	20,53	3.110,00	Esférico	0,44	49,99	Moderado
8	173 x 173	0,00-0,15	40	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
9	173 x 173	0,00-0,15	73	3,80	8,61	4,81	2.440,46	Gaussiano	0,92	44,13	Moderado
10	173 x 173	0,00-0,15	28	0,01	28,65	28,64	875,00	Esférico	0,82	0,03	Forte

⁽¹⁾n: número de observações (pontos amostrais); ⁽²⁾IDE: índice de dependência amostral; ⁽³⁾GDE: grau de dependência espacial; ⁽⁴⁾EPP: efeito pepita puro.

Tabela 4 - Análise geoestatística dos valores de potássio (K, mg dm⁻³) em áreas de Latossolos Vermelhos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.

Área	Malha Amostral (m)	Prof. De Amostragem (m)	n ⁽¹⁾	Efeito Pepita	Patamar	Contribuição	Alcance	Modelo	r ²	Dependência Espacial	
										IDE ⁽²⁾	GDE ⁽³⁾
1	100 x 100	0,00-0,10	89	2.500,00	6.011,00	3.511,00	924,00	Exponencial	0,47	41,59	Moderado
2	100 x 100	0,00-0,10	28	EPP ⁽⁴⁾	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
3	100 x 100	0,00-0,10	33	910,00	4.930,00	4.020,00	866,00	Esférico	0,96	18,46	Forte
4	100 x 100	0,00-0,10	40	2.640,00	5.823,00	3.183,00	623,00	Esférico	0,98	45,34	Moderado
5	100 x 100	0,00-0,10	49	1.630,00	6.370,00	4.740,00	1.699,00	Esférico	0,97	25,59	Moderado
6	100 x 100	0,00-0,10	57	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
7	100 x 100	0,00-0,10	65	960,00	4.421,00	3.461,00	649,00	Esférico	0,94	21,71	Forte
8	100 x 100	0,00-0,10	47	950,00	7.010,00	6.060,00	985,00	Esférico	0,96	13,55	Forte
9	100 x 100	0,00-0,10	46	1.212,00	2.425,00	1.213,00	3.030,00	Exponencial	0,58	49,98	Moderado
10	100 x 100	0,00-0,10	41	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
1	142 x 142	0,00-0,10	45	578,00	1.809,00	1.231,00	553,00	Esférico	0,94	31,95	Moderado
2	142 x 142	0,00-0,10	75	22,00	1.998,00	1.976,00	344,00	Esférico	0,75	1,10	Forte
3	142 x 142	0,00-0,10	45	987,00	3.741,00	2.754,00	2.684,00	Esférico	0,81	26,38	Moderado
4	142 x 142	0,00-0,10	43	1,00	887,50	886,50	315,00	Esférico	0,81	0,11	Forte
5	142 x 142	0,00-0,10	59	593,00	3.040,00	2.447,00	489,00	Exponencial	0,80	19,51	Forte
6	142 x 142	0,00-0,10	73	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
7	142 x 142	0,00-0,10	60	1.660,00	6.041,00	4.381,00	2.589,00	Esférico	0,88	27,48	Moderado
8	142 x 142	0,00-0,10	62	4.780,00	30.660,00	25.880,00	4.091,00	Esférico	0,93	15,59	Forte
9	142 x 142	0,00-0,10	83	1.775,00	3.551,00	1.776,00	3.110,00	Esférico	0,42	49,99	Moderado
10	142 x 142	0,00-0,10	91	2.630,00	5.261,00	2.631,00	3.110,00	Esférico	0,34	49,99	Moderado
1	173 x 173	0,00-0,10	34	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
2	173 x 173	0,00-0,10	36	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
3	173 x 173	0,00-0,10	51	3.480,00	11.070,00	7.590,00	3.280,00	Gaussiano	0,78	31,44	Moderado
4	173 x 173	0,00-0,10	33	10,00	12.990,00	12.980,00	395,00	Esférico	0,76	0,08	Forte
5	173 x 173	0,00-0,10	27	4.520,00	30.140,00	25.620,00	2.771,00	Gaussiano	0,80	15,00	Forte
6	173 x 173	0,00-0,10	20	340,00	2.423,00	2.083,00	508,00	Esférico	0,97	14,03	Forte
7	173 x 173	0,00-0,10	24	1,00	745,80	744,80	573,00	Esférico	0,87	0,13	Forte
8	173 x 173	0,00-0,10	31	1,00	1.158,00	1.157,00	865,00	Esférico	0,85	0,09	Forte
9	173 x 173	0,00-0,10	40	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
10	173 x 173	0,00-0,10	34	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
1	100 x 100	0,00-0,15	106	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
2	100 x 100	0,00-0,15	91	2.110,00	14.540,00	12.430,00	3.110,00	Esférico	0,78	14,51	Forte
3	100 x 100	0,00-0,15	112	2.777,80	5.832,62	3.054,82	1.322,60	Linear	0,54	47,63	Moderado
4	100 x 100	0,00-0,15	167	10,00	3.519,00	3.509,00	570,00	Exponencial	0,82	0,28	Forte
5	100 x 100	0,00-0,15	77	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
6	100 x 100	0,00-0,15	127	2.642,69	3.472,00	829,31	1.266,89	Linear	0,92	76,11	Fraco
7	100 x 100	0,00-0,15	119	460,00	4.615,00	4.155,00	1.143,00	Exponencial	0,90	9,97	Forte
8	100 x 100	0,00-0,15	71	1.420,00	8.950,00	7.530,00	2.111,37	Gaussiano	0,92	15,87	Forte
9	100 x 100	0,00-0,15	116	60,00	6.230,00	6.170,00	2.477,00	Esférico	0,94	0,96	Forte
10	100 x 100	0,00-0,15	54	2.290,00	6.085,00	3.795,00	748,00	Esférico	0,99	37,63	Moderado
1	142 x 142	0,00-0,15	31	370,00	2.505,00	2.135,00	563,00	Esférico	0,81	14,77	Forte
2	142 x 142	0,00-0,15	60	181,00	1.469,00	1.288,00	1.256,00	Esférico	0,96	12,32	Forte
3	142 x 142	0,00-0,15	64	1.987,00	3.975,00	1.988,00	2.110,00	Esférico	0,84	49,99	Moderado
4	142 x 142	0,00-0,15	53	23,00	1.997,00	1.974,00	548,00	Esférico	0,89	1,15	Forte
5	142 x 142	0,00-0,15	30	2.061,00	4.227,00	2.166,00	678,96	Gaussiano	0,99	48,76	Moderado
6	142 x 142	0,00-0,15	37	1,00	799,00	798,00	585,00	Esférico	0,94	0,13	Forte
7	142 x 142	0,00-0,15	67	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
8	142 x 142	0,00-0,15	144	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
9	142 x 142	0,00-0,15	55	10,00	5.219,00	5.209,00	482,00	Esférico	0,99	0,19	Forte
10	142 x 142	0,00-0,15	38	887,00	3.884,00	2.997,00	2.002,00	Gaussiano	0,81	22,84	Forte
1	173 x 173	0,00-0,15	26	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
2	173 x 173	0,00-0,15	55	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
3	173 x 173	0,00-0,15	21	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
4	173 x 173	0,00-0,15	71	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
5	173 x 173	0,00-0,15	39	227,39	990,84	763,45	1.203,00	Linear	0,90	22,95	Forte
6	173 x 173	0,00-0,15	67	76,00	696,30	620,30	1.857,00	Exponencial	0,65	10,91	Forte
7	173 x 173	0,00-0,15	39	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
8	173 x 173	0,00-0,15	40	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
9	173 x 173	0,00-0,15	73	EPP	EPP	EPP	EPP	-	-	-	-
10	173 x 173	0,00-0,15	28	2.528,98	3.617,97	1.088,99	1.061,00	Linear	0,68	69,90	Moderado

⁽¹⁾n: número de observações (pontos amostrais); ⁽²⁾IDE: índice de dependência amostral; ⁽³⁾GDE: grau de dependência espacial; ⁽⁴⁾EPP: efeito pepita puro.

Nas áreas em que a estrutura de variabilidade espacial do P e K foi detectada, verificou-se que os atributos apresentaram grau de dependência espacial de moderado a forte, com os melhores ajustes dos semivariogramas sendo obtidos utilizando os modelos esféricos (58,33 e 63,42%), seguidos pelos modelos exponencial (16,67 e 14,63%), gaussiano (16,67 e 12,19%) e linear (5,00 e 9,76%). Os modelos esférico e exponencial também foram utilizados para ajustar modelos de P e/ou K em diversos estudos anteriormente realizados em Latossolos (CORÁ e BERALDO, 2006; AMADO et al., 2009; CHERUBIN et al., 2011; FERRAZ et al., 2012; MONTANARI et al., 2012) concordando com afirmações que os apontam como os modelos mais frequentemente utilizado na geoestatística (WEBSTER e OLIVER, 2007).

Diante dos resultados, poder-se-ia inferir que as malhas amostrais utilizadas possibilitaram captar a variabilidade espacial do P e K para a maioria das áreas estudadas, entretanto, tal afirmação merece cautela, uma vez que os semivariogramas foram gerados utilizando um limitado número de pontos, o que pode comprometer a consistência dos resultados. Embora alguns autores indiquem que para utilizar a geoestatística, seja adotado um mínimo de 30 pares para cada distância estudada, (CLARK, 1979; CRESSIE, 1991; LANDIN, 2006) podendo ser obtidos a partir de 30 a 40 pontos amostrais, Webster e Lark (2012) apontam que com esse limitado número de pontos, quase inevitavelmente, serão geradas estimativas pouco acuradas e semivariogramas com altos níveis de erro associados. Segundo estes autores, o número ideal de pontos é apontado em estudo de Webster e Oliver (1992), onde quando a variação é isotrópica, para que sejam geradas estimativas confiáveis são requeridos no mínimo 100 pontos amostrais e idealmente de 150 a 200.

Portanto, alicerçando-se nos resultados e argumentações apresentadas, afirma-se que as malhas amostrais utilizadas nas áreas de Latossolo manejados com AP no RS, de modo geral, não são eficientes para captar as diferentes escalas da variabilidade espacial de P e K, em especial, no que tange a microvariabilidade condicionada pelas práticas de manejo. Desta forma, não é possível generalizar um modelo confiável de variabilidade espacial destes atributos para as condições de Latossolos Vermelhos. Entretanto, o estudo fornece uma noção geral da escala de variação de P e K, constituindo-se um importante referencial que poderá ser considerado no planejamento de futuras estratégias de amostragem de solo a serem adotadas nas áreas de AP da região de estudo.

Desta forma, um dos grandes desafios da AP está na busca de metodologias que permitam obter mapas de atributos do solo, como P e K, de comprovada acurácia, obtendo-se maior número de informações possíveis a um baixo custo e menor número de análises químicas do solo em laboratório (CHIG et al., 2010). Para tanto, o uso de sensores com

diferentes princípios de funcionamento para a determinação ou estimativa dos atributos do solo tem sido pesquisado e apontado com um dos principais direcionamentos da AP. Dentre esses, sensores baseados na técnica da espectroscopia do infravermelho próximo (NIR) e visível (VIS) tem apresentado resultados promissores para a estimativa dos valores de alguns atributos do solo, dentre eles, P e K (MALEKI et al., 2006; MOUAZEN et al., 2007; CHRISTY, 2008; KODAIRA e SHIBUSAWA, 2012). Entretanto, tais sensores ainda se encontram em fases experimentais, nos países desenvolvidos, demandando de certo tempo para estarem disponíveis e se popularizarem nas áreas de AP do Brasil. Além disso, contrapondo a necessidade de uso de malhas amostrais mais densas para caracterizar e manejar a variabilidade do solo, alguns autores (MOLIN, 2002; BLACKMORE et al., 2003) sugerem o uso de zonas de manejo, definidas a partir de histórico da produtividade da área. Essa alternativa apesar de promissora na AP, ainda carece de maiores estudos que comprovem sua eficiência no manejo da fertilidade do solo associada a incrementos de produtividade. Além disso, intervenções por zonas de manejo ainda não se popularizaram no Brasil em função da reduzida área agrícola que apresenta monitoramento georreferenciado da produtividade por meio de monitores de colheita ou que apresente estimativas de produtividade por meio de imagens multiespectrais.

3.6 Conclusões

1. As áreas de Latossolos Vermelhos estudadas apresentam teores médios de P e K adequados ao desenvolvimento das culturas, entretanto, ainda existem locais com teores limitantes de P justificando fertilizações em sítio-específico.
2. Os dados de P e K apresentam dispersões altas e moderadas, respectivamente, condicionando a ocorrência de distribuições de frequência não normal na maioria das áreas estudadas.
3. As malhas amostrais utilizadas nas áreas de Latossolo Vermelhos manejados com AP no RS, de modo geral, sob procedimentos geoestatísticos, não são eficientes para captar as diferentes escalas da variabilidade espacial de P e K no solo, independente da profundidade de coleta.
4. A variabilidade espacial em curtas distâncias (microvariabilidade) deverá ser levada em consideração em futuros planos de amostragem nas áreas de Latossolo Vermelho manejadas com AP.

3.7 Agradecimentos

Aos professores Dr. Antônio Luis Santi e Dr. Jackson Ernani Fiorin pela disponibilização do banco de dados para realização deste estudo. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

3.8 Referências Bibliográficas

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.831-843, 2009.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. Using Precision Farming to Overcome Yield-Limiting Factors in Southern Brazil Oxisols: A Case Study. In: CLAY D. E.; SHANAHAN, J. F. **GIS Applications in Agriculture – v.2 – Nutrients Management for Energy Efficiency**, EUA: CRC Press, p. 31-60, 2011.

ANJOS, L. H. C. dos; JACOMINE, P. K. T.; SANTOS, H. G. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. Sistema Brasileiro de Classificação de Solo. In: KER, J. C; CURTI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds). **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.303-343, 2012.

BLACKMORE, S.; GODWIN, R. J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. **Biosystems Engineering**, v.84, p.455-466, 2003.

CAMBARDELLA, C. A.; KARLEN, L. D. Spatial analysis of soil fertility parameters. **Precision Agriculture**, v.1, p.5-14, 1999.

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 American Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1329-1339, 2007.

CHANG, J.; CLAY, D. E.; CARLSON, C. G.; MALO, D.; CLAY, S. A. Precision Farming Protocols: Part 1. Grid distance and soil nutrient impact on the reproducibility of spatial variability measurements. **Precision Agriculture**, v.1, p.277-289, 1999.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p.196-210, 2011.

