

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - AGRICULTURA E
AMBIENTE

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS MANEJADAS COM
AGRICULTURA DE PRECISÃO NO NORTE DO RIO GRANDE DO SUL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Pedro Felipe Brum de Bastos

Frederico Westphalen, RS

Brasil

2020

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS MANEJADAS COM
AGRICULTURA DE PRECISÃO NO NORTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Pedro Felipe Brum de Bastos

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

2020

BASTOS, PEDRO FELIPE BRUM
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS MANEJADAS COM
AGRICULTURA DE PRECISÃO NO NORTE DO RIO GRANDE DO SUL /
PEDRO FELIPE BRUM BASTOS.- 2020.
70 p.; 30 cm

Orientador: ANTONIO LUIS SANTI
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós
Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2020

1. AGRICULTURA DE PRECISÃO I. SANTI, ANTONIO LUIS II.
Título.

**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

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS MANEJADAS COM
AGRICULTURA DE PRECISÃO NO NORTE DO RIO GRANDE DO SUL**

elaborado por
Pedro Felipe Brum de Bastos

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

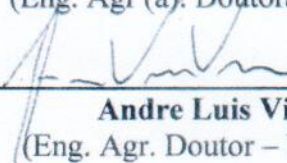
COMISSÃO EXAMINADORA:



Antônio Luis Santi, Dr.
(Presidente/Orientador)



Lisandra Pinto Della Flora
(Eng. Agr (a). Doutora – IFFar)



Andre Luis Vian
(Eng. Agr. Doutor – UFRGS)

Frederico Westphalen, 20 de março de 2020.

*Aos meus pais, Pedro Neto e Roseli, meu
irmão Roberto e minha namorada Bruna,
e todos que me apoiaram.*

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, proporcionando-me o acesso à Pós-Graduação pública, gratuita e de qualidade.

Ao professor Eng. Agr. Dr. Antônio Luis Santi, pela orientação, confiança e pela amizade construída neste período.

Aos demais professores e coordenação do PPGAAA, pela contribuição na minha formação pessoal e profissional.

A todos os colegas de Mestrado pela amizade, e pela troca de experiências e conhecimentos ao longo desta caminhada.

A todos os colegas do Laboratório de Agricultura de Precisão (LAP Sul) pela amizade, convívio, trabalho em equipe e dedicação.

A equipe do Projeto Construindo e Desafiando a Produtividade - ConnectFARM, pela bolsa de pesquisa e pela disponibilidade de participar deste importante trabalho que vem contribuindo para os produtores da região e de todo o Estado.

Em especial, aos meus pais, por todo o apoio e incentivo na busca de meus objetivos e por todas as lições de vida transmitidas. Ao meu irmão pelo apoio, incentivo e confiança.

A minha namorada Bruna, pela compreensão, amizade, companheirismo e incentivo neste período e em todos os outros que passamos juntos.

A todos os meus familiares e amigos que contribuíram direta ou indiretamente para que eu pudesse alcançar mais este objetivo.

A todos vocês, **MUITO OBRIGADO.**

*“Produtividade é igual ao conhecimento
aplicado por hectare.”*

(Dirceu Gassen)

RESUMO

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

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS MANEJADAS COM AGRICULTURA DE PRECISÃO NO NORTE DO RIO GRANDE DO SUL

AUTOR: PEDRO FELIPE BRUM DE BASTOS
ORIENTADOR: ANTÔNIO LUIS SANTI
Frederico Westphalen, RS 20 de março de 2020.

As ferramentas de agricultura de precisão (AP) são essenciais para manejar a fertilidade do solo, bem como para o gerenciamento dos meios de produção. Sob esta ótica o presente estudo parte da premissa de que a utilização das ferramentas de AP, além de proporcionarem a correção dos atributos químicos do solo, favoreçam a diminuição da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, possibilitando entender e interpretar o comportamento da variabilidade espacial e vertical de atributos químicos do solo em áreas de lavoura na região norte do Estado do Rio Grande do Sul. O presente estudo foi realizado em 13 áreas agrícolas localizadas na região Norte do Estado do Rio Grande do Sul, abrangendo uma área de 1211,05 ha. As amostras de solo foram realizadas com o auxílio de um trado de rosca acoplado a um quadriciclo, em duas profundidades, sendo a primeira de 0 a 0,15 m e 0,15 m a 0,30 m. Os dados foram submetidos a análise exploratória, através da estatística descritiva, e ao estudo da variabilidade espacial com o auxílio da geoestatística. Os valores de pH e saturação por bases (V %) estão baixos, enquanto os teores de cálcio e magnésio encontram-se altos em ambas as profundidades de amostragem, para todas as áreas estudadas. Para discussão, os dados foram em três grupos, sendo o primeiro, os atributos de acidez e bases relacionadas, o segundo os teores de fósforo (P), potássio (K), enxofre (S) e matéria orgânica (MO) e o terceiro os micronutrientes, boro (B), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu). A variabilidade espacial foi considerada baixa a moderada, para os valores de pH e teores de magnésio (Mg) e alta para os teores de V % e de cálcio (Ca). Na profundidade de 0 a 0,15 m, os teores apresentaram-se médios para MO e altos para o P, K e S, sendo que na profundidade de 0,15 m a 0,30 m estavam altos para o K e S, médios para o P e baixo para MO. Os valores de coeficiente de variação (CV), foram classificados em baixo, médio e alto, sendo que, a dependência espacial foi identificada apenas para os teores de P e MO. O teor de Zn, Cu, B e Mn encontram-se altos em todas as áreas nas duas profundidades amostradas. O CV foi classificado como alto para todos os micronutrientes avaliados, bem como nas duas profundidades amostradas, sendo que para o Cu e B algumas áreas tiveram seu CV classificado como moderado.

Palavras-chave: estatística descritiva, geoestatística, nutrientes do solo, agricultura de precisão.

ABSTRACT

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

CHEMICAL ATTRIBUTES OF THE SOIL IN AREAS MANAGED WITH PRECISION AGRICULTURE IN THE NORTH OF RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: PEDRO FELIPE BRUM DE BASTOS
ADVISOR: ANTÔNIO LUIS SANTI
Frederico Westphalen, RS, March, 20th, 2020.

Precision farming (PF) tools are essential for managing soil fertility as well as for managing the means of production. From this point of view, this study starts from the premise that the use of PA tools, besides providing the correction of soil chemical attributes, favors the decrease of spatial variability of soil chemical attributes, making it possible to understand and interpret the behavior of spatial and vertical variability of soil chemical attributes in farming areas in the northern region of the State of Rio Grande do Sul. This study was conducted in 13 agricultural areas located in the northern region of the State of Rio Grande do Sul, covering an area of 1211.05 ha. The soil samples were performed with the aid of a auger attached to a quadricycle, at two depths, the first from 0 to 0.15 m and 0.15 m to 0.30 m. The data were submitted to exploratory analysis using descriptive statistics and the study of spatial variability with the aid of geostatistics. The pH and base saturation values (V %) are low, while the calcium and magnesium contents are high at both sampling depths, for all areas studied. For discussion, the data were in three groups, the first being the attributes of acidity and related bases, the second the levels of phosphorus (P), potassium (K), sulfur (S) and organic matter (MO) and the third the micronutrients, boron (B), manganese (Mn), zinc (Zn) and copper (Cu). The spatial variability was considered low to moderate for the values of pH and magnesium (Mg) contents and high for the contents of V % and calcium (Ca). At a depth of 0 to 0.15 m, the contents were medium for MO and high for P, K and S, and at a depth of 0.15 to 0.30 m were high for K and S, medium for P and low for MO. The values of coefficient of variation (CV), were classified in low, medium and high, being that, the spatial dependence was identified only for the contents of P and MO. The Zn, Cu, B and Mn contents are high in all areas at the two sample depths. The CV was classified as high for all micronutrients evaluated, as well as at the two sampled depths, and for Cu and B some areas had their CV classified as moderate.