CHIG, L. A.; COUTO, E. G.; AMORIM, R. S. S. Tecnologias para levantamento da variabilidade dos atributos do solo para um programa de agricultura de precisão – Revisão de Literatura. **UNICIÊNCIAS**, v.14, p.127-149, 2010.

CLARK, I. **Practical Geostatistics**. London: Applied Science Publishers Ltda. 1979. 123p.

COELHO, A. M. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, R. F.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVARES V., V. H. (Eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.259-290, 2003.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

CORÁ, J. E. ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1013-1021, 2004.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.374-387, 2006.

CRESSIE, N. A. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991. 900p.

CHRISTY, C. D. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy. **Computer and Electronics in Agriculture**, v.61, p.10-19, 2008.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.453-461, 2012.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.551-594, 2007.

FERRAZ, G. A. E. S.; DA SILVA, F. M.; CARVALHO, L. C. C.; ALVES, M. C.; FRANCO, B. C. Variabilidade espacial e temporal do fósforo, potássio e da produtividade de uma lavoura cafeeira. **Engenharia Agrícola**, v.32, p.140-150, 2012.

FIORIN, J. E. **Manejo e Fertilidade do Solo no Sistema Plantio Direto**. Passo Fundo: Berthier, 2007. 184p.

FRANZEN, D. W.; NANNA, T.; NORVELL, W. A. A survey of soil attributes in North Dakota by landscape position. **Agronomy Journal**, v.98, p.1015-1022, 2006.

FRANZEN, D. W.; PECK, T. R. Field soil sampling density for variable rate fertilization. **Journal of Production Agriculture**, v.8, p.568-574, 1995.

KERRY, R.; OLIVER, M. A.; FROGBROOK, Z. L. Sampling in Precision Agriculture. In: OLIVER, M. A. (Org.). **Geostatistical Applications for Precision Agriculture**. 1 ed. Heidelberg: Springer-Verlag, p.35-63, 2010.

KODAIRA, M.; SHIBUSAWA, S. Using a mobile real-time soil visible-near infrared sensor for high resolution soil property mapping. **Geoderma**, 2012. *in press*

LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e mapas. **TERRÆ DIDÁTICA**, v.2, p.19-33, 2006.

LAUZON, J. D.; O'HALLORAN, I. P.; FALLOW, D. J.; von BERTOLDI, A. P.; ASPINALL, D. Spatial variability of soil test phosphorus, potassium, and pH of Ontario soils. **Agronomy Journal**, v.97, p. 524-532, 2005.

MALEKI, M. R.; VAN HOLM, L.; RAMON, H.; MERCKX, R.; DE BAERDEMAEKER, J.; MOUAZEN, A. M. Phosphorus sensing for fresh soils using visible and near infrared spectroscopy. **Biosystems Engineering**, v.95, p.425-436, 2006.

MALLARINO, A. P.; WITTRY, D. Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. **Precision Agriculture**, v.5, p.131-144, 2004.

McBRATNEY, A. B.; PRINGLE, M. J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. **Precision Agriculture**, v.1, p.125-152, 1999.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v.22, p.83-92, 2002.

MONTANARI, R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES Jr., J.; SOUZA, Z. M.; PAZETO, R. J.; CAMARGO, L. A. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos. **Ciência Rural**, v.38, p.1266-1272, 2008.

MONTANARI, R.; SOUZA, G. S. A.; PEREIRA, G. T.; MARQUES Jr., J.; SIQUEIRA, D. S.; SIQUEIRA, G. M. The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v.13, p.542-552, 2012.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.839-847, 2006.

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

NANNI, M. R.; POVH, F. P.; DAMATTÊS, J. A. M.; OLIVEIRA, R. B.; CHICATI, M. L.; CEZAR, E. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. **Scientia Agrícola**, v.68, p.386-392, 2011.

NOGARA NETO, F.; ROLOFF, G.; DIECKOW, J.; MOTTA, A. C. V. Atributos de solo e cultura espacialmente distribuídos relacionados ao rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1025-1036, 2011.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Viçosa – MG, p.471-550, 2007.

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; ROBAINA, A. D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J. P. C.; HORN, D. **Situação da fertilidade dos solos no estado do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria/Centro de Ciências Rurais/ Departamento de Solos, 2001. 41p. (Boletim Técnico 2).

ROBERTSON, G. P. **GS+**: geostatistics for the environmental sciences. Versão 5.03. Beta, Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; DELLA FLORA, L. P.; BASSO, J. C. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitante à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1346-1357, 2012a.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; DELLA FLORA, L. P.; SMANIOTTO, R. F. F. É chegada a hora da integração do conhecimento. **Revista Plantio Direto**, v.129, p.24-30, 2009.

SANTI, A. L.; FIORIN, J. E.; COCCO, K. L. T.; CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; HAUSCHILD, F. E. G. Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de Agricultura de Precisão **Revista Plantio Direto**, v.109, p.18-25, 2012b.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SAS INSTITUTE – Statistical Analysis System. **SAS/STAT User's Guide 8.0**. North Caroline, NC: SAS Institute Inc., 1999. 3365p.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, v.52, p.591-611, 1965.

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

SOUZA, Z. M. de; MARQUES Jr., J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v.34, p.1763-1771, 2004.

SOUZA, Z. M. de; MARQUES Jr., J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R. Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, v.36, p.829-836, 2006.

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

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES V., V. H. e SCHAEFFER, C. E. G. R. eds. **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54, 2000.

WEBSTER, R.; LARK, M. **Field Sampling for Environmental Science and Management**. 1° ed. London: Routledge. 2012. 200p.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Geostatistics for Environmental Scientists**. 2° ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 2007. 330p.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. Sample adequately to estimate variograms of soil properties. **Journal of Soil Science**, v.43, p.177-192, 1992.

WILDING, L. P.; DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L. P.; SMECK, N. E.; HALL, G. F. (Eds). **Pedogenesis and Soil Taxonomy - I. Concepts and Interactions**. Amsterdam: Elsevier, p.83-116, 1983.

WOLLENHAUPT, N. C., WOLKOWSKI, R. P.; CLAYTON, M. K. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. **Journal of Production Agriculture**, v.7, p.441-448, 1994.

ZANÃO Jr., L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; PEREIRA, J. M. A. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em Latossolos sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.389-400, 2010.

3.9 Apêndice

Apêndice A – Valores mínimos, médios e máximos, e coeficiente de variação (CV%) dos teores de argila e valores de capacidade de troca de cátions potencial (CTC_{pH7}) em áreas de Latossolos amostradas com diferentes dimensões de malhas e profundidades no Rio Grande do Sul, Brasil.

Área	Malha Amostrada (m)	Profundidade de Amostragem (cm)	n	Parâmetros Estatísticos							
				Argila (%)				CTC _{pH7} (cmol _c dm ⁻³)			
				Mínimo	Média	Máximo	CV	Mínimo	Média	Máximo	CV
1	100 x 100	0,00-0,10	89	26,00	43,48	61,00	17,79	10,40	14,33	18,80	10,03
2	100 x 100	0,00-0,10	28	27,00	46,14	57,00	14,59	9,00	14,66	16,60	12,01
3	100 x 100	0,00-0,10	33	34,00	45,09	59,00	12,51	15,20	16,83	19,30	5,89
4	100 x 100	0,00-0,10	40	27,00	53,85	74,00	17,13	10,20	14,85	19,00	12,92
5	100 x 100	0,00-0,10	49	29,00	46,00	57,00	14,31	9,20	13,37	18,80	10,82
6	100 x 100	0,00-0,10	57	36,00	66,16	82,00	14,22	10,00	14,47	21,00	15,12
7	100 x 100	0,00-0,10	65	24,00	49,32	61,00	16,78	11,50	14,32	18,00	9,39
8	100 x 100	0,00-0,10	47	34,00	50,89	61,00	9,86	13,60	17,13	20,00	7,10
9	100 x 100	0,00-0,10	46	14,00	25,78	37,00	16,43	5,80	8,44	11,70	15,09
10	100 x 100	0,00-0,10	41	43,00	57,78	70,00	11,29	9,20	14,05	16,20	9,16
1	142 x 142	0,00-0,10	45	21,00	30,44	46,00	18,82	7,10	9,77	13,10	13,34
2	142 x 142	0,00-0,10	75	22,00	40,08	56,00	18,07	7,60	11,60	18,30	15,94
3	142 x 142	0,00-0,10	45	35,00	48,31	60,00	14,79	10,10	13,59	16,90	9,48
4	142 x 142	0,00-0,10	43	29,00	39,65	51,00	13,13	9,30	12,20	16,60	12,09
5	142 x 142	0,00-0,10	59	25,00	43,78	60,00	19,06	8,10	11,58	14,60	11,01
6	142 x 142	0,00-0,10	73	29,00	40,53	57,00	14,01	11,30	14,49	17,40	7,87
7	142 x 142	0,00-0,10	60	20,00	41,82	60,00	17,12	9,40	14,70	18,20	11,37
8	142 x 142	0,00-0,10	62	32,00	47,24	61,00	16,24	11,40	14,92	17,20	11,36
9	142 x 142	0,00-0,10	83	33,00	47,66	61,00	16,98	7,20	13,13	20,80	17,98
10	142 x 142	0,00-0,10	91	34,00	56,57	61,00	10,79	12,00	14,59	17,30	9,31
1	173 x 173	0,00-0,10	34	29,00	35,94	48,00	12,29	11,30	13,35	18,20	11,80
2	173 x 173	0,00-0,10	36	19,00	33,19	40,00	14,25	9,90	12,43	14,20	8,17
3	173 x 173	0,00-0,10	51	21,00	63,29	87,00	21,84	11,50	15,68	23,30	15,57
4	173 x 173	0,00-0,10	33	48,00	69,27	90,00	13,53	11,20	15,04	22,90	17,09
5	173 x 173	0,00-0,10	27	50,00	64,92	83,00	10,76	12,30	14,24	16,80	8,71
6	173 x 173	0,00-0,10	20	51,00	58,55	61,00	5,09	8,34	12,76	15,30	14,23
7	173 x 173	0,00-0,10	24	31,00	44,54	52,00	10,30	9,40	11,26	13,60	9,61
8	173 x 173	0,00-0,10	31	42,00	49,22	57,00	8,00	9,40	11,84	17,30	12,53
9	173 x 173	0,00-0,10	40	23,00	33,02	40,00	14,19	9,70	11,93	14,70	11,59
10	173 x 173	0,00-0,10	34	26,00	65,85	91,00	24,73	11,30	16,34	35,50	28,17
1	100 x 100	0,00-0,15	106	24,00	52,30	61,00	14,32	10,50	13,64	21,80	11,39
2	100 x 100	0,00-0,15	91	40,00	56,42	63,00	9,21	11,10	14,78	22,70	11,61
3	100 x 100	0,00-0,15	112	15,00	43,45	61,00	20,02	6,19	11,65	21,60	15,89
4	100 x 100	0,00-0,15	167	24,00	47,00	58,00	16,75	6,76	11,43	23,50	15,82
5	100 x 100	0,00-0,15	77	46,00	54,31	61,00	6,59	12,00	14,65	17,00	5,50
6	100 x 100	0,00-0,15	127	28,00	58,58	61,00	10,43	9,62	12,55	20,50	13,34
7	100 x 100	0,00-0,15	119	25,00	58,26	64,00	12,97	9,94	13,05	23,00	16,16
8	100 x 100	0,00-0,15	71	34,00	56,45	62,00	12,93	11,60	14,77	20,40	14,14
9	100 x 100	0,00-0,15	116	21,00	57,95	61,00	16,10	11,20	14,57	19,40	12,44
10	100 x 100	0,00-0,15	54	28,00	56,46	61,00	16,24	10,90	14,50	20,10	14,66
1	142 x 142	0,00-0,15	31	49,00	67,10	75,00	8,50	13,30	15,94	20,50	11,27
2	142 x 142	0,00-0,15	60	30,00	62,38	78,00	11,14	11,80	14,13	20,80	10,64
3	142 x 142	0,00-0,15	64	33,00	59,56	61,00	6,30	11,30	14,49	17,90	10,52
4	142 x 142	0,00-0,15	53	57,00	59,87	60,00	5,80	12,60	17,03	19,70	8,95
5	142 x 142	0,00-0,15	30	56,00	60,70	61,00	6,62	14,10	16,75	22,60	11,35
6	142 x 142	0,00-0,15	37	38,00	58,11	72,00	15,97	10,30	13,40	18,70	11,59
7	142 x 142	0,00-0,15	67	40,00	53,58	67,00	11,70	8,80	12,45	16,40	13,83
8	142 x 142	0,00-0,15	144	14,00	54,39	61,00	17,55	5,99	14,78	25,20	17,96
9	142 x 142	0,00-0,15	55	26,00	52,45	61,00	12,77	11,90	14,81	19,10	9,63
10	142 x 142	0,00-0,15	38	25,00	46,63	57,00	18,64	10,00	13,43	17,10	12,08
1	173 x 173	0,00-0,15	26	59,00	64,77	65,00	6,81	11,40	15,60	18,00	12,40
2	173 x 173	0,00-0,15	55	30,00	55,11	61,00	12,68	12,40	15,81	24,00	13,77
3	173 x 173	0,00-0,15	21	51,00	60,09	61,00	4,33	12,50	14,50	18,50	14,50
4	173 x 173	0,00-0,15	71	58,00	67,48	79,00	6,59	12,30	14,06	16,10	6,82
5	173 x 173	0,00-0,15	39	47,00	60,05	73,00	10,21	13,10	14,99	17,60	6,50
6	173 x 173	0,00-0,15	67	54,00	60,58	61,00	1,97	9,49	11,83	14,60	9,80
7	173 x 173	0,00-0,15	39	33,00	53,02	63,00	15,60	8,77	13,66	16,50	10,10
8	173 x 173	0,00-0,15	40	34,00	46,80	61,00	15,44	8,97	12,31	16,50	15,00
9	173 x 173	0,00-0,15	73	38,00	51,68	62,00	11,46	9,44	12,27	15,60	10,48
10	173 x 173	0,00-0,15	28	34,00	55,79	61,00	14,01	10,50	12,88	17,10	10,87

4 ARTIGO III

DIMENSÃO DE MALHA AMOSTRAL PARA PREDIÇÃO DOS TEORES DE FÓSFORO E POTÁSSIO EM ÁREA DE LATOSSOLO VERMELHO MANEJADA COM AGRICULTURA DE PRECISÃO

4.1 Resumo

A amostragem georreferenciada de solo constitui-se uma das mais importantes ferramentas utilizadas na agricultura de precisão (AP), entretanto, ainda carece de definições metodológicas, em relação à dimensão da malha amostral. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a predição da variabilidade espacial de P e K por meio de diferentes dimensões de malha amostral. Para tanto, o estudo foi conduzido em área de Latossolo Vermelho de 41,96 ha, localizada no município de Boa Vista das Missões – RS, Brasil. A amostragem de solo foi realizada, na camada 0,00-0,10 m, utilizando sete dimensões de malha amostral, 50 x 50 m, 75 x 75 m, 100 x 100 m, 125 x 125 m, 150 x 150 m, 175 x 175 m e 200 x 200 m. Os dados de P e K foram submetidos às análises, estatística descritiva e geoestatística, e a similaridade dos mapas temáticos gerados foi analisada pelo coeficiente de desvio relativo e pela matriz de correlação de Pearson. Os resultados indicam que as malhas amostrais estudadas, exceto a 200 x 200 m, possibilitam caracterizar a variabilidade espacial dos teores de P e K em área de Latossolo Vermelho. Entretanto, a redução da dimensão da malha amostral aumenta a acurácia das informações geradas por meio de mapas temáticos e deve ser preconizada em planos de amostragem de solo adotados nas áreas de AP. Os mapas temáticos de P mostraram-se menos similares, no entanto, melhor correlacionados entre si, em comparação aos mapas temáticos de K.

Palavras-chave: amostragem georreferenciada de solo, fertilidade do solo, geoestatística, similaridade de mapas temáticos.

4.2 Abstract

The georeferenced soil sampling constitutes an of the most important tools used in precision agriculture (PA), however, still needs methodological definitions in relation to the size of the

sampling grid. In this context, the objective of this work was to evaluate the prediction of the spatial variability of P and K through different dimensions of the sampling grid. Therefore, the study was conducted in Oxisol of 41.96 ha, located in Boa Vista Missões - RS, Brazil. The soil sampling was made at depth of 0.00-0.10 m using seven sizes of sampling grid, 50 x 50 m, 75 x 75 m, 100 x 100 m, 125 x 125 m, 150 x 150 m, 175 x 175 m and 200 x 200 m. The data of P and K were submitted to analysis, descriptive statistics and geostatistics, and the similarity of thematic maps generated was analyzed by the coefficient of relative deviation and the correlation matrix of Pearson. The results indicate that the sampling grids studied, except the 200 x 200 m, possible characterize the spatial variability of the levels of P and K in Oxisol. However, reducing the size of the sampling grid increases the accuracy of the information generated through thematic maps and should be recommended for soil sampling plans adopted in the areas of PA. Thematic maps of P were less similar, however, better correlated compared to thematic maps of K.

Keywords: georeferenced soil sampling, soil fertility, geostatistics, similarity of thematic maps

4.3 Introdução

A agricultura de precisão (AP) é um conceito relativamente recente de gerenciamento do sistema solo-planta-atmosfera, baseada nos princípios da variabilidade espacial e gestão de informações, que engloba considerações dos fatores de produção e da produtividade das culturas (MONTANARI et al., 2012). Dentre as ferramentas utilizadas na AP, a amostragem georreferenciada de solo, visando caracterizar a variabilidade dos atributos químicos do solo, utilizando malhas regulares, constitui-se como uma das mais popularizadas e utilizadas na agricultura brasileira.

Entretanto, mesmo sendo utilizada em grande escala, a amostragem de solo ainda carece de definições metodológicas, especialmente no que tange a dimensão da malha amostral (MCBRATNEY et al., 1981; MCBRATNEY e WEBSTER, 1983; WEBSTER e OLIVER, 1992; CHANG et al., 1999; SHI et al., 2000; COMISSÃO..., 2004; MALLARINO e WITTRY, 2004; GUARÇONI et al., 2006; BRAMLEY, 2009; KERRY et al., 2010; NANNI et al., 2011; MONTANARI et al., 2012). Na região Sul do Brasil, de acordo com recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (COMISSÃO..., 2004) a amostragem de solo para a AP prevê um número de amostras coletadas para análise

muito maior do que na amostragem tradicional. No entanto, os critérios para a definição da dimensão das malhas e a localização dos pontos de coleta ainda não foram estabelecidos.

Esquemas de amostragem de solo em que se utilizam malhas menores, ou seja, pontos amostrais mais próximos possibilitam caracterizar a variabilidade espacial de uma variável regionalizada com maior acurácia, porém, com custos mais elevados quando comparados com esquemas amostrais utilizando malhas maiores (van GROENIGEN, 2000; MALLARINO e WITTRY, 2004; HAVLIN e HEINIGER, 2009). Portanto, é preciso aliar um número mínimo de pontos com uma máxima representação do local amostrado (mínima variância), otimizando o esquema de amostragem e barateando os custos (MONTANARI et al., 2005).

A eficiência de um plano ou esquema amostral de solo é fortemente dependente do conhecimento prévio da estrutura da variabilidade espaço-temporal que os atributos analisados apresentam no solo (COELHO 2003; MALLARINO e WITTRY, 2004; MONTANARI et al., 2008; BRAMLEY, 2009; KERRY et al., 2010; NANNI et al., 2011; MONTANARI et al., 2012). Entretanto, a variabilidade espaço-temporal dos atributos do solo, resultante de formação do solo e intervenções antrópicas, variam em diferentes escalas espaciais e temporais, estendendo-se do nível molecular até dimensões globais, e de alguns segundos até milênios (PATZOLD et al., 2008). Nesse sentido, Cambardella et al. (1994) classificaram os fatores que condicionam a variabilidade espacial dos atributos do solo em três escalas. Em escala regional são englobados os fatores climáticos, sistemas de uso do solo, cobertura vegetativa e características da superfície do solo. Em escala de campo, os principais fatores que influenciam na variabilidade são o tipo de solo, a topografia, a cultura anterior e as práticas de manejo adotadas. E em menor escala, a orientação da linha da cultura, o método de aplicação de nutrientes, a cultura implantada, e problemas físicos, como a compactação do solo podem predominar como as causas de variabilidade.

Portanto, as diferentes escalas de variação dos atributos do solo induzem grandes dificuldades no desenvolvimento de um plano de amostragem, que utilize uma malha amostral com espaçamento único quando vários atributos do solo estão envolvidos (CAMBARDELLA e KARLEN, 1999; CHANG et al., 1999; MONTANARI et al., 2012). Desta forma, justificam-se investigações que visam definir o tamanho ideal da malha amostral para atributos específicos, especialmente aqueles, como o fósforo (P) e o potássio (K), que são elementos importantes em modelos de prescrição de manejo localizado em sítio-específico (MALLARINO e WITTRY, 2004; CORÁ e BERALDO, 2006; SANTI, 2007; TRONBET et al., 2007; AMADO e SANTI, 2011; CHERUBIN et al., 2011a; SANTI et al., 2012a).

A dimensão da malha amostral para a caracterização P e K no solo têm sido tema de discussão de vários estudos reportados na literatura. Nos Estados Unidos, Wollenhaupt et al. (1994) verificaram que a amostragem de solo utilizando malha regular de 98 m, descreveram 69% e 97% da variabilidade de P e K, respectivamente. Assim, os autores não recomendam o uso de malhas amostrais regulares maiores que 60 m, sendo que em algumas áreas poderiam ser necessárias malhas menores. Franzen e Peck (1995) concluíram que para a obtenção de predições mais acuradas da variabilidade espacial de P e K é recomendado utilizar malhas de 66 m, quando comparada a malha de 100 m. Mallarino e Wittry (2004) comparando malhas variando de 45 a 125 m verificaram que o uso de malhas menores possibilita melhor acurácia das informações obtidas, no entanto, não são indicadas por razões econômicas. Assim, concluíram que malhas regulares de 110 a 125 m foram adequadas para caracterização de P e K do solo. Magri et al. (2005) sugerem que malhas de 160 a 253 m poderiam ser utilizadas para a delimitação de zonas de manejo de fertilidade. Por outro lado, Lauzon et al. (2005) analisando 23 áreas agrícolas, observaram que a dimensão adequada da malha amostral para a maioria das áreas foi de 30 m ou menos, concordando com resultados anteriormente obtidos por McBratney e Pringle (1999).

Para as condições brasileiras, são poucos os trabalhos que visam definir uma dimensão ideal de malha amostral para a coleta de solo em áreas de AP. Nanni et al. (2011) utilizando malha amostral regular de 100 m, simularam malhas regulares maiores (144, 170, 194 e 265 m) em área cultivada com cana de açúcar, e verificaram que a malha de 100 m não foi suficiente para captar a variabilidade espacial dos níveis de P e K, inferindo que atributos mais frequentemente usado para determinar as recomendações de fertilizantes e corretivos, necessitam de amostragem mais densa. Esses resultados concordam com os obtidos por Corá e Beraldo (2006) e Montanari et al. (2012) onde o uso de malhas de 100 m e 200 m, respectivamente, não foram eficientes para expressar a real variabilidade espacial dos teores de P no solo.

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar o uso de diferentes dimensões de malha amostral para predição dos teores de P e K em área de Latossolo Vermelho manejada com AP no Sul do Brasil.

4.4 Material e Métodos

O estudo foi conduzido em área experimental localizada no município de Boa Vista das Missões, Rio Grande do Sul (RS), Brasil, situada entre as coordenadas de latitude:

27°71'66" S a 27°72'55" S e longitude: 53°33'13" O a 53°34'08" O, totalizando uma área cultivada de 41,96 ha (Figura 1). O clima da região, segundo a classificação de Maluf (2000), é subtropical com primavera úmida (ST PU) com temperatura média anual de 18,1 °C e precipitação pluvial anual de 1.919 mm ano⁻¹.

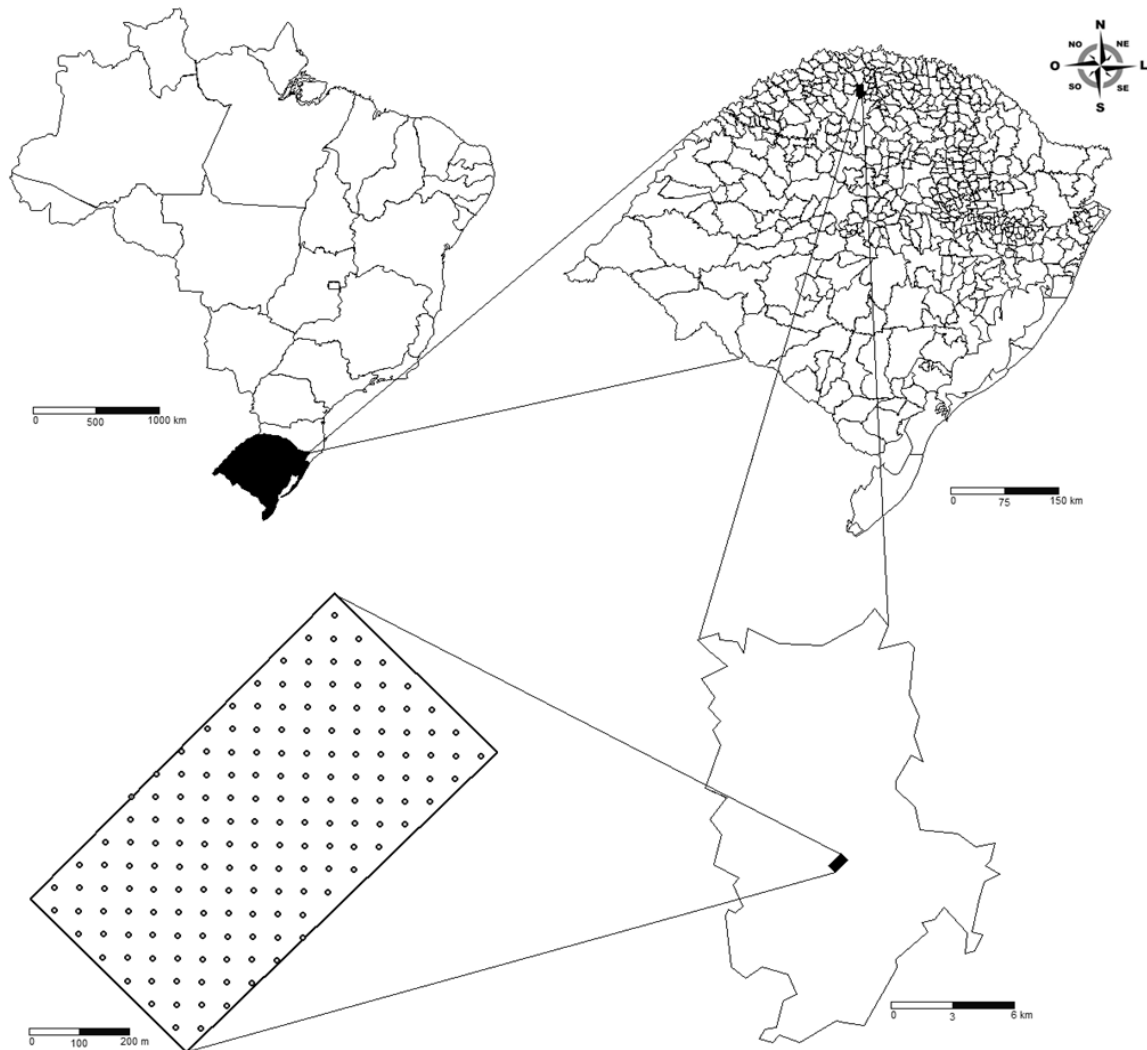


Figura 1 - Detalhe da localização da área de estudo, Boa Vista das Missões – RS, Brasil.

O relevo da região é suave ondulado e o solo presente na área experimental, foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (SANTOS et al., 2006), com textura argilosa. O manejo utilizado na área inclui a adoção do sistema plantio direto (SPD) há mais de 10 anos e a utilização de ferramentas de AP, como amostragem georreferenciada de solo e monitoramento georreferenciado da colheita. O histórico de cultivos e manejo de correções e adubações adotadas na área estudada é apresentado na tabela 1.

Tabela 1 - Histórico de cultivos e do manejo de correções e adubações na área estudada.