Keywords: descriptive statistics, geostatistics, soil nutrients, precision farming.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localização, tamanho e número de pontos amostrais em cada uma das áreas de estudo.....	23
Tabela 2 - Estatística descritiva do teor de pH em água das áreas de estudo na profundidade de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.....	33
Tabela 3 - Análise geoestatística e parâmetros do semivariograma do teor de pH em água das áreas de estudo na profundidade de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.	35
Tabela 4 - Estatística descritiva do teor de saturação por bases V (%) nas áreas de estudo nas profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.....	36
Tabela 5 - Estatística descritiva do teor de cálcio (Ca) nas áreas de estudo nas profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.	38
Tabela 6 - Estatística descritiva do teor de magnésio (Mg) nas áreas de estudo nas profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.	39
Tabela 7 - Análise geoestatística e parâmetros do semivariograma dos valores de cálcio (Ca) das áreas de estudo na profundidade de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.	40
Tabela 8 - Análise geoestatística e parâmetros do semivariograma dos valores de magnésio (Mg) das áreas de estudo na profundidade de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.....	41
Tabela 9 - Estatística descritiva do teor de fósforo das áreas de estudo para as profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.	43
Tabela 10 - Geoestatística e parâmetros do semivariograma para o teor de fósforo das áreas de estudo para as profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.	44
Tabela 11 - Estatística descritiva do teor de potássio das áreas de estudo para as profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.	45
Tabela 12 - Estatística descritiva do teor de enxofre das áreas de estudo para as profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.	46
Tabela 13 - Estatística descritiva do teor de matéria orgânica das áreas de estudo para as profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.	48
Tabela 14 - Geoestatística e parâmetros do semivariograma para o teor de matéria orgânica das áreas de estudo para as profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.	49
Tabela 15 - Estatística descritiva do teor de zinco das áreas de estudo na profundidade de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.....	51

Tabela 16 - Análise geoestatística e parâmetros do semivariograma do teor de zinco das áreas de estudo na profundidade de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.	52
Tabela 17 - Estatística descritiva do teor de cobre nas áreas de estudo nas profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.	53
Tabela 18. Estatística descritiva do teor de boro nas áreas de estudo nas profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.	54
Tabela 19 - Análise geoestatística e parâmetros do semivariograma dos valores de boro das áreas de estudo na profundidade de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.	55
Tabela 20 - Estatística descritiva do teor de manganês nas áreas de estudo nas profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 a: Contorno da área 1, com pontos de amostragem.....	24
Figura 1 b: Contorno da área 2, com pontos de amostragem.....	24
Figura 1 c: Contorno da área 3, com pontos de amostragem.....	24
Figura 1 d: Contorno da área 4, com pontos de amostragem.....	25
Figura 1 e: Contorno da área 5, com pontos de amostragem.....	25
Figura 1 f: Contorno da área 6, com pontos de amostragem.....	26
Figura 1 g: Contorno da área 7, com pontos de amostragem.....	26
Figura 1 h: Contorno da área 8, com pontos de amostragem.....	27
Figura 1 i: Contorno da área 9, com pontos de amostragem.....	27
Figura 1 j: Contorno da área 10, com pontos de amostragem.....	28
Figura 1 l: Contorno da área 11, com pontos de amostragem.....	28
Figura 1 m: Contorno da área 12, com pontos de amostragem.....	29
Figura 1 n: Contorno da área 13, com pontos de amostragem.....	29
Figura 2: Quadriciclo com trado de rosca utilizado na coleta das amostras de solo.....	31

ANEXOS

ANEXO I - Questionário aplicado aos produtores a fim de levantamento do histórico de manejo	das
áreas.....	67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	15
2.1.1 Ferramentas de Agricultura de Precisão.....	16
2.2 VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	20
2.3 EFEITO DA VARIABILIDADE ESPACIAL E VERTICAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NAS PLANTAS	21
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 ESTUDO EXPLORATÓRIO DOS ATRIBUTOS DE ACIDEZ E BASES RELACIONADAS.....	32
4.2 ESTUDO EXPLORATÓRIO DOS TEORES DE FÓSFORO, POTÁSSIO, ENXOFRE E MO	42
4.3 ESTUDO EXPLORATÓRIO DOS TEORES DE BORO, MANGANÊS, ZINCO E COBRE.....	50
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57

1 INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) caracteriza-se como sendo uma ferramenta de gerenciamento agrícola, partindo do registro georreferenciado de informações do solo e das culturas, culminando em intervenções de manejos localizadas (AMADO; SANTI; 2007; AMADO, et al., 2009). Suas diversas ferramentas como, o mapeamento da fertilidade do solo, mapas de colheita, aplicação de fertilizantes a taxa variável, imageamento aéreo, utilização de sensores, e as plataformas digitais, contribuem para identificar e manejar a variabilidade dos atributos do solo visando otimizar os recursos de produção, diminuindo as perdas e maximizando a produtividade.

A variabilidade espacial dos atributos químicos do solo tem origem a partir dos fatores e processos de formação do solo, sendo eles, o material de origem, o relevo, os organismos vivos, o clima e o tempo. Ao processo envolvido na formação do solo, dá-se o nome de intemperismo, sendo que este divide-se em três categorias, intemperismo químico, físico e biológico (RICHTER, et al., 2011), em função da ação em conjunto dos diversos fatores, tem-se a origem de diferentes tipos de solo, cada um com suas particularidades.

Além dos fatores naturais envolvidos nesta variabilidade, os fatores antrópicos como por exemplo, o sistema de cultivo adotado interfere na intensificação da variabilidade dos nutrientes no solo (AMARAL; ANGHINONI; 2001). Onde o sistema de plantio direto pode contribuir ao longo dos anos com o aumento da variabilidade dos atributos químicos do solo (WERNER; 2004).

Identificar e analisar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, contribuem para reduzir os erros de aplicação e otimizar os recursos de produção, contribuindo para o aumento da produtividade e a lucratividade do produtor (CORREA, M. F; et al., 2017). Permitindo traçar estratégias de manejo ao longo dos anos que favoreçam a correção da fertilidade do solo, bem como diminuam a sua variabilidade (AMADO, et al., 2009).

A variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, juntamente com sua baixa disponibilidade, tem efeito direto no resultado econômico obtido por ocasião da colheita, visto que macro e micronutrientes afetam diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, resultado que pode ser visualizado com a geração de mapas de colheita.

Neste sentido, o presente trabalho se baseou na hipótese de que as ferramentas de AP, contribuam ao longo dos anos em diminuir a variabilidade espacial e vertical dos teores de nutrientes no solo.