Ano Agrícola	Safrá	Cultura	Correção/Adubação		
			Fonte ⁽¹⁾	Quantidade (kg ha ⁻¹)	Modo de Aplicação
2008/09	Inverno	Aveia Preta	Sem Adubação	Sem Adubação	Sem Adubação
			Calcário	1.100	Laço
	Verão	Milho	Adub. Org	1.100	Laço
			MAP	170	Linha
			KCL	100	Laço
2009/10	Inverno	Aveia Branca	Uréia	290	Laço
			MAP	120	Linha
	Verão	Soja	Uréia	100	Laço
			NPK 02-25-15	340	Linha
			NPK 05-20-20	100	Linha
2010/11	Inverno	Aveia Branca	Uréia	50	Laço
			MAP	160	Linha
	Verão	Soja	SFT	120	Laço
			KCL	100	Laço
2011/12	Inverno	Aveia Preta	Sem Adubação	Sem Adubação	Sem Adubação
			DAP	120	Linha
	Verão	Soja	KCL	100	Laço

⁽¹⁾Adub. Org.: Adubação orgânica utilizando cama de peru; MAP: fosfato monoamônico (48% de P₂O₅ (em CNA+água) + 9% N); DAP: fosfato diamônico (45% de P₂O₅ (em água) + 16% N); SFT: superfosfato triplo (41% de P₂O₅ (em CNA+água) + 12-14% Ca); KCl: cloreto de potássio (58% de K₂O (em água) + 45-48% Cl); NPK: Fertilizante formulado fonte de nitrogênio, fósforo e potássio; Uréia: (45% N).

No estudo da amostragem de solo em malhas, inicialmente realizou-se a vetorização da área experimental a partir da demarcação do perímetro da mesma, utilizando um aparelho de GPS de navegação portátil. Posteriormente, foram geradas e sobrepostas sobre a área sete malhas amostrais quadriculares regulares, cujas dimensões foram: 50 x 50 m (0,25 ha); 75 x 75 m (0,56 ha); 100 x 100 m (1,00 ha); 125 x 125 m (1,56 ha); 150 x 150 m (2,25 ha); 175 x 175 m (3,06 ha); e 200 x 200 m (4,00 ha). No centro de cada quadrícula, foi disposto o ponto georreferenciado de coleta de solo, totalizando, respectivamente em cada malha, 164, 74, 38, 26, 16, 14 e 9 pontos amostrais (Figura 2). As malhas amostrais foram geradas através do programa computacional CR - Campeiro 7 (GIOTTO e ROBAINA, 2007), desenvolvido pelo Departamento de Geomática da Universidade Federal de Santa Maria.

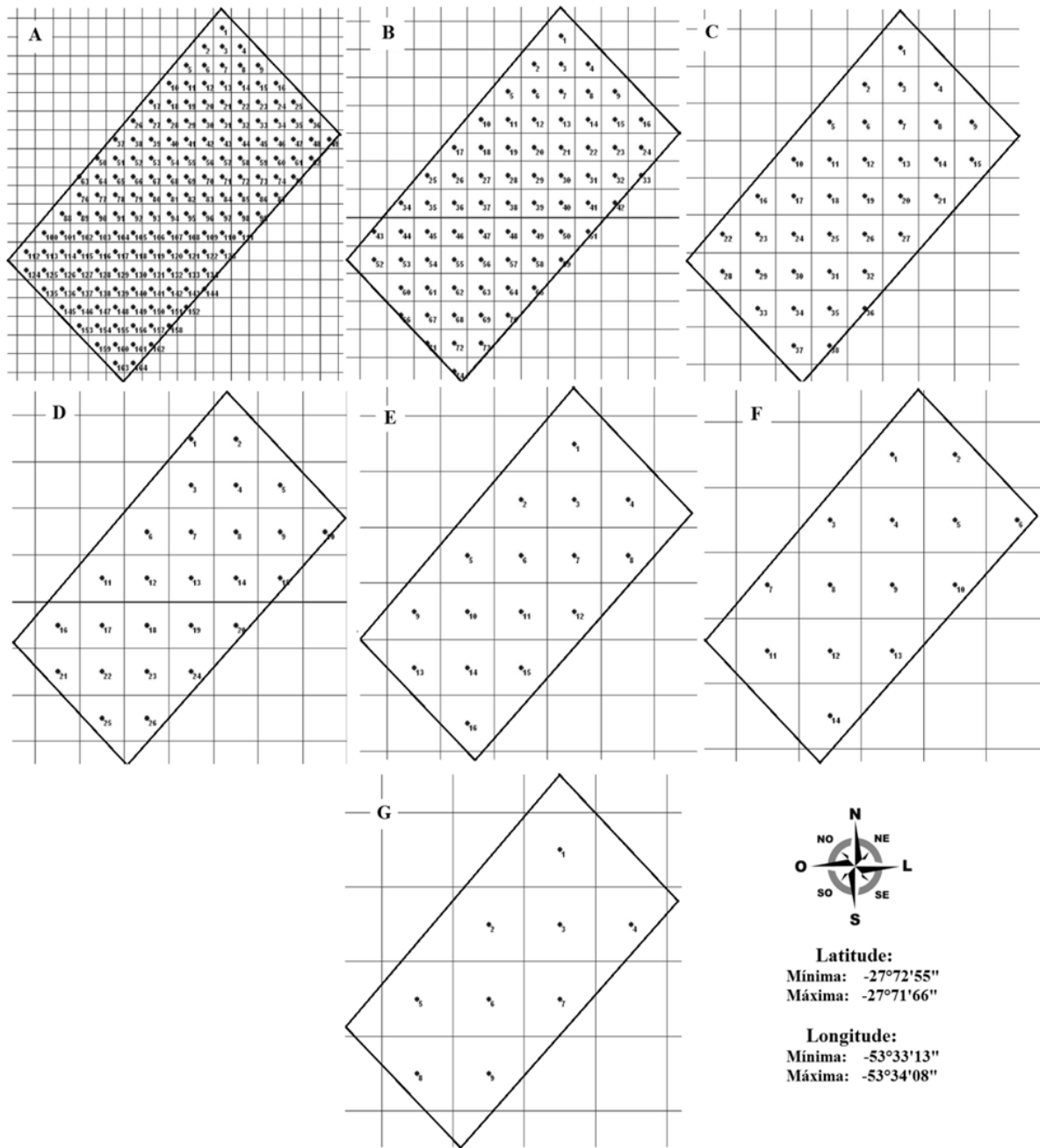


Figura 2 - Área experimental com as malhas amostrais e os pontos georreferenciados sobrepostos, em que: A) malha 50 x 50 m (164 pontos); B) malha 75 x 75 m (74 pontos); C) malha 100 x 100 m (38 pontos); D) malha 125 x 125 m (26 pontos); E) malha 150 x 150 m (16 pontos); F) malha 175 x 175 m (14 pontos); e G) malha 200 x 200 m (9 pontos).

A coleta de solo foi realizada em janeiro de 2012, em todas as malhas amostrais, utilizando trado calador de forma manual. Cada amostra foi composta por 10 subamostras, coletadas num raio de aproximadamente 10 m do ponto georreferenciado, na profundidade de 0,00-0,10 m, recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (COMISSÃO..., 2004) em áreas de SPD consolidado. As amostras foram encaminhadas ao

Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Federal de Santa Maria *campus* Frederico Westphalen e analisadas conforme metodologias descritas por Tedesco et al. (1995) e recomendadas pela Comissão... (2004). Para fins deste estudo, foram determinados os teores de P e K pelo método Mehlich -1, bem como, seus parâmetros interpretativos, teor de argila e capacidade de troca de cátions potencial (CTC_{pH7}) (Apêndice A).

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, objetivando verificar a posição e dispersão dos dados, com o auxílio do programa computacional *Statistical Analysis System* – SAS 8.0 (SAS INSTITUTE, 1999). Os parâmetros estatísticos determinados foram: mínimo, média, mediana, máximo, desvio padrão, erro padrão e coeficientes de variação (CV%), precisão (CP), assimetria (Cs) e de curtose (Ck). Com base nos valores de CV(%) obtidos, a dispersão dos dados foi classificada em: baixa (CV: <15%), moderada (CV: 15 a 35%), alta (CV: >35%) (WILDING e DREES, 1983). Os valores de coeficiente de curtose (Cs), que expressam a dispersão (achatamento) da distribuição em relação a um padrão, que geralmente é a curva normal, foram classificados em: Ck =0 distribuição é mesocúrtica, Ck <0 platicúrtica e se Ck >0 leptocúrtica. Os valores de coeficiente de assimetria (Ck) que caracterizam quanto e como a distribuição de frequências se afasta da simetria, foram classificados em: Cs >0 distribuição assimétrica à direita; Cs <0 distribuição é assimétrica à esquerda; e Cs =0, a distribuição é simétrica. Além disso, verificou-se a existência de tendência central (normalidade) dos dados originais por meio do Teste W ($p < 0,05$) (SHAPIRO e WILK, 1965). Foram considerados como distribuição de probabilidade normal os dados que obtiveram resultado de p -valor >0,05, ou seja, valor não significativo ao nível de 5% de significância.

A análise da variabilidade espacial dos atributos químicos foi realizada através de semivariogramas (VIEIRA, 2000), cujos ajustes foram realizados por modelos matemáticos teóricos (esférico, exponencial, gaussiano e linear), utilizando o programa computacional *Gamma Design Software* – GS+ (ROBERTSON, 1998). A presença de anisotropia foi verificada calculando os semivariogramas para quatro direções, com intervalos de 45° (0, 45, 90 e 135°). Assim, foi observada a inexistência de anisotropia no conjunto dos dados, assumindo que a variabilidade espacial é unidirecional (isotropia) para todas as análises. Os modelos foram ajustados aos semivariogramas com base no melhor coeficiente de determinação (r^2) e menor soma de quadrados do resíduo (SQR), e avaliados pela técnica de validação cruzada. Do ajuste de um modelo matemático aos dados, foram definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita (C_0), contribuição (C_1), patamar (C_0+C_1) e alcance (a).

O índice de dependência espacial (IDE) foi calculado por meio da equação, $IDE = [C_0 / (C_0 + C_1)] * 100$. Com base nos IDE classificou-se o grau de dependência espacial (GDE) como forte, para $IDE \leq 25\%$, moderado, para IDE entre 25 e 75%, e fraco, para $IDE > 75\%$ (CAMBARDELLA et al., 1994).

Para a construção dos mapas temáticos, foram utilizados os métodos de interpolação por krigagem, para os dados que apresentaram estrutura espacial, e por inverso do quadrado da distância, para os dados que não apresentaram estrutura espacial (efeito pepita puro). Os mapas temáticos foram gerados com auxílio do programa computacional CR - Campeiro7 (GIOTTO e ROBAINA, 2007).

A similaridade dos mapas temáticos de P e K, construídos a partir dos dados coletados nas diferentes malhas amostrais foi avaliada por meio de dois parâmetros estatísticos, o coeficiente de desvio relativo (CDR, %) e a matriz de correlação linear simples de Pearson ($p < 0,05$). O CDR, expressa a diferença média, em módulo, dos valores interpolados em cada mapa, considerando um deles como mapa referência (padrão). Quanto menor for o percentual encontrado, maior será a similaridade entre os mapas. O cálculo é dado pela equação adaptada de Coelho et al. (2009).

$$CDR = \sum |(T_{ij} - T_{iref}) / T_{iref}| * (100/n)$$

Onde:

n: número de pontos interpolados (no presente estudo $n=164$ pontos); T_{iref} : teor referência do nutriente no ponto i (no presente estudo, os teores de referência do nutriente foram obtidos na malha mais densa, 50 x 50 m); T_{ij} : teor do nutriente no ponto i para as diferentes dimensões de malhas amostrais j (j_1 : 50 x 50 m; j_2 : 75 x 75 m; j_3 : 100 x 100 m; j_4 : 125 x 125 m; j_5 : 150 x 150 m; j_6 : 175 x 175 m; j_7 : 200 x 200 m).

A matriz de correlação linear simples de Pearson ($p < 0,05$) foi realizada igualando o conjunto de dados (n) para todos os mapas temáticos gerados a partir das malhas estudadas. Para tanto, do mesmo modo ao realizado no cálculo do CDR, foram utilizado os valores dos 164 pontos amostrais no mapa cuja malha era mais densa (50 x 50 m) e nos demais mapas os valores interpolados nesses mesmos 164 locais.

4.5 Resultados e Discussão

Os resultados da análise estatística descritiva dos teores de P e K obtidos a partir da amostragem de solo utilizando diferentes dimensões de malhas amostrais são apresentados na tabela 2. De modo geral, verificou-se que o solo apresenta alta fertilidade, com teores de P e

K acima do nível crítico (COMISSÃO..., 2004), sendo adequados para o desenvolvimento das culturas. Também, observou-se que conforme a dimensão da malha amostral aumentou, ocorreram reduções nas amplitudes entre os valores mínimos e máximos obtidos, tendendo para uma aproximação aos valores médios. Assim, o aumento do número de amostras coletadas (n), proporcionado por malhas amostrais menores, possibilita identificar locais da área onde os teores de P e K são mais extremos, e se não corrigidos, podem tornar-se pontos de limitado potencial produtivo.

Tabela 2 - Estatística descritiva dos valores de fósforo (mg dm^{-3}) e potássio (mg dm^{-3}) obtidos utilizando diferentes dimensões de malhas amostrais em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão.

Parâmetros Estatísticos ⁽¹⁾	Malha Amostral (m)						
	50x50	75x75	100x100	125x125	150x150	175x150	200x200
	Fósforo						
n	164	74	38	26	16	14	9
Mínimo	5,50	6,56	8,40	11,30	14,30	12,40	11,70
Média	25,30	25,60	22,88	26,46	26,09	25,47	16,44
Mediana	23,90	23,84	22,10	25,80	24,15	25,05	16,60
Máximo	54,90	54,70	51,20	41,00	52,70	39,80	22,90
DP	8,80	9,94	9,03	7,41	10,46	7,49	3,60
Erro (%)	5,34	8,91	12,71	10,97	20,28	15,98	15,16
CV (%)	34,79	38,84	39,45	27,98	40,08	29,39	21,87
CP (%)	2,72	4,52	6,40	5,49	10,02	7,85	7,29
Cs	0,73	0,29	0,70	0,39	1,35	0,07	0,30
Ck	0,80	-0,37	1,05	-0,21	1,79	-0,22	-0,05
Teste W ⁽²⁾	0,97 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,87*	0,98 ^{ns}	0,96 ^{ns}
	Potássio						
n	164	74	38	26	16	14	9
Mínimo	130,00	160,00	180,00	195,00	185,00	180,00	180,00
Média	235,49	250,74	237,50	236,54	220,62	252,86	253,89
Mediana	230,00	250,00	235,00	230,00	215,00	267,50	270,00
Máximo	355,00	310,00	315,00	290,00	355,00	305,00	290,00
DP	34,33	28,36	34,02	24,48	38,89	36,73	33,24
Erro (%)	2,24	2,60	4,62	4,06	8,92	7,90	9,07
CV (%)	14,58	11,31	14,33	10,35	17,63	14,52	13,09
CP (%)	1,14	1,31	2,32	2,03	4,41	3,88	4,36
Cs	0,36	-0,16	0,38	0,53	2,98	-0,79	-1,50
Ck	0,84	0,45	-0,48	-0,15	10,66	-0,11	2,53
Teste W ⁽¹⁾	0,98 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,65*	0,92 ^{ns}	0,86 ^{ns}

⁽¹⁾ n: número de observações (amostras); DP: Desvio Padrão; Erro: Erro Padrão; CV: Coeficiente de Variação; CP: Coeficiente de Precisão; Cs: Coeficiente de Assimetria; Ck: Coeficiente de Curtose; ⁽²⁾ Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (ns) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Em relação às medidas de posição central, percebeu-se que os valores das médias e das medianas foram similares, indicando que os dados apresentaram distribuição de frequência que tendeu a normalidade [Teste W (5%)], exceto para a malha 150 x 150 m. A normalidade dos dados podem ser comprovados pelos valores dos coeficientes de assimetria e curtose próximos à zero. Mesmo não sendo uma exigência, a normalidade dos dados possibilita uma melhor predição dos valores não amostrados por meio da geoestatística (WEBSTER e OLIVER, 2007).