Tendo como objetivo geral entender e interpretar o comportamento da variabilidade espacial e vertical de atributos químicos do solo em áreas de lavoura na região norte do Estado do Rio Grande do Sul. Contextualizando sobre como esta variabilidade contribui na qualidade química do solo e pode afetar a produtividade das culturas, destacando a importância do gerenciamento do manejo em ambientes de produção.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

Os primeiros passos da agricultura de precisão (AP) iniciaram a partir do ano de 1978 nos Estados Unidos, graças ao sistema de navegação global por satélite (GNSS), mais conhecido com GPS (Sistema de Posicionamento Global). Porém sua aplicação diretamente na agricultura aconteceu a partir de 1990, com a criação do primeiro mapa de produtividade partindo de um monitor de rendimento acoplado a um receptor de sinal GPS (MIRANDA; VERÍSSIMO; CEOLIN; 2017).

No Brasil os primeiros trabalhos começaram em 1995, com a utilização de colhedoras importadas equipadas com monitores de produtividade, com mais força a partir dos anos 2000 pelo início da participação da indústria nacional de máquinas agrícolas (MAPA; 2013). Já no Rio Grande do Sul os primeiros trabalhos de pesquisa e aprimoramento das ferramentas disponíveis iniciaram a partir do surgimento do projeto aquarius, uma parceria entre professores da UFSM com as empresas Stara e Massey Ferguson, utilizando como área experimental dois talhões em lavouras comerciais no município de Não-Me-Toque (SANTI, et al., 2016).

Inicialmente o conceito de AP relacionava-se com a utilização de práticas agrícolas com base nas tecnologias de informação para o manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo (BERNARDI, et al., 2015), com o passar do tempo e avanço das pesquisas, passou-se a entender a AP como uma ferramenta gerencial da propriedade, que leva em conta a variabilidade espacial da lavoura como um todo (solo e planta), para maximizar o retorno econômico aliado a sustentabilidade ambiental (INAMASU, 2011).

No começo as ferramentas disponíveis embarcadas nas máquinas para o levantamento de informações georreferenciadas, a fim de intervenções localizadas restringiam-se a poucos produtores mais tecnicizados, juntamente com pesquisas públicas ou privadas. Atualmente o cenário proporciona um acesso maior a tecnologia, por conta do aumento do conhecimento e da concorrência entre empresas, juntamente com o apoio de políticas públicas de incentivo. No Brasil levantamentos mostram que as culturas da soja e do milho são as que recebem maior utilização das ferramentas de AP, aliado ao perfil de jovens produtores, mais propensos a ferramentas de gestão informatizadas, aliado ainda a propriedades com maiores extensões de terra (BERNARDI, et al., 2015).

Entre as técnicas disponíveis para o manejo georreferenciado da variabilidade dos fatores relacionados tanto a solo quanto a planta, incluem a utilização de mapas por imagem satélite, piloto automático, fotografias aéreas, amostragem de solo georreferenciada, aplicação em taxa variada de corretivos e fertilizantes, mapas de colheita, entre outras (ANTUNIASSI et al, 2015).

Neste sentido o estudo destas ferramentas é de fundamental importância para o entendimento de cada uma delas, para posteriormente integrá-las no gerenciamento e planejamento das atividades dentro da unidade produtiva, visando usufruir de seus benefícios técnicos e econômicos de curto, médio e longo prazo.

2.1.1 Ferramentas de Agricultura de Precisão

2.1.1.1 Mapeamento da Fertilidade do Solo

Para amostragem do solo com ferramentas da agricultura de precisão, primeiramente deve-se definir a estratégia de amostragem, podendo esta ser, em malhas regulares, irregulares ou mesmo através da delimitação de zonas de manejo. Pois a amostragem de solo georreferenciada é essencial para a avaliação da variabilidade espacial dos atributos do solo, bem como para estabelecer as estratégias de correção e adubação do solo com o auxílio das ferramentas de AP (BERNARDI, et al., 2015).

O tamanho da grade amostral, tem relação direta com o nível de detalhamento e acurácia da amostragem, juntamente com o custo do serviço. No Brasil a maioria das amostragens tem adotado malhas amostrais de 3 a 5 hectares (BERNARDI; INAMASU, 2014).

Já no Rio Grande do sul pela característica de propriedades menores, tem se adotado malhas variando de 1 a 3 hectares, entretanto há casos onde, para que se permita fazer a correta leitura da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, e se consiga aplicar corretamente os métodos de avaliação geoestatísticos, necessitamos de uma malha amostral menor que 1 hectare (CHERUBIM, 2013).

A partir de realizado as coletas de solo e as amostras encaminhadas ao laboratório, com os resultados em mãos partimos para geração dos mapas temáticos e para recomendação da aplicação dos corretivos e fertilizantes a taxa variável, vários softwares estão disponíveis para o trabalho dos dados, dentre eles, pagos e gratuitos.

2.1.1.2 Aplicação de Fertilizantes a Taxa Variada

Diferentemente do que tradicionalmente se faz quanto a aplicação de corretivos e fertilizantes pela média de fertilidade do talhão, através do mapeamento do solo georreferenciado em grade amostral, pode-se realizar a aplicação dos mesmos a taxa variável, permitindo o manejo diferenciado de cada local da lavoura, levando em conta a variabilidade espacial dos atributos (CHERUBIN, 2013).

A partir dos mapas dos atributos químicos, são elaborados os mapas de prescrição, o qual contém as informações referente a quantidade de produto a ser aplicado de acordo com a variação de um local a outro (RESENDE, et al., 2014).

Para que uma máquina seja capaz de distribuir os produtos a taxa variável, necessariamente tem que existir um controle externo em seu mecanismo dosador, exercido por equipamentos denominados controladores de aplicação em taxa variável, nos casos dos distribuidores mais utilizados, tem-se a necessidade de uma bomba de acionamento hidráulico que altera a velocidade do mecanismo dosador de acordo com a dose a ser aplicada (MAPA, 2013).

2.1.1.3 Mapas de Produtividade

Bernardi, et al., (2015), apontam os mapas de colheita ou produtividade, como sendo a informação mais completa, a fim de verificar a variabilidade espacial dos fatores de produção, constituindo-se uma ferramenta fundamental na divisão das zonas de manejo. No entanto segundo Resende, et al., (2014) ainda apresenta um emprego muito baixo nas

principais regiões produtoras do Brasil, em comparação com os Estados Unidos e a Argentina por exemplo.

O primeiro mapa de produtividade elaborado a partir de um monitor de colheita acoplado a uma colhedora foi gerado na Alemanha, em 1990, durante a colheita da cultura da canola (SCHUNG, et al., 1991). A produtividade é gerada durante a colheita por meio de sensores instalados nas colhedoras, juntamente com receptores de sinal GNSS, levando em consideração a largura de corte e a distância percorrida em um determinado intervalo de tempo, geralmente a cada 2 ou 3 segundos (MALDANER; WEI; MOLIN; 2019).

Em relação aos benefícios da geração de mapas de colheita, destacam-se, o auxílio na recomendações de nutrientes baseados na exportação pela colheita, aperfeiçoando as equações para a aplicação de fertilizantes em taxa variável, outra contribuição dos mapas de produtividade é a possibilidade de identificação e divisão de unidades de gestão diferenciadas (UGD) ou unidades de manejo, podendo trabalhar assim com manejo diferenciado em regiões que apresentam mínima variabilidade espacial e temporal dentro dos campos de produção (MALDANER; WEI; MOLIN; 2019).

2.1.1.4 Barra de Luz e Piloto Automático

Graças ao GNSS a partir do GLONASS (sistema de constelação de satélites Russo) e posteriormente Galileo (União Europeia) e Compass (China), pôde-se dar início aos trabalhos de localização e direcionamento a partir do sinal GPS. Os primeiros trabalhos envolvendo receptores do sinal GPS na agricultura brasileira começaram a partir de 1995, mas não foram efetivamente para a AP e sim para aviação agrícola, após evoluído para os tratores e autopropelidos de aplicação terrestre (MAPA, 2013).

Este mecanismo de localização ficou popularmente conhecido como Barra de Luz, pela característica de funcionamento onde o operador se localiza pelas luzes que acendem no painel, mostrando a direção do percurso. Com os avanços após a barra de luz a tecnologia evoluiu para o sistema de auto-esterçamento ou conhecidamente chamado de piloto automático, proporcionando o aumento da capacidade de trabalho das máquinas, juntamente com economia de combustível, redução da sobreposição, e melhoria na qualidade execução das operações agrícolas.

A utilização do piloto automático proporcionou o desenvolvimento do tráfego controlado, o qual pode ser utilizado para o planejamento das operações, permitindo a

diminuição da área compactada pelo tráfego das máquinas, maximizar o aproveitamento dos insumos, aumento do rendimento operacional e agilidade na execução do serviço. Para isso elabora-se um mapa contendo o contorno da área juntamente com o levantamento planialtimétrico, após projeta-se as linhas de trabalho, posteriormente carrega o arquivo no monitor compatível com a extensão de tráfego controlado, e está pronto para executar o serviço (GIRARDELLO, et al., 2016).

2.1.1.5 Uso de Sensores e Imagens de Satélite

A utilização de imagens de satélites e sensores para o manejo das lavouras tem propiciado uma quantidade maior de informações, visando favorecer a tomada de decisão, a respeito por exemplo, da estimativa do potencial produtivo das culturas, da quantificação indireta da produção de forragem e como no caso do nitrogênio, da identificação da taxa viável a ser aplicada em tempo real.

A estimativa do potencial produtivo das culturas, auxilia a identificar juntamente com os mapas de fertilidade e de produtividade a variabilidade espacial presente na lavoura, bem como dividir as unidades de manejo (ARAÚJO; VETTORAZI; MOLIN; 2005). A estimativa da produção de massa seca de forragem pode auxiliar no gerenciamento de áreas de pastejo animal (BREMM, et al., 2015), bem como uma ideia indireta da expectativa de produção, para isso é utilizado a leitura do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), o qual pode ser obtido através de sensores terrestres como por exemplo o Greenseeker, ou mesmo através do trabalho de imagens aéreas, obtidas por meio de drones ou mesmo imagens de satélite (BREDEMEIER; VIAN; PIRES; 2016).

Em relação a aplicação de fertilizantes em taxa variada em tempo real, temos o exemplo do nitrogênio (N), onde o sistema é composto de um sensor de vegetação que faz a leitura, e automaticamente é calculada a dose, e na sequência é feita a distribuição do produto (BREDEMEIER; et al., 2013).

2.1.1.6 Veículos aéreos não tripulados (VANTS)

Os veículos aéreos não tripulado (VANTS), também conhecidos como aeronaves remotamente pilotadas ou Drones, vem nos últimos anos aumentando sua participação no

senário da agricultura de precisão, visto ser uma ferramenta que possibilita o levantamento de uma série de informações de maneira prática e ágil.

Os primeiros drones surgiram com intuito de utilização militar, seu principal objetivo era vigiar ou atacar outras regiões sem colocar em risco a vida de soldados (PEREIRA; 2017). Com o passar do tempo e o aprimoramento da nova tecnologia, seu uso passou além do viés militar, para a construção civil, monitoramento policial, jornalístico e na agricultura (AUGUSTO; 2018).

No Brasil o setor que mais se destaca na utilização de drones é a agricultura, podendo ser utilizado na análise de plantações, demarcação de plantios, pulverização, acompanhamento de pastagens, monitorar o desmatamento e queimadas, achar nascentes de água, descobrir onde abrir novas estradas, vigilância, medição de áreas, imageamento aéreo, entre outros (ITARC, 2018).

Outra possibilidade que vem sendo explorada no cenário dos drones, é a utilização de sensores para o levantamento de informações referentes as culturas em desenvolvimento, visando obter subsídio para intervenções localizadas ainda no mesmo ciclo de cultivo ou ainda quando possível em tempo real. Estes sensores podem ser, câmeras digitais, receptores GNSS, espectrorradiômetros, dispositivos imageadores multiespectrais e hiperespectrais, entre outro, permitindo gerar informações confiáveis e de qualidade (DAMIAN, et al., 2016).

2.2 VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

A variabilidade espacial dos atributos químicos do solo tem origem a partir dos fatores e processos de formação do solo (RICHTER, et al., 2011). Os fatores se dividem em material de origem, relevo, organismos vivos, clima e tempo, sendo que cada um tem sua contribuição característica na constituição de cada tipo de solo (GUERRA; BOTELHO; 1996). O intemperismo é o processo que opera na formação do solo, sendo que pode ser dividido em três categorias, químico, físico e biológico.

Além dos fatores naturais envolvidos nesta variabilidade, os fatores antrópicos como por exemplo, o sistema de manejo adotado no cultivo, interfere na intensificação da variabilidade dos nutrientes no solo. O sistema plantio direto tem efeito ao longo do tempo de contribuir com o aumento da variabilidade espacial (AMARAL; ANGHINONI; 2001), visto que não temos o revolvimento do solo e a incorporação dos fertilizantes nas camadas

mais profundas do solo, aliado ao uso intensivo de fertilizantes acentuam as variações dos teores de nutrientes no solo (WERNER; 2004).

A variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, tem efeito direto no desenvolvimento e na produtividade das culturas, além de diminuir a eficiência dos insumos utilizados. Alcançar altas produtividades depende dentre uma série de fatores, do manejo do solo e das plantas invasoras antes da sementeira, escolha de cultivares recomendadas a cada região, ao manejo de pragas e doenças, bem como da disponibilidade de nutrientes no solo (SANTOS, et al., 2017).

2.3 EFEITO DA VARIABILIDADE ESPACIAL E VERTICAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NAS PLANTAS

Entre os atributos do solo que interferem no desenvolvimento e produtividade das plantas, a acidez apresenta um importante efeito, pois afeta diretamente a dinâmica dos nutrientes no solo, conseqüentemente sua disponibilidade para as plantas (SILVA; RANNO; 2005), interferindo no crescimento radicular e no aproveitamento dos nutrientes (NICOLODI, et al., 2008). Um exemplo é a maior adsorção aos clóides do solo por parte do fósforo em condições de pH mais ácido (HERNANDEZ; SILVEIRA; 1998).

O fósforo (P), potássio (K) e enxofre (S), são macronutrientes essenciais para o crescimento, desenvolvimento e, reprodução das plantas. Sua disponibilidade no solo em quantidades adequadas, a fim de estarem disponíveis durante todo o ciclo de desenvolvimento da planta são fundamentais, no caso do P para garantir a formação de importantes compostos da planta, como por exemplo, açúcares-fosfato, fosfolípidios de membrana, nucleotídeos usados na síntese de energia na forma de ATP e nos ácidos nucleicos (TAIZ, et al., 2017).

O K presente na planta, tem papel chave na regulação de seu potencial osmótico, atuando por exemplo na abertura e fechamento dos estômatos, cofator enzimático para ativação de inúmeras enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese. Já o S é constituinte de compostos da planta, como a acetil coenzima A (acetil-CoA) e a glutatona, presente também na constituição das proteínas, sendo encontrado nos aminoácidos cisteína e metionina (TAIZ, et al., 2017).