Quanto à dispersão relativa dos dados, fornecida pelos valores dos coeficientes de variação (CV%), constatou-se que os teores de P apresentaram os valores de CV% classificados de moderados (15-35%) a altos (>35%). Estes resultados corroboram com os anteriormente encontrados em diversos estudos sob Latossolos (CORÁ e BERALDO, 2006; SANTI, 2007; MONTANARI et al., 2008; AMADO et al., 2009; SILVA et al., 2010; CHERUBIN et al., 2011b; NANNI et al., 2011; FERRAZ et al., 2012; SANTI et al., 2012a e b; BOTTEGA et al., 2013). De acordo com muitos dos autores acima citados, a elevada variação dos teores de P decorre em função das sucessivas aplicações de fertilizantes localizadas na linha, contribuindo para a manutenção ou/e aumento da variabilidade espacial do solo. Para o K, em geral, a dispersão foi classificada como baixa (CV:<15%) (MALLARINO e WITTRY, 2004; AMADO et al., 2009; CHERUBIN et al., 2011b; FERRAZ et al., 2012; SANTI et al., 2012a; BOTTEGA et al., 2013), podendo estar relacionado à maior mobilidade do K no solo em relação ao P (ERNANI et al., 2007) minimizando a microvariabilidade espacial, efeito da concentração de fertilizantes potássicos na linha.

Ao comparar a dispersão dos dados entre as sete malhas amostrais, utilizando o coeficiente de precisão (CP%), nota-se que, a medida que reduz a dimensão da malha amostral (pontos amostrais mais próximos), mais acuradas são as avaliações realizadas (<CP%), conseqüentemente reduz a porcentagem de erro e melhora a qualidade da amostragem de solo realizada.

Na análise da variabilidade espacial dos teores de P e K do solo, por meio dos resultados da análise geoestatística (Tabela 3), observou-se que, exceto na maior malha estudada (200 x 200 m), nas demais malhas os pontos amostrais apresentaram dependência espacial, possibilitando a predição dos valores nos locais não amostrados utilizando o interpolador geoestatístico krigagem. Portanto, para as condições estudadas, o uso de malha amostral de 200 x 200 m para a predição da variabilidade espacial dos teores de P e K no solo, não é indicada. O comportamento aleatório (efeito pepita puro) dos teores de P e K, obtidos

na maior malha estudada, estão relacionados com o aumento da distância entre os pontos amostrais, associado com a redução do número de pontos coletados. De acordo com Webster e Oliver (1992; 2007) a redução do conjunto de dados aumenta o intervalo de confiança, reduzindo a precisão dos modelos ajustados, até tornarem-se aleatórios. Neste sentido, esses autores sugerem que no mínimo utilize-se 100 pontos amostrais para gerar previsões acuradas.

Tabela 3 - Parâmetros geoestatísticos dos valores de fósforo (mg dm^{-3}) e potássio (mg dm^{-3}) obtidos utilizando diferentes dimensões de malhas amostrais em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão.

Parâmetros Geoestatísticos	Malha Amostral						
	50x50	75x75	100x100	125x125	150x150	175x175	200x200
Fósforo							
Efeito Pepita	52,30	38,30	6,70	39,80	37,60	0,10	EPP ⁽⁴⁾
Patamar	104,70	113,20	100,60	99,08	166,10	56,15	EPP
Contribuição	52,40	74,90	93,90	59,28	128,50	56,05	EPP
Alcance	1.030,00	439,00	521,00	2.110,00	774,00	338,00	EPP
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	EPP
$r^{2(1)}$	0,84	0,85	0,92	0,90	0,98	0,92	EPP
IDE ⁽²⁾	49,95	33,83	6,66	40,17	22,64	0,18	-
Classe ⁽³⁾	Moderada	Moderada	Forte	Moderada	Forte	Forte	-
Potássio							
Efeito Pepita	902,00	758,78	914,00	1,00	1.645,00	1,00	EPP
Patamar	1.805,00	840,72	1.829,00	634,20	3.291,00	1.861,00	EPP
Contribuição	903,00	81,94	915,00	633,20	1.646,00	1.860,00	EPP
Alcance	2.895,00	645,59	2.110,00	337,00	3.654,63	587,00	EPP
Modelo	Exponencial	Linear	Esférico	Esférico	Gaussiano	Esférico	EPP
r^2	0,89	0,20	0,37	0,48	0,30	0,71	EPP
IDE	49,97	90,25	49,97	0,16	49,98	0,05	-
Classe	Moderada	Fraca	Moderada	Forte	Moderada	Forte	-

⁽¹⁾Coefficiente de determinação; ⁽²⁾IDE: índice de dependência espacial; ⁽³⁾GDE: Grau da Dependência Espacial, de acordo com classificação proposta por Cambardella et al. (1994); ⁽⁴⁾EPP: Efeito Pepita Puro.

Nas malhas amostrais em que foi verificada a dependência espacial dos dados, o P apresentou estrutura espacial melhor definida, em relação ao K, sendo classificada de moderada (IDE 25-75%) a forte (IDE $\leq 25\%$). O modelo teórico que possibilitou os melhores ajustes dos semivariogramas foi o esférico, com altos coeficientes de determinação ($0,84 > r^2 < 0,98$). Para o K, a dependência espacial variou de fraca (IDE $> 75\%$) na malha 75 x 75 m, a forte (IDE $\leq 25\%$) nas malhas 125 x 125 m e 175 x 175 m. Os melhores ajustes dos

semivariogramas foram obtidos pelos modelos teóricos, esférico (malhas 100 x 100 m, 125 x 125 m e 175 x 175 m), exponencial (malha 50 x 50 m), linear (malha 75 x 75 m) e gaussiano (malha 150 x 150 m), com mais baixos coeficientes de determinação ($0,20 > r^2 < 0,84$).

Os valores dos alcances do P variaram de 338 m (malha 175 x 175m) a 2.110 m (malha 125 x 125 m) e para o K variaram de 337 m (malha 125 x 125 m) a 3.654 m (malha 175 x 175m). O alcance representa a distância limite na qual uma variável regionalizada apresenta continuidade espacial (dependência espacial). Dessa forma, variáveis amostradas a distâncias maiores que os valores de alcance apresentam distribuição aleatória, sendo independentes entre si (VIEIRA, 2000).

Alguns trabalhos têm sugerido que metade do valor do alcance (KERRY e OLIVER, 2003; 2004) possa ser o parâmetro balizador para a definição da distância máxima entre amostras e por consequência da dimensão da malha amostral em planos de amostragem futuros. Entretanto, o uso de tal critério merece cautela, e aplica-se com mais confiabilidade apenas na área amostrada. Não é indicado extrapolar essa estimativa para outras áreas, visto que os valores de alcances obtidos, para um mesmo atributo, são bastante variáveis entre áreas, uma vez que se condicionam pela continuidade espacial da variável, distância entre os pontos amostrais e número de amostras. Além do mais, dependendo do tamanho da área e do valor do alcance, utilizar esse parâmetro pode conduzir a obtenção de poucos pontos amostrais, comprometendo a acurácia e a confiabilidade das informações geradas.

Os dados de P e K espacializados na forma de mapas temáticos (Figuras 3 e 4) indicam que a redução da dimensão da malha amostral, ou seja, aumento da densidade amostral e aproximação dos pontos amostrais promove um maior detalhamento da distribuição espacial desses atributos na área, e conseqüentemente melhora a acurácia das informações geradas por meio dos mapas temáticos. Esses resultados concordam com afirmações de Coelho et al. (2009), Cherubin et al. (2011c) e Riffel et al. (2012) no qual inferem que, à medida que se aproximam os pontos amostrais, mais acurados são os valores dos locais não amostrados estimados por interpoladores geoestatísticos. Portanto, é esperado que pontos de amostragens localizados mais próximos fossem mais parecidos entre si do que os mais afastados, conseqüentemente, reduzindo a probabilidade de erros (VIEIRA, 2000; WEBSTER e OLIVER, 2007).

Dessa forma, após verificar, por meio de procedimentos estatísticos e geoestatísticos, que as dimensões de malhas amostrais estudadas, exceto a de 200 x 200 m, foram capazes de captar a variabilidade espacial do P e K no solo, a decisão de optar por utilizar uma malha maior ou menor deve levar em consideração fatores como: tamanho da área, custo da

amostragem e análise do solo, situação da fertilidade da área, intensificação e tecnificação do sistema produtivo, nível de precisão desejado, dentre outros.

Comparando a variação dos teores de P e K, em valores absolutos (mg dm^{-3}), observada nos mesmos locais da área quando amostrados com as diferentes dimensões de malha, em relação a menor malha, 50 x 50 m, estabelecida como referência (Figuras 5 e 6), percebe-se que o quão são modificadas as informações geradas. Dependendo da malha utilizada verificou-se locais onde as variações nos teores de P foram superiores a 30 mg dm^{-3} e de K próximas a 150 mg dm^{-3} . Desta forma, é evidente que tais variações, implicaram em importantes modificações nos mapas temáticos gerados, podendo conduzir a erros de interpretações, recomendações e intervenções em sítio-específico a serem realizadas na área. Essas constatações são confirmadas pelos resultados obtidos nas análises de similaridades entre os mapas interpolados por meio do CDR e da correlação linear de Pearson.

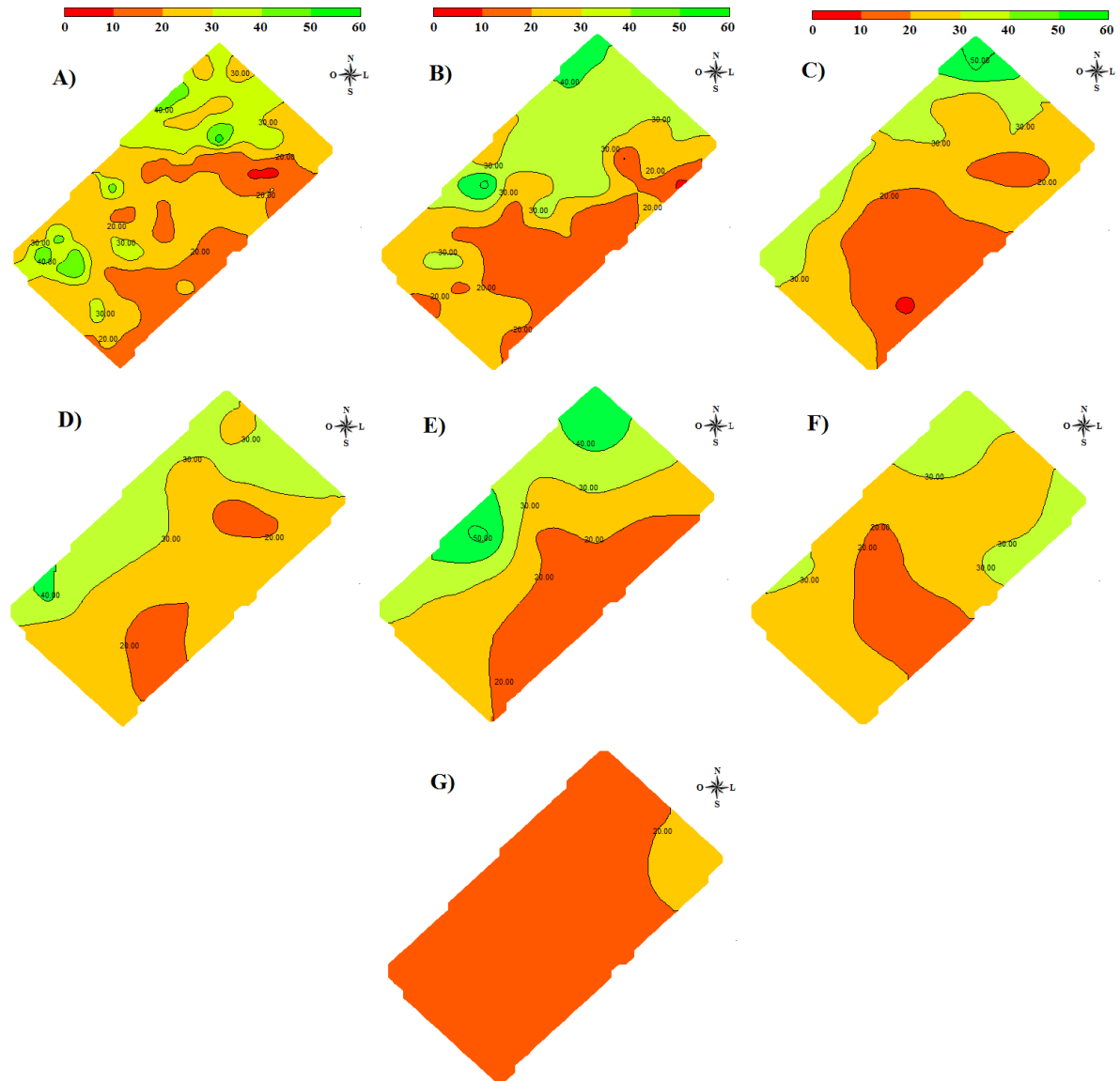


Figura 3 - Espacialização dos valores de fósforo (mg dm^{-3}) obtidos utilizando diferentes dimensões de malhas amostrais, em que: A) 50 x 50 m; B) 75 x 75 m; C) 100 x 100 m; D) 125 x 125 m; E) 150 x 150 m; F) malha 175 x 175 m; G) 200 x 200 m, em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão.