Em relação ao teor de matéria orgânica (MO), pode-se destacar sua importante função na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como a

disponibilidade de nutrientes, devido a presenças de cargas negativas, o que contribui significativamente ao aumento da capacidade de troca de cátions do solo (CTC), melhor agregação do solo, favorecendo maior capacidade de retenção de água, menor amplitude de temperatura, mantem uma maior biodiversidade de microrganismos benéficos no solo, entre outros (COSTA; SILVA; RIBEIRO; 2013).

A disponibilidade de micronutrientes, apesar de sua menor demanda por parte das plantas, pode comprometer o rendimento das culturas, pois segundo a Lei de Liebig, também conhecida como a lei do mínimo, a produção será limitada pelo nutriente com teor no solo abaixo do nível crítico, mesmo que os demais estejam em níveis adequados (RESENDE, et al., 2016).

O boro é um micronutriente essencial para o desenvolvimento vegetal, atuando em diversos processos metabólicos, como metabolismo dos carboidratos, da parede celular, de ácidos nucleicos, alongamento celular, entre outros (VARANDA, et al., 2018; TAIZ, et al., 2017). No início da fase reprodutiva de maneira geral a exigência nutricional das culturas torna-se mais intensa, devido a formação e desenvolvimento dos novos órgãos de reserva, o boro atua sobre a fecundação das flores e formação dos grãos (PRADO, 2018).

Assim como o boro, o manganês tem papel fundamental no metabolismo celular, agindo na ativação de enzimas importantes do ciclo do ácido cítrico, como por exemplo as descarboxilases e desidrogenases. O principal sintoma da deficiência de manganês se caracteriza pela clorose entre as nervuras, associadas ao desenvolvimento de pequenas manchas necróticas (TAIZ, et al., 2017).

Algumas enzimas requerem íons de zinco para suas atividades, também pode ser utilizado por algumas espécies para a síntese de clorofila, sua deficiência causa redução do crescimento dos entrenós, as folhas apresentam-se pequenas com as margens retorcidas (TAIZ, et al., 2017).

Já o cobre, está associado a enzimas envolvidas nas reações redox, como por exemplo a plastocianina, envolvida na transferência de elétrons durante as reações dependentes de luz da fotossíntese. Sua deficiência, pode ocasionar como sintoma inicial o aparecimento de folhas verde-escuras, com a presença de manchas necróticas, podendo ser retorcidas ou malformada e caírem prematuramente (TAIZ, et al., 2017).

Sendo assim estudar a variabilidade espacial e vertical dos atributos químicos do solo, contribui para a identificação das zonas de manejo, além de possibilitar a formulação

de estratégias para manejar e corrigir a deficiência de macro e micronutrientes, essencial para obtenção de altas produtividades.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em 13 áreas agrícolas localizadas na região Norte do Estado do Rio Grande do Sul, abrangendo uma área experimental de 1.211,05 ha, predominantemente na região o solo caracteriza-se como latossolo vermelho, naturalmente com altos teores de alumínio e ferro, associados a baixa saturação por bases (STRECK et al., 2008). O clima da região caracteriza-se como subtropical úmido Cfa de acordo com a classificação de Köppen, com quatro estações bem definidas, com precipitação anual média de 1205 mm, as temperaturas mais baixas ocorrem no mês de julho, e as mais altas no mês de janeiro (KUNCHNER; BURIOL; 2001).

Todas as áreas estudadas apresentam histórico de manejo com práticas de AP, como requisito para escolha das áreas da pesquisa, definiu-se que entre as ferramentas de AP aplicadas nas mesmas, era fundamental a aplicação de fertilizantes a taxa variável (as características de cada área se encontram na Tabela 1).

Tabela 1 - Localização, tamanho e número de pontos amostrais em cada uma das áreas de estudo.

Áreas	Cidade	Área (Ha)	Pontos amostrais
1	Condor	142	142
2	Condor	73,4	73
3	Pejuçara	105	105
4	Cruz Alta	86,35	86
5	Boa Vista das Missões	74	74
6	São Miguel das Missões	82,3	82
7	Tupanciretã	133	133
8	Coxilha	60	60
9	Coxilha	70	70
10	Quatro Irmãos	58	58
11	Capão Bonito do Sul	92	92
12	Pontão	50	50
13	Seberi	185	185
TOTAL		1211,05	1210

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os pontos georreferenciados utilizados para coleta do solo foram obtidos através de uma malha amostral de 100m x 100 m, como pode ser visto nas Figuras 1a até a 1n.

Figura 1 a: Contorno da área 1, com pontos de amostragem.

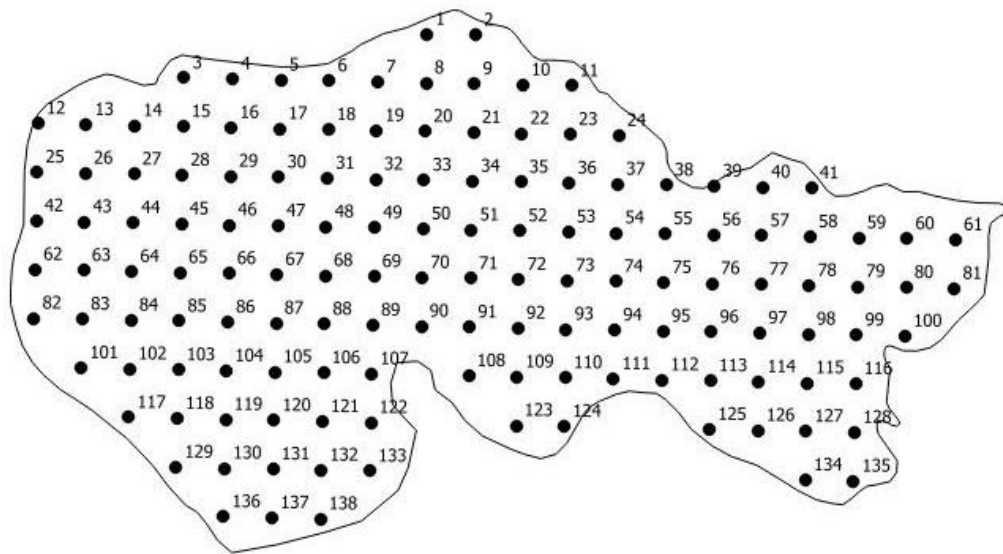


Figura 1 b: Contorno da área 2, com pontos de amostragem.

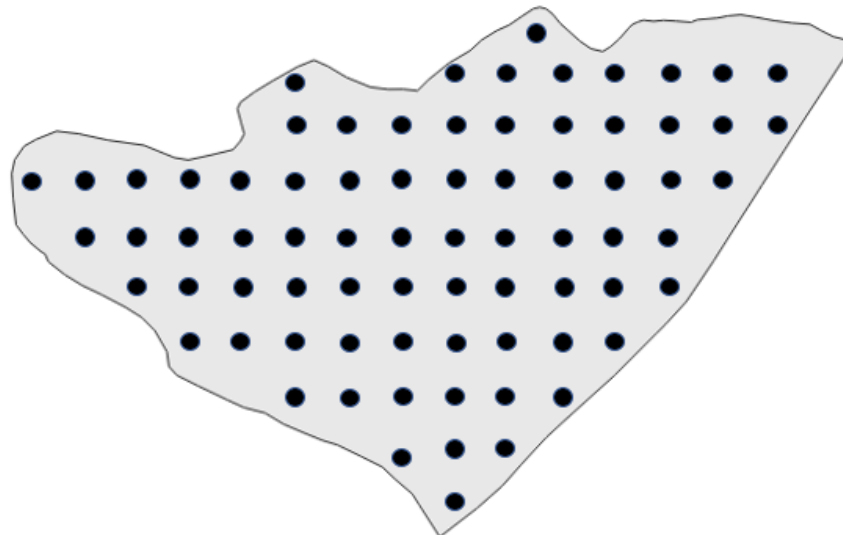


Figura 1 c: Contorno da área 3, com pontos de amostragem.

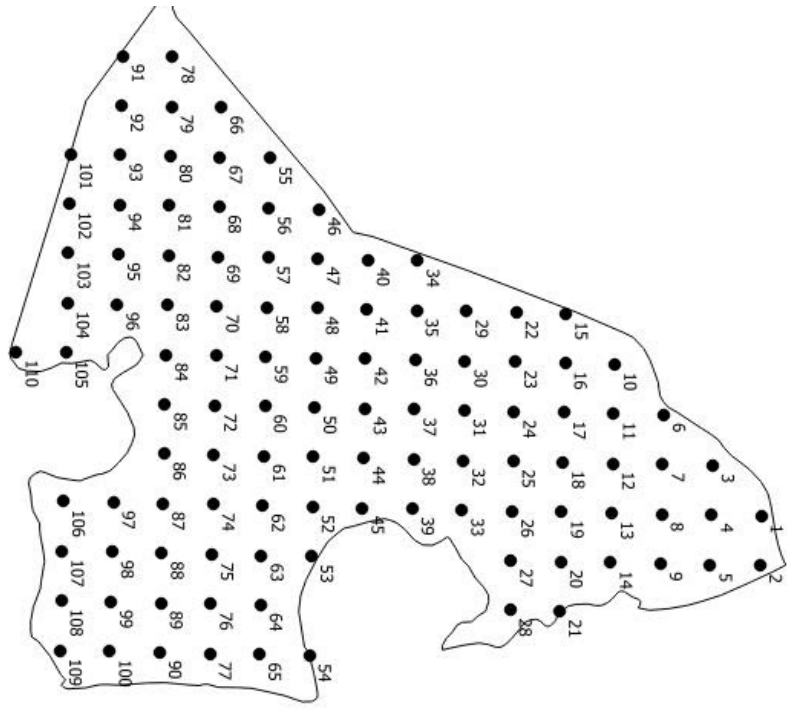


Figura 1 d: Contorno da área 4, com pontos de amostragem.

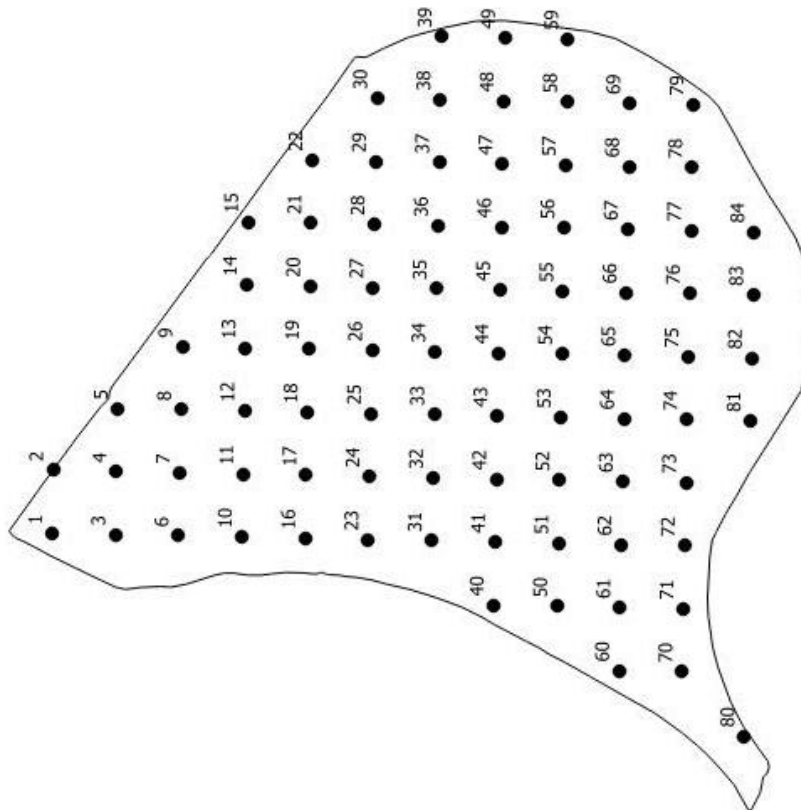


Figura 1 e: Contorno da área 5, com pontos de amostragem.

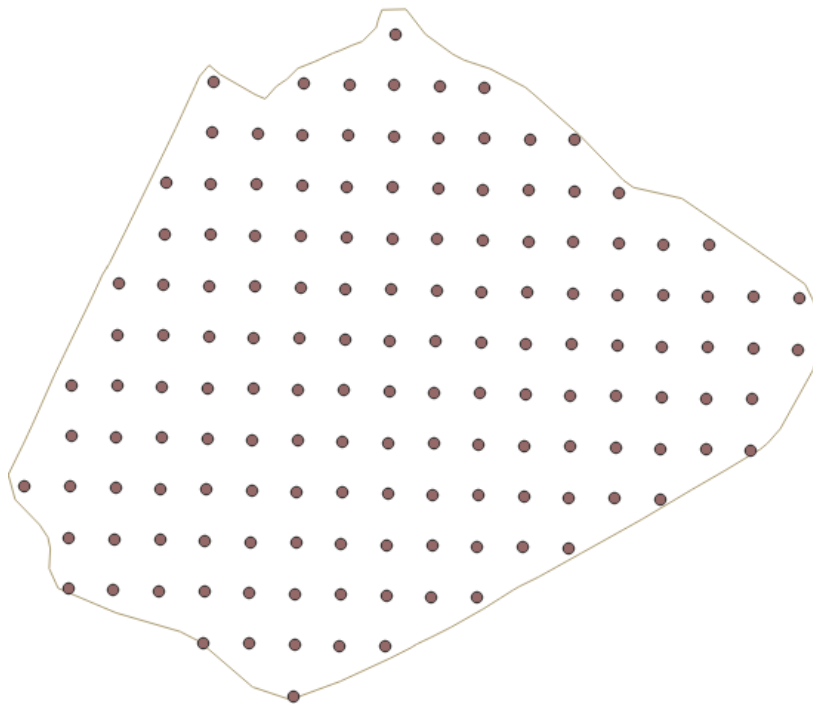


Figura 1 f: Contorno da área 6, com pontos de amostragem.