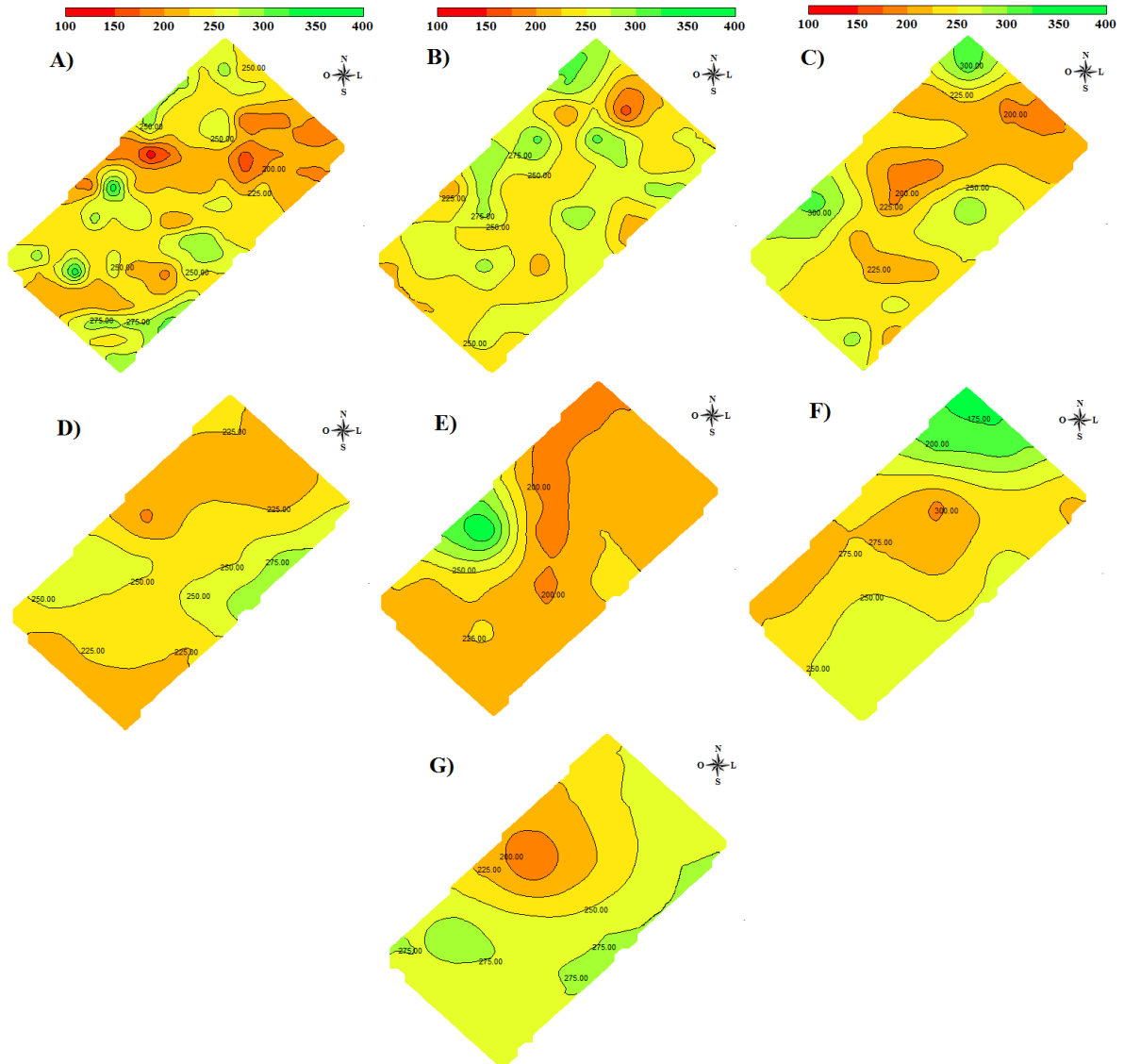


Figura 4 - Espacialização dos valores de potássio (mg dm^{-3}) obtidos utilizando diferentes dimensões de malhas amostrais, em que: A) 50 x 50 m; B) 75 x 75 m; C) 100 x 100 m; D) 125 x 125 m; E) 150 x 150 m; F) malha 175 x 175 m; G) 200 x 200 m, em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão.

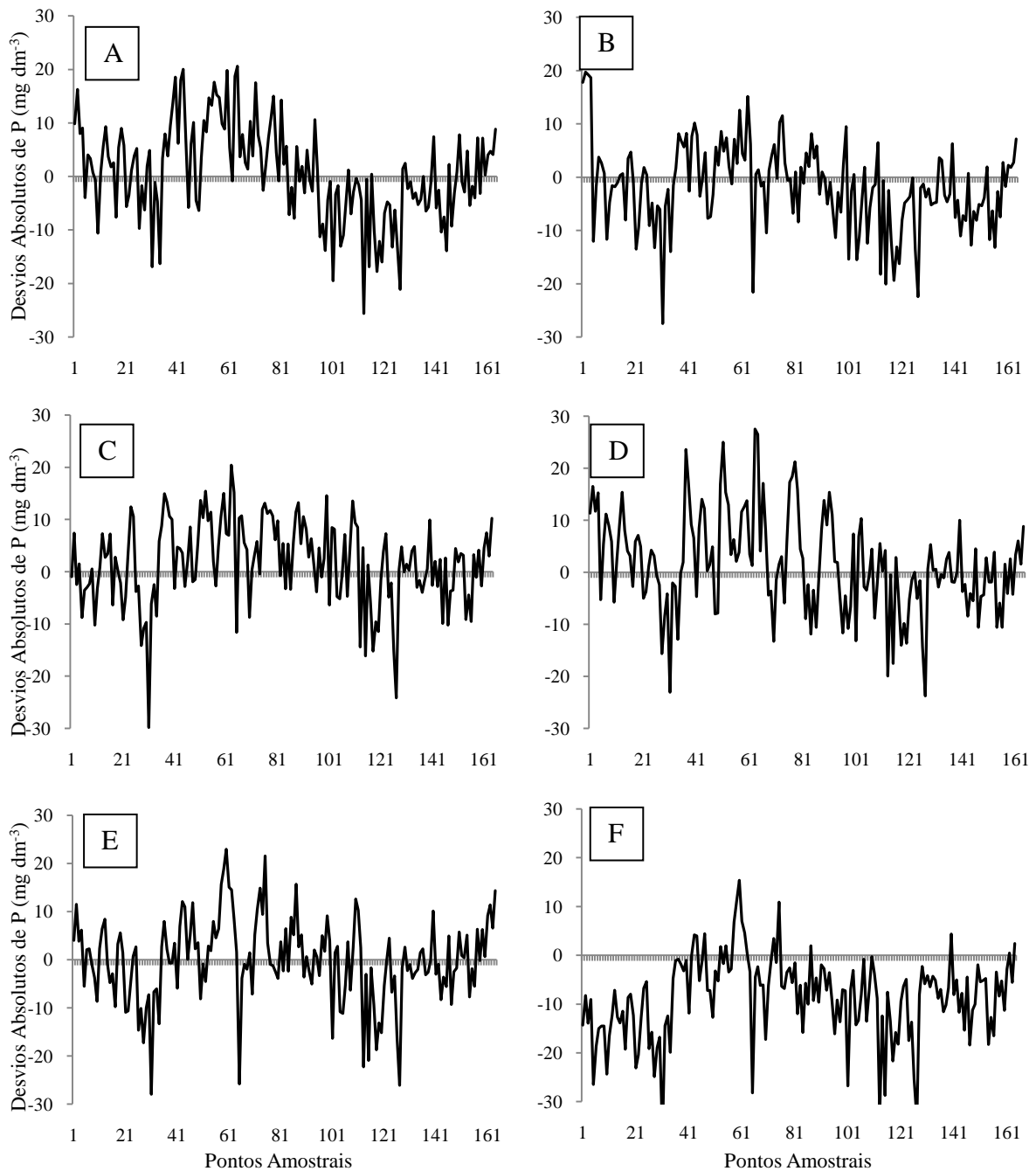


Figura 5 - Desvios absolutos dos valores de fósforo (mg dm^{-3}) obtidos na malha 50 x 50 m, em relação aos valores obtidos nas malhas 75 x 75 m (A), 100 x 100 m (B), 125 x 125 m (C), 150 x 150 m (D), 175 x 175 m (E), 200 x 200 m (F), em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão.

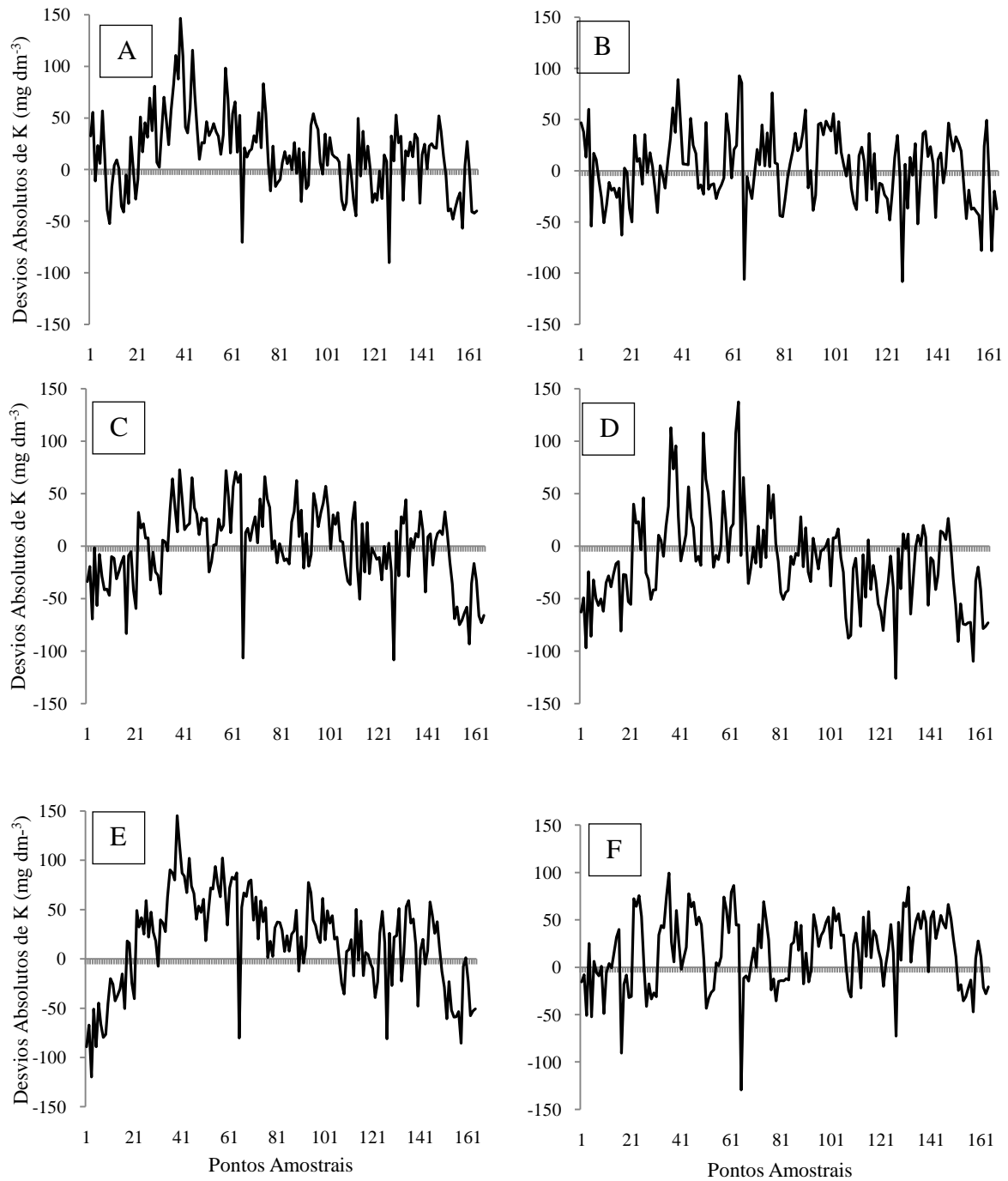


Figura 6 - Desvios absolutos dos valores de potássio (mg dm^{-3}) obtidos na malha 50 x 50 m, em relação aos valores obtidos nas malhas 75 x 75 m (A), 100 x 100 m (B), 125 x 125 m (C), 150 x 150 m (D), 175 x 175 m (E), 200 x 200 m (F), em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão.

Com base nos resultados do CDR (Figura 7), percebeu-se que conforme aumentou a dimensão da malha amostral e conseqüentemente a distância entre pontos amostrais, aumentou a dissimilaridade dos mapas obtidos, em relação ao mapa da menor malha, estabelecida como referência. Este aumento foi ajustado por regressões lineares, com coeficientes de determinação (r^2) de 0,91 e 0,59 para os mapas de P e K, respectivamente. Os mapas P apresentaram maior dissimilaridade entre si, com CDR variando de 24,0 a 36,2%, enquanto nos mapas de K, os valores do CDR variaram de 11,7 a 19,4%. Estes resultados demonstram que o CDR foi um parâmetro eficiente para avaliar a similaridade dos mapas temáticos de atributos do solo, apresentando grandes potencialidades de uso na AP. Anteriormente, resultados semelhantes aos obtidos no presente trabalho foram observados em mapas de produtividade de soja (COELHO et al., 2009) e de milho (SPEZIA et al., 2012).