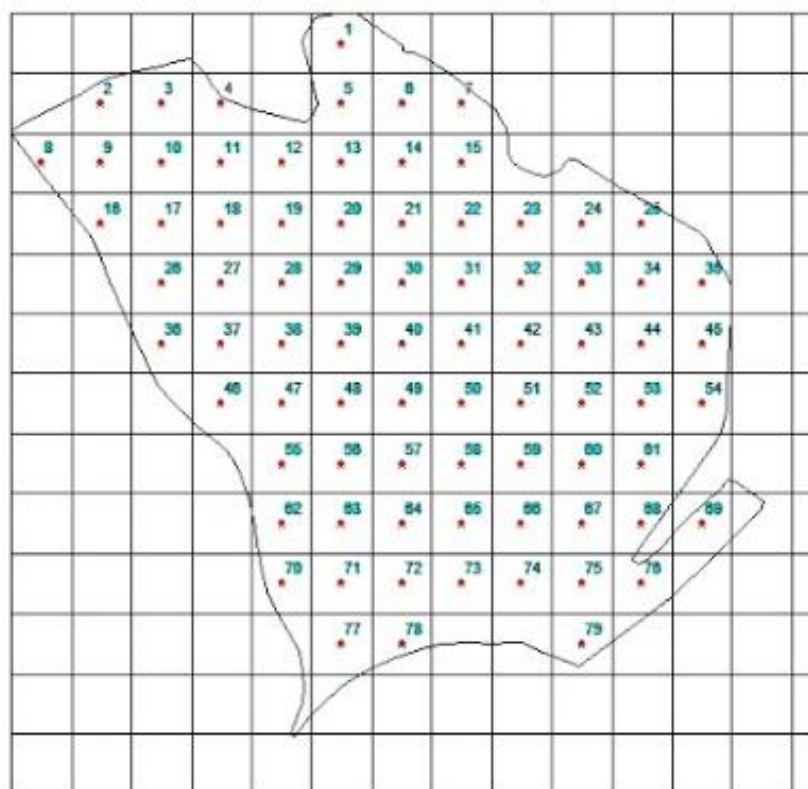


Figura 1 g: Contorno da área 7, com pontos de amostragem.

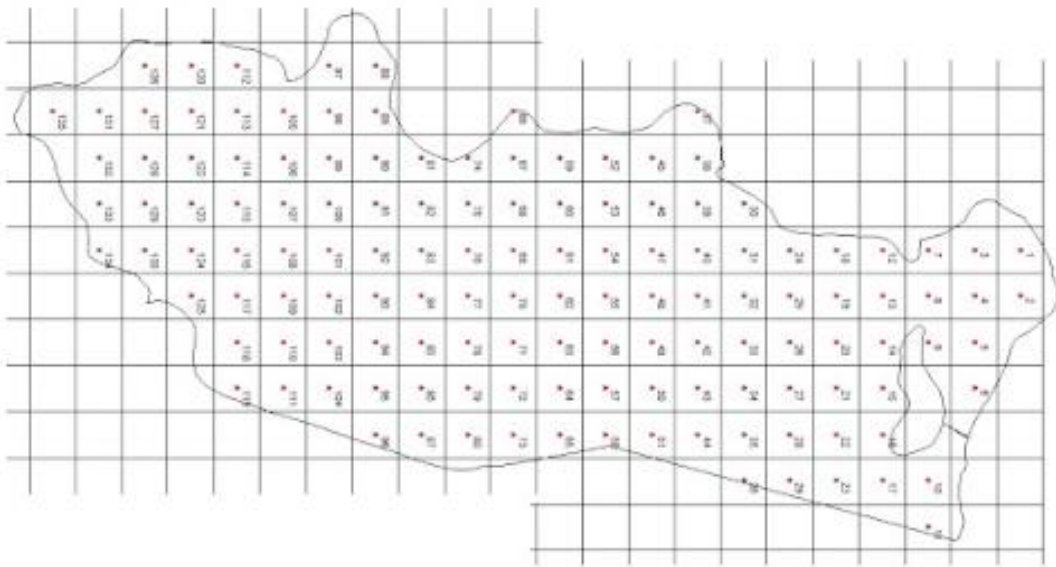


Figura 1 h: Contorno da área 8, com pontos de amostragem.

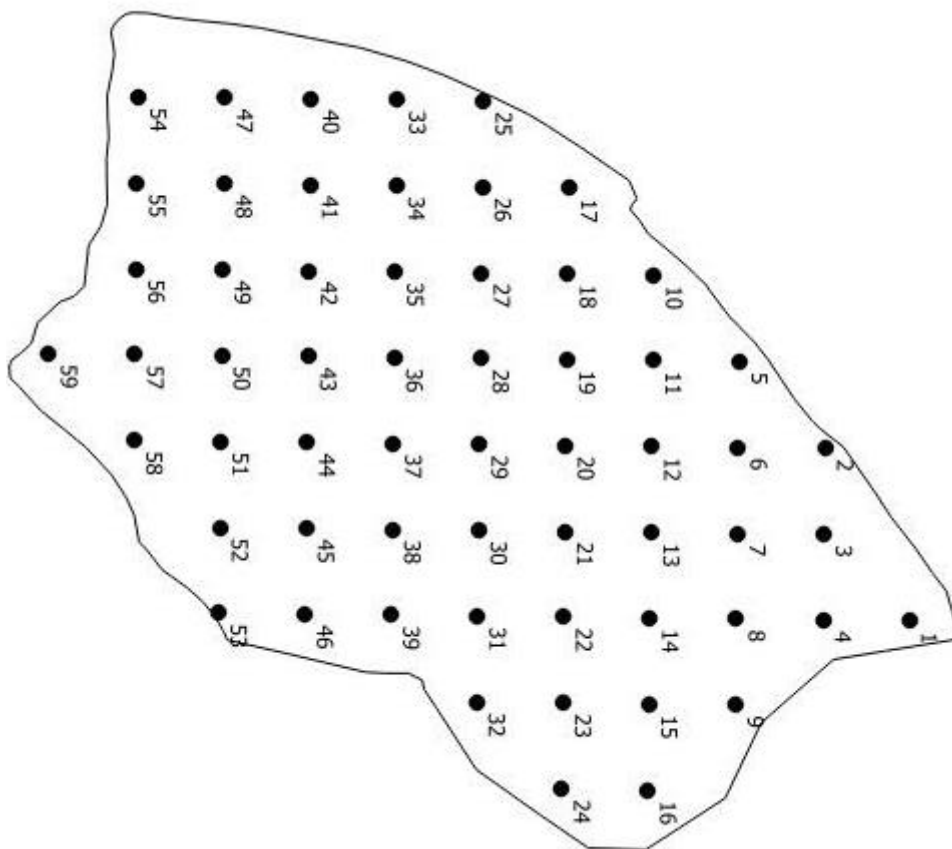


Figura 1 i: Contorno da área 9, com pontos de amostragem.

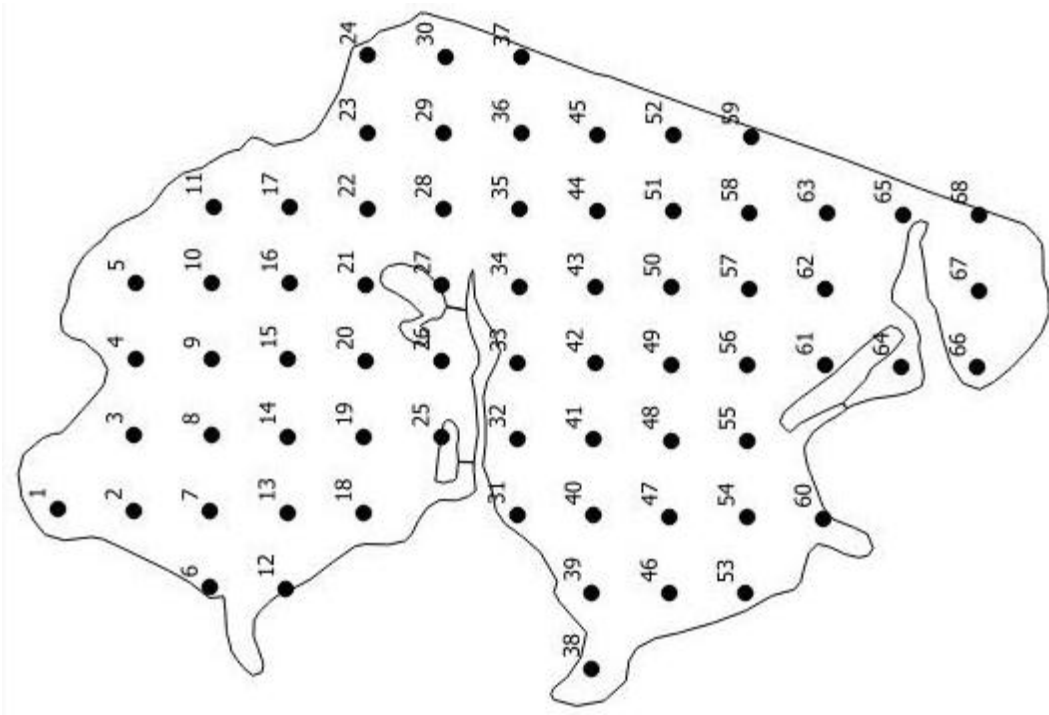


Figura 1 j: Contorno da área 10, com pontos de amostragem.

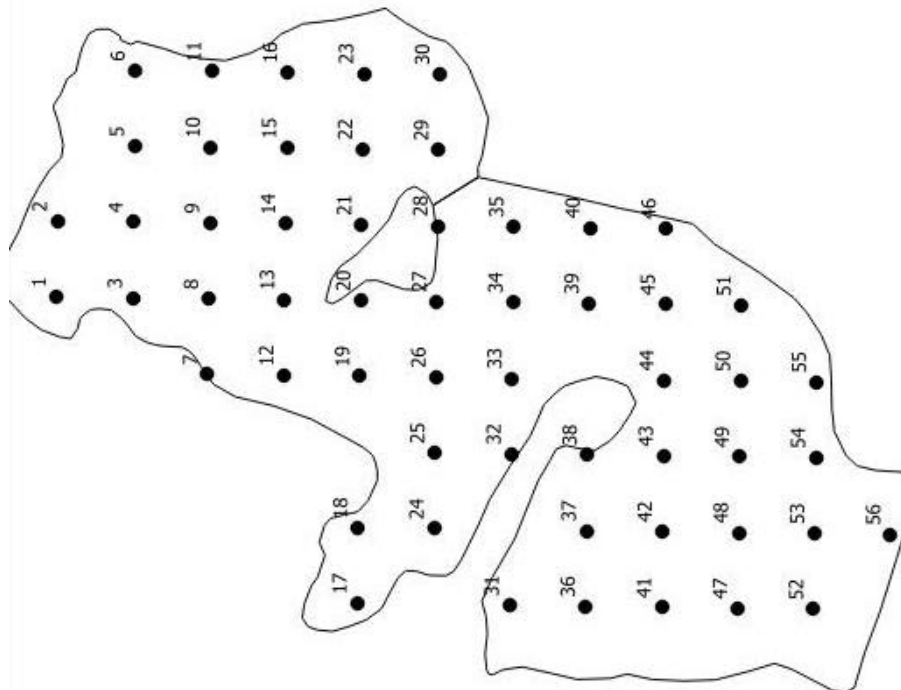


Figura 1 i: Contorno da área 11, com pontos de amostragem.

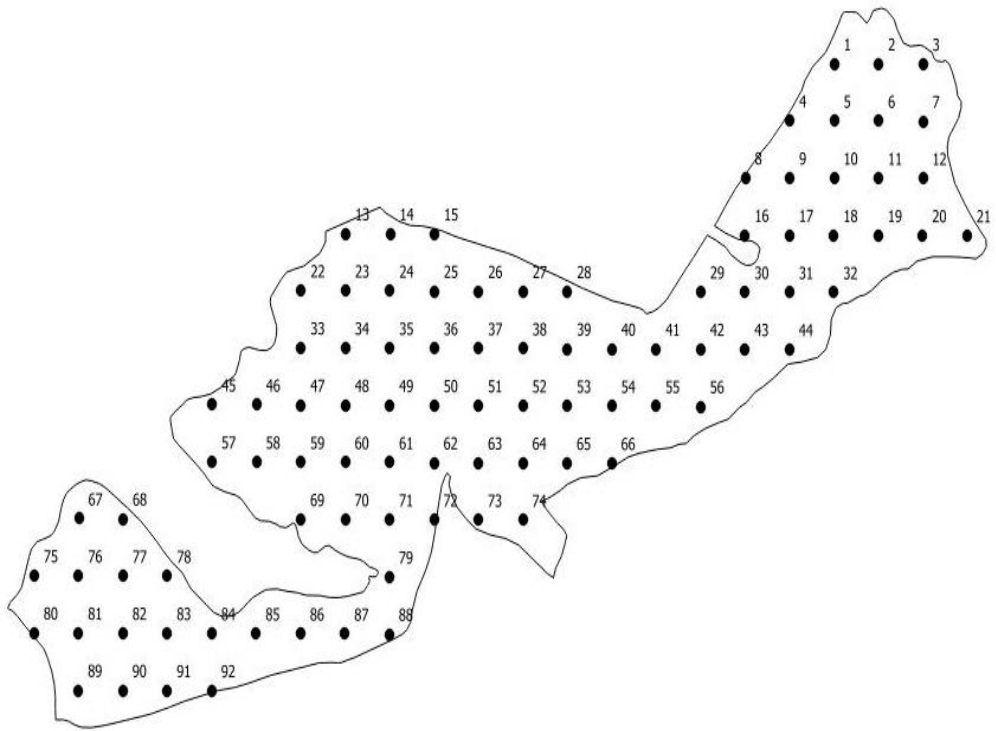


Figura 1 m: Contorno da área 12, com pontos de amostragem.

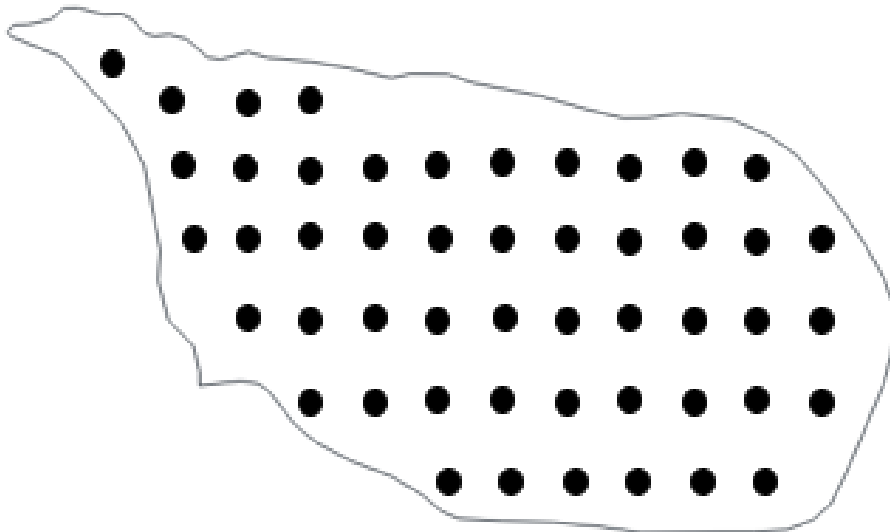