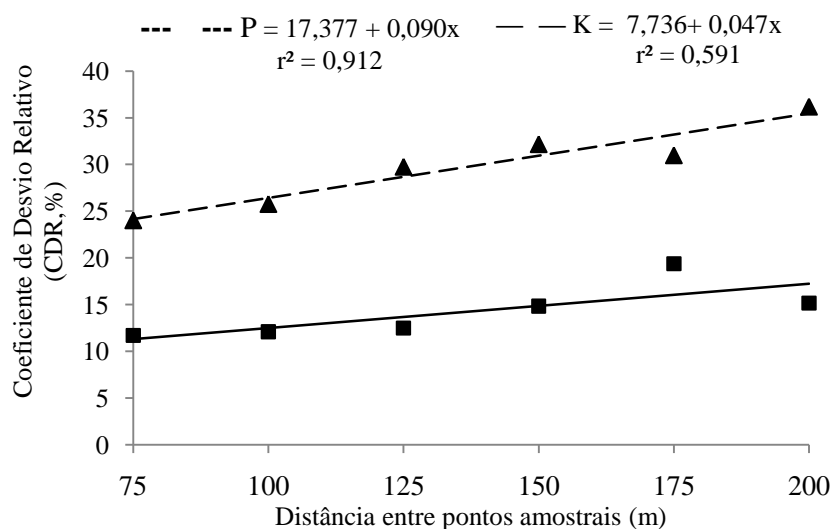


Figura 7 - Coeficientes de desvio relativo (CDR,%) entre os mapas dos teores de fósforo e potássio obtidos nas diferentes dimensões de malha amostral em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão.

Observando os resultados da análise de correlação linear de Pearson (Tabela 4), nota-se que para os mapas de P, o comportamento foi semelhante ao verificado por meio do CDR, indicando redução da correlação, entre o mapa obtido na malha 50 x 50 m (referência) e os mapas interpolados das demais malhas estudadas, à medida que a dimensão da malha amostral aumentou. Ou seja, quanto maior a malha amostral, maiores são os desvios e conseqüentemente os erros dos mapas obtidos. Todas as malhas amostrais se correlacionaram significativamente pelo Teste t ($p < 0,05$) com a malha de referência (50 x 50 m), com

coeficientes de correlação (r) variando de $r = 0,56$ (malha 75 x 75 m) até $r = 0,26$ (malha 200 x 200 m). Por outro lado, para os mapas de K, não foi possível prever um padrão de redução da similaridade entre os mapas temáticos a partir da análise de correlação. Isso, em partes, deve-se a maior dinâmica desse nutriente no solo, demonstrando um comportamento espacial menos estruturado em relação ao P (Tabela 3). As únicas malhas amostrais que se correlacionaram com a malha de referência (50 x 50 m) foram as de, 100 x 100 m ($r = 0,34$), 175 x 175 m ($r = 0,20$) e 200 x 200 m ($r = 0,19$).

Tabela 4 - Coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre os mapas dos teores de fósforo e potássio obtidos nas diferentes dimensões de malha amostral em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão.

Malha Amostrai	Malha Amostrai (m)						
	50	75	100	125	150	175	200
Fósforo							
50	1,00	0,56*	0,53*	0,47*	0,45*	0,32*	0,26*
75		1,00	0,71*	0,57*	0,72*	0,47*	0,54*
100			1,00	0,68*	0,74*	0,69*	0,60*
125				1,00	0,78*	0,39*	0,60*
150					1,00	0,37*	0,56*
175						1,00	0,55*
200							1,00
Potássio							
50	1,00	0,12	0,34*	0,13	0,03	0,20*	0,19*
75		1,00	0,24*	0,10	0,16*	0,12	-0,22*
100			1,00	0,41*	0,27*	-0,05	0,27*
125				1,00	0,32*	0,40*	0,45*
150					1,00	0,34*	-0,15
175						1,00	-0,18*
200							1,00

*Correlação linear de Pearson significativa ($p < 0,05$). $n = 164$

A dissimilaridade dos mapas temáticos de P e K ou a falta de reprodutibilidade da variabilidade espacial observada no presente trabalho, em partes, deve-se ao fato, de que para cada malha amostral foram realizadas coletas de solo independentes, obtendo diferentes conjuntos de dados, diferentemente de outros estudos (SHI et al., 2000; MALLARINO e WITTRY, 2004; NANNI et al., 2011), onde foram realizadas simulações das amostragens em malhas crescentes a partir de um mesmo conjunto de dados. Portanto, os resultados de amostras de solo independentes, mesmo que coletadas próximas estão sujeitos a importantes

variações em função da microvariabilidade espacial (curtas distâncias) do solo (GUARÇONI et al., 2006), associadas a imprecisões e erros analíticos no laboratório.

Os resultados demonstram que a acurácia das predições de variabilidade espacial de P e K no solo e conseqüentemente o sucesso de intervenções localizadas em sítios-específicos, depende da utilização de malhas amostrais adensadas, que possibilitem a coleta de um número de amostras suficiente para captar as diferentes escalas de variabilidade que ocorrem na área. E assim, devem ser preconizadas em planos de amostragem de solo adotados nas áreas de AP. Alternativamente à utilização de malhas amostrais adensadas, estão sendo estudados e apontados dois direcionamentos futuros para a AP. Um, baseia-se no uso de amostragem de solo em zonas de manejo, geralmente delimitadas com base em histórico de mapas de produtividade (MOLIN, 2002; BLACKMORE et al., 2003; SANTI, 2007), e tem como premissa a coleta de amostras dirigidas em cada zona, acarretando na redução do número de amostras necessária. Entretanto, essa metodologia exige grandes bancos de dados de produtividade para delimitar as zonas de manejo, que geralmente o produtor não possui, e ainda carece de comprovações científicas de sua eficiência no manejo da fertilidade do solo. O segundo direcionamento da AP, aponta para a coleta de grandes conjuntos de dados com o uso de sensores com diferentes princípios de funcionamento para a determinação ou estimativa dos atributos do solo (ADAMCHUK et al., 2004; MALEKI et al., 2006; MOUAZEN et al., 2007; KUANG e MOUAZEN, 2011; KODAIRA e SHIBUSAWA, 2012; KUANG et al., 2012; MAHMOOD et al., 2012). Entretanto, os princípios de funcionamento, calibrações, transformações e modelagem dos dados, algoritmos de predições, viabilidade técnica e econômica, dentre outros, ainda estão sendo amplamente estudados em fases experimentais nos países desenvolvidos, demandando de certo tempo ainda para estarem disponíveis e se popularizarem nas áreas de AP do Brasil.

4.6 Conclusões

1. As malhas amostrais estudadas, exceto a 200 x 200 m, possibilitam caracterizar a variabilidade espacial dos teores de P e K em área de Latossolo Vermelho. Entretanto, a redução da dimensão da malha amostral aumenta a acurácia das informações geradas por meio de mapas temáticos e deve ser preconizada em planos de amostragem de solo adotados nas áreas de AP.

2. A dependência espacial do P classifica-se de moderada a forte, com ajustes satisfatórios dos modelos, por outro lado, o K apresentou dependência espacial mais fraca, com modelos menos ajustados.
3. Os mapas temáticos de K apresentam maior similaridade ao mapa da menor malha amostral (50 x 50 m) estabelecido como referência, em comparação aos mapas temáticos de P. Entretanto, os mapas temáticos de P mostraram-se melhor correlacionados entre si, quando comparados aos mapas temáticos de K.
4. O coeficiente de desvios relativos (CDR) é um parâmetro eficiente para avaliar a similaridade de mapas temáticos de atributos de solo, apresentando grandes potencialidades de uso na AP.

4.7 Agradecimentos

A Fazenda Vila Morena, pertencente ao Grupo Schaedler pela disponibilização da área de estudo e suporte logístico na execução da pesquisa. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

4.8 Referências Bibliográficas

ADAMCHUK, V. I.; HUMMEL, J. W.; MORGAN, M. T.; UPADHYAYA, S. K. On-the-go soil sensors for precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.44, p.71-91, 2004.

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.831-843, 2009.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. Using Precision Farming to Overcome Yield-Limiting Factors in Southern Brazil Oxisols: A Case Study. In: CLAY D. E.; SHANAHAN, J. F. **GIS Applications in Agriculture – v.2 – Nutrients Management for Energy Efficiency**, EUA: CRC Press, p.31-60, 2011.

BLACKMORE, S.; GODWIN, R. J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. **Biosystems Engineering**, v.84, p.455-466, 2003.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M. de; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. de. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, p.1-9, 2013.

BRAMLEY, R. G. V. Lessons from nearly 20 years of Precision Agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application. **Crop & Pasture Science**, v.60, p.197-217, 2009.

CAMBARDELLA, C. A.; KARLEN, L. D. Spatial analysis of soil fertility parameters. **Precision Agriculture**, v.1, p.5-14, 1999.

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 American Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

CHANG, J.; CLAY, D. E.; CARLSON, C. G.; MALO, D.; CLAY, S. A. Precision Farming Protocols: Part 1. Grid distance and soil nutrient impact on the reproducibility of spatial variability measurements. **Precision Agriculture**, v.1, p.277-289, 1999.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p.196-210, 2011b.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L. Variabilidade da resistência a penetração do solo em função da dimensão da malha amostral. **Revista Plantio Direto**, n.125, p.1-9, 2011c.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; MORAES, M. T.; AMARAL, A. Demonstração da viabilidade técnica e econômica da utilização de taxa variável em área manejada com agricultura de precisão. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, p.1-12, 2011a.

COELHO, A. M. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, R. F.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J.

M.; LOPES, A. S.; ALVARES V., V. H. (Eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.259-290, 2003.

COELHO, E. C.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; PINHEIRO NETO, R. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.31, p.165-174, 2009.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.374-387, 2006.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.551-594, 2007.

FERRAZ, G. A. E. S.; DA SILVA, F. M.; CARVALHO, L. C. C.; ALVES, M. C.; FRANCO, B. C. Variabilidade espacial e temporal do fósforo, potássio e da produtividade de uma lavoura cafeeira. **Engenharia Agrícola**, v.32, p.140-150, 2012.

FRANZEN, W. D.; PECK, T. R. Field soil sampling density for variable rate fertilization. **Journal of Production Agriculture**, v.8, p.568-574, 1995.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A. D. **A agricultura de precisão com o CR Campeiro 7**. Manual do usuário. Santa Maria: UFSM/Centro de Ciências Rurais/Departamento de Engenharia Rural/Laboratório de Geomática, 2007, 319p.

GUARÇONI M., A.; ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; CANTARUTTI, R. B.; LEITE, H. G.; FREIRE, F. M. Definição da dimensão do indivíduo solo e determinação do número de

amostras simples necessário à sua representação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.943-954, 2006.

HAVLIN, J. L.; HEINIGER, R. W. A variable-rate decision support tool. **Precision Agriculture**, v.10, p.356–369, 2009.

KERRY, R.; OLIVER, M. A. Average variograms to guide soil sampling for land management. **The International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.5, p.307-325, 2004.

KERRY, R.; OLIVER, M. A.; FROGBROOK, Z. L. Sampling in Precision Agriculture. In: OLIVER, M. A. (Org.). **Geostatistical Applications for Precision Agriculture**. 1 ed. Heidelberg: Springer-Verlag, p.35-63, 2010.

KERRY, R.; OLIVER, M. A. Variograms of ancillary data to aid sampling for soil surveys. **Precision Agriculture**, v.4, p.261-278, 2003.

KODAIRA, M.; SHIBUSAWA, S. Using a mobile real-time soil visible-near infrared sensor for high resolution soil property mapping. **Geoderma**, 2012. *in press*

KUANG, B.; MAHMOOD, H. S.; QURAIISHI, Z.; HOOGMOED, W. B.; MOUAZEN, A. M.; VAN HENTEN, E. J. Sensing soil properties in the laboratory, in situ and on-line - A review. **Advances in Agronomy**, v.114, p.155–223, 2012.

KUANG, B.; MOUAZEN, A. M. Calibration of visible and near infrared spectroscopy for soil analysis at the field scale on three European farms. **European Journal of Soil Science**, v.62, p.629-636, 2011.

LAUZON, J. D.; O'HALLORAN, I. P.; FALLOW, D. J.; von BERTOLDI, A. P.; ASPINALL, D. Spatial variability of soil test phosphorus, potassium, and pH of Ontario soils. **Agronomy Journal**, v.97, p. 524-532, 2005.

MAGRI, A.; van Es, H. M.; GLOS, M. A; COX, W. J. Soil test, aerial image and yield data as inputs for site-specific fertility and hybrid management under maize. **Precision Agriculture**, v.6, p.87-110, 2005.

MAHMOOD, H. S.; HOOGMOED, W. B.; van HENTEN, E. J. Sensor data fusion to predict multiple soil properties. **Precision Agriculture**, v.13, p.628-645, 2012.

MALEKI, M. R.; VAN HOLM, L.; RAMON, H.; MERCKX, R.; DE BAERDEMAEKER, J.; MOUAZEN, A. M. Phosphorus sensing for fresh soils using visible and near infrared spectroscopy. **Biosystems Engineering**, v.95, p.425-436, 2006.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v.22, p.83-92, 2002.

MALLARINO, A. P.; WITTRY, D. Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. **Precision Agriculture**, v.5, p.131-144, 2004.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.8, p.141-150, 2000.

McBRATNEY, A. B.; PRINGLE, M. J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. **Precision Agriculture**, v.1, p.125-152, 1999.

MCBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R.; BURGESS, T. M. The design of optimal sampling schemes for local estimation of regionalized variables. I. Theory and Method: **Computers & Geosciences**, v.7, p.331-334, 1981.

McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties? **Soil Science**, v.135, p.177-183, 1983.

MONTANARI, R.; MARQUES Jr, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.69-77, 2005.

MONTANARI, R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES Jr., J.; SOUZA, Z. M.; PAZETO, R. J.; CAMARGO, L. A. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos. **Ciência Rural**, v.38, p.1266-1272, 2008.

MONTANARI, R.; SOUZA, G. S. A.; PEREIRA, G. T.; MARQUES Jr., J.; SIQUEIRA, D. S.; SIQUEIRA, G. M. The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v.13, p.542-552, 2012.

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

NANNI, M. R.; POVH, F. P.; DAMATTÊS, J. A. M.; OLIVEIRA, R. B.; CHICATI, M. L.; CEZAR, E. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. **Scientia Agrícola**, v.68, p.386-392, 2011.

PATZOLD, S.; MERTENS, F.M.; BORNEMANN, L.; BRITTA KOLECZEK, B.; FRANKE, J.; FEILHAUER, H.; WELP, G. Soil heterogeneity at the field scale: a challenge for precision crop protection. **Precision Agriculture**, v.9, p.367-390, 2008.

RIFFEL, C. T.; GARCIA, M. S.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; DELLA FLORA, L. P.; CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T. Densidade amostral aplicada ao monitoramento georreferenciado de lagartas desfolhadoras na cultura da soja. **Ciência Rural**, v.43, p.2112-2119, 2012.

ROBERTSON, G.P. **GS+**: geostatistics for the environmental sciences. Versão 5.03. Beta, Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; DELLA FLORA, L. P.; BASSO, J. C. Análise de componentes principais de atributos

químicos e físicos do solo limitante à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1346-1357, 2012b.

SANTI, A. L.; FIORIN, J. E.; COCCO, K. L. T.; CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; HAUSCHILD, F. E. G. Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, n.129, p.18-25, 2012a.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 175 p. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria - RS, 2007.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SAS INSTITUTE - Statistical Analysis System. **SAS/STAT User's Guide 8.0**. North Caroline-NC: SAS Institute Inc., 1999. 3365p.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, v.52, p.591-611, 1965.

SHI, Z.; WANG, K.; BAILEY, J. S.; JORDAN, C.; HIGGINS, A. J. Sampling strategies for mapping soil phosphorus and soil potassium distributions in cool temperate grassland. **Precision Agriculture**, v.2, p.347-357, 2000.

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

SPEZIA, G. R.; SOUZA, E. G.; NOBREGA, L. H. P.; URIBE-OPAZO, M. A.; MILAN, M.; BAZZI, C. L. Model to estimate the sampling density for establishment of yield mapping. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.449-457, 2012.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre-RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TORBETT, J. C.; ROBERTS, R. K.; LARSON, J. A.; ENGLISH, B. C. Perceived importance of precision farming technologies in improving phosphorus and potassium efficiency in cotton production. **Precision Agriculture**, v.8, p.127-137, 2007.

van GROENIGEN, J. W. The influence of variogram parameters on optimal sampling schemes for mapping by kriging. **Geoderma**, v.97, p.223-236, 2000.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES V., V. H. e SCHAEFFER, C. E. G. R. eds. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54, 2000.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Geostatistics for Environmental Scientists**. 2° ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 2007. 330p.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. Sample adequately to estimate variograms of soil properties. **Journal of Soil Science**, v.43, p.177-192, 1992.

WILDING, L. P.; DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L. P.; SMECK, N. E.; HALL, G. F. (Eds). **Pedogenesis and Soil Taxonomy - I. Concepts and Interactions**. Amsterdam: Elsevier, p.83-116, 1983.

WOLLENHAUPT, N. C.; WOLKOWSKI, R. P.; CLAYTON, M. K. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. **Journal of Production Agriculture**, v.7, p.441-448, 1994.

4.9 Apêndice

Apêndice A - Estatística descritiva dos teores de argila (%) e valores de capacidade de troca de cátions potencial (CTC_{pH7} , $cmol_c dm^{-3}$) obtidos utilizando diferentes dimensões de malhas amostrais em área de Latossolo Vermelho manejada com agricultura de precisão.

Parâmetros Estatísticos ⁽¹⁾	Malha Amostral (m)						
	50x50	75x75	100x100	125x125	150x150	175x175	200x200
	Teor de Argila (%)						
n	164	74	38	26	16	14	9
Mínimo	50,00	53,00	58,00	52,00	59,00	61,00	62,00
Média	68,98	71,00	69,29	63,58	67,81	67,07	68,44
Mediana	69,00	72,00	67,00	62,00	67,00	66,50	67,00
Máximo	83,00	85,00	92,00	88,00	77,00	76,00	77,00
DP	6,40	6,25	6,59	8,61	4,62	3,99	4,33
Erro (%)	1,42	2,05	3,06	5,31	3,45	3,23	4,39
CV (%)	9,28	8,96	9,51	13,54	6,82	5,95	6,33
CP (%)	0,72	1,04	1,54	2,66	1,71	1,59	2,11
Cs	-0,06	-0,41	1,36	1,37	0,14	0,79	0,49
Ck	0,00	0,80	2,67	1,75	-0,03	0,48	1,97
Teste W ⁽²⁾	0,98 ^{ns}	0,96*	0,89*	0,87*	0,97 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,90 ^{ns}
	CTC_{pH7} ($cmol_c dm^{-3}$)						
n	164	74	38	26	16	14	9
Mínimo	9,32	9,10	9,83	9,32	9,93	9,60	9,86
Média	11,13	10,82	12,01	12,86	10,64	10,83	10,92
Mediana	11,08	10,63	11,71	12,80	10,39	10,72	10,81
Máximo	14,43	13,91	15,37	17,05	12,10	12,35	12,29
DP	0,87	1,07	1,40	1,97	0,69	0,87	0,88
Erro (%)	1,20	2,27	3,76	6,01	3,30	4,37	5,59
CV (%)	7,83	9,90	11,66	15,34	6,53	8,04	8,06
CP (%)	0,61	1,15	1,89	3,01	1,63	2,15	2,69
Cs	0,63	0,68	0,84	0,36	0,80	0,38	0,43
Ck	1,35	0,15	0,31	0,07	-0,42	-0,68	-0,90
Teste W	0,97*	0,96*	0,93*	0,97 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,92 ^{ns}

⁽¹⁾ n: número de observações (amostras); DP: Desvio Padrão; Erro: Erro Padrão; CV: Coeficiente de Variação; CP: Coeficiente de Precisão; Cs: Coeficiente de Assimetria; Ck: Coeficiente de Curtose; ⁽²⁾ Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (ns) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

5 DISCUSSÃO

As amostragens georreferenciadas de solo, utilizando malhas regulares preconizadas como a principal estratégia da AP para o reconhecimento e compreensão da variabilidade espacial dos atributos do solo, têm possibilitado, nos últimos anos, enormes avanços no diagnóstico da fertilidade dos solos agrícolas brasileiros, resgatando o papel fundamental da amostragem de solo na gestão dos nutrientes do solo e da produção agrícola.

Nesse sentido, os resultados do estudo permitiram caracterizar a situação de fertilidade das áreas estudadas, indicando que os Latossolos Vermelhos manejados com AP no RS apresentam subáreas com moderada acidez, e de acordo com os critérios de recomendação para sistema plantio direto (COMISSÃO..., 2004; FIORIN, 2007) tem necessidade de correção justificando a aplicação dos corretivos em sítio-específico. Problemas relacionados à acidez em Latossolos Vermelhos estão fortemente ligados às características intrínsecas destes solos que sofreram intenso intemperismo, associada às práticas de manejo adotadas nas áreas agrícolas (STRECK et al., 2008; ANJOS et al., 2012).

Em relação aos macronutrientes, Ca, Mg e K, evidenciou-se que as áreas apresentam teores classificados nas faixas de interpretação, alto e muito alto (COMISSÃO..., 2004). Estes resultados concordam com estudos anteriormente desenvolvidos em Latossolos Vermelhos no RS (AMADO et al., 2009; CHERUBIN et al., 2011a; SANTI et al., 2012) e estão atrelados ao material de origem (basalto), rico em minerais contendo estes elementos, e ao histórico de calagens e fertilizações de K realizadas nas áreas. Diante disso, o uso de fertilizantes visando elevar os teores desses nutrientes, tende a apresentar respostas das culturas pouco expressivas. No entanto, a gestão dos mesmos utilizando a AP tem papel importante na redução das doses e melhor alocação dos fertilizantes na lavoura (FIORIN et al., 2010), evitando o desequilíbrio de bases e seus efeitos negativos na produtividade das culturas (SANTI et al., 2012). Quanto ao P, nota-se, que mesmo apresentando teores médios considerados adequados, a maioria das áreas ainda apresentam locais com P abaixo do teor crítico (COMISSÃO..., 2004; FIORIN, 2007). Portanto, justificam-se intervenções em sítio-específico, evitando subestimar ou superestimar as doses de fertilizantes fosfatados (AMADO et al., 2009) e consequentemente, aumentando o retorno econômico (FIORIN et al., 2010; CHERUBIN et al., 2011b)

O diagnóstico da fertilidade das áreas de AP estudadas, apontando altos teores de Ca, Mg e K e restrições mais frequentes de P, concorda com levantamentos anteriormente realizados da fertilidade de solos do RS. Rheinheimer et al. (2001) destacam que a

disponibilidade de P é um das principais limitantes de fertilidade nos solos do RS à produtividade das culturas, sendo que das 168.200 amostras de solo analisadas, 79,3% apresentavam-se abaixo do nível crítico. Já para o K, apenas 28,7% encontrava-se nessa situação. Fiorin (2012) estudando 106.955 amostras de solo com abrangência de 150 municípios do RS verificou que 61,8% e 27,9% apresentam teores de P e K abaixo do limite crítico, respectivamente, necessitando a adubações de correção e manutenção.

Apesar de possibilitar uma noção geral das condições de fertilidade dos Latossolos Vermelhos estudados, as amostragens de solo utilizando malhas regulares de 100 x 100 m, 142 x 142 m e 173 x 173 m não foram eficientes em captar as diferentes escalas de variabilidade dos atributos químicos no solo, independente da profundidade de coleta, 0,00-0,10 m ou 0,00-0,15 m. As principais limitações, para obter modelos preditivos com satisfatória confiabilidade por meio da geoestatística, relacionam-se ao baixo número de pontos amostrais e a demasiada distância entre os pontos (WEBSTER e OLIVER, 1992; VIEIRA, 2000; KERRY et al., 2010; WEBSTER e LARK, 2012), comumente observado quando da utilização dessas malhas amostrais. Associado aos fatores acima descritos, manejo realizado nas áreas agrícolas (sistema plantio direto, adubação em linha, cultura implantada...), condiciona a ocorrência da variabilidade espacial dos atributos químicos, especialmente P e K, em escalas menores (curtas distâncias) exigindo malhas amostrais menores (MALLARINO e WITTRY, 2004; NANNI et al., 2011).

Nesse sentido, constatou-se que a redução da dimensão da malha amostral permite o maior detalhamento da variabilidade existente, aumentando a acurácia das informações geradas por meio de mapas temáticos. Conforme se aumenta a malha amostral, as predições tornam-se mais generalistas, até tornarem-se aleatória (EPP). Consequentemente, os mapas apresentam maiores desvios, tornando-se mais dissimilares e menos correlacionados em relação aos mapas obtidos a partir de malhas amostrais menores (50 x 50 m).

Diante do exposto, constatou-se que a expressão da variabilidade espacial é única de cada área, sendo condicionada em diferentes escalas por fatores intrínsecos e extrínsecos do solo. Entretanto, o estudo possibilita uma noção geral da escala de variação dos atributos químicos no solo, constituindo-se um importante referencial que poderá ser considerado no planejamento de futuras estratégias de amostragem de solo a serem adotadas nas áreas de AP da região Sul do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO. 2012. 160p.

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.831-843, 2009.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. Using Precision Farming to Overcome Yield-Limiting Factors in Southern Brazil Oxisols: A Case Study. In: CLAY D. E.; SHANAHAN, J. F. **GIS Applications in Agriculture – v.2 – Nutrients Management for Energy Efficiency**, EUA: CRC Press, p. 31-60, 2011.

ANJOS, L. H. C. dos; JACOMINE, P. K. T.; SANTOS, H. G. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. Sistema Brasileiro de Classificação de Solo. In: KER, J. C; CURTI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds). **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.303-343, 2012.

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 American Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

CHANG, J.; CLAY, D. E.; CARLSON, C. G.; MALO, D.; CLAY, S. A. Precision Farming Protocols: Part 1. Grid distance and soil nutrient impact on the reproducibility of spatial variability measurements. **Precision Agriculture**, v.1, p.277-289, 1999.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p.196-210, 2011a.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; MORAES, M. T.; AMARAL, A. Demonstração da viabilidade técnica e econômica da utilização de taxa variável em área manejada com agricultura de precisão. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, p.1-12, 2011b.

COELHO, A. M. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, R. F.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVARES V., V. H. (Eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.259-290, 2003.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

FIORIN, J. E. Agricultura de Precisão em Pequenas e Médias Propriedades do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. **Palestra...**, Ribeirão Preto-SP: SBEA/FUNEP, 2012.

FIORIN, J. E.; AMADO, T. J. C.; SCHNELL, A.; ALBA, P. J.; WYZYKOWSKI, T. Projeto APcoop nas cooperativas agrícolas do Rio Grande do Sul. **Revista Plantio Direto**, v.115, p.30-35, 2010.

FIORIN, J. E. **Manejo e Fertilidade do Solo no Sistema Plantio Direto**. Passo Fundo: Berthier, 2007. 184p.

KERRY, R.; OLIVER, M. A.; FROGBROOK, Z. L. Sampling in Precision Agriculture. In: OLIVER, M. A. (Org.). **Geostatistical Applications for Precision Agriculture**. 1 ed. Heidelberg: Springer-Verlag, p.35-63, 2010.

MALLARINO, A. P.; WITTRY, D. Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. **Precision Agriculture**, v.5, p.131-144, 2004.

MONTANARI, R.; SOUZA, G. S. A.; PEREIRA, G. T.; MARQUES Jr., J.; SIQUEIRA, D. S.; SIQUEIRA, G. M. The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v.13, p.542-552, 2012.

NAÇÕES UNIDAS. **World Urbanization Prospects: The 2011 Revision**. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. ESA/P/WP/224, 2012. 50p.

NANNI, M. R.; POVH, F. P.; DAMATTÊS, J. A. M.; OLIVEIRA, R. B.; CHICATI, M. L.; CEZAR, E. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. **Scientia Agrícola**, v.68, p.386-392, 2011.

PATZOLD, S.; MERTENS, F.M.; BORNEMANN, L.; BRITTA KOLECZEK, B.; FRANKE, J.; FEILHAUER, H.; WELP, G. Soil heterogeneity at the field scale: a challenge for precision crop protection. **Precision Agriculture**, v.9, p.367-390, 2008.

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; ROBAINA, A. D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J. P. C.; HORN, D. **Situação da fertilidade dos solos no estado do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria/Centro de Ciências Rurais/ Departamento de Solos, 2001. 41p. (Boletim Técnico 2).

ROEL, A.; TERRA, J. Muestreo de suelos y factores limitantes del rendimiento. In: BONGIOVANNI, R.; MANTOVANI, E. C.; BEST, S.; ROEL, A. **Agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable**. Montevideo: PROCISUR/IICA, p.65-80, 2006.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; DELLA FLORA, L. P.; BASSO, J. C. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitante à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1346-1357, 2012.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; DELLA FLORA, L. P.; SMANIOTTO, R. F. F. É chegada a hora da integração do conhecimento. **Revista Plantio Direto**, v.129, p.24-30, 2009.

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

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v.38, p.45-94, 1985.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES V., V. H. e SCHAEFFER, C. E. G. R. eds. **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54, 2000.

WEBSTER, R.; LARK, M. **Field Sampling for Environmental Science and Management**. 1° ed. London: Routledge. 2012. 200p.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. Sample adequately to estimate variograms of soil properties. **Journal of Soil Science**, v.43, p.177-192, 1992.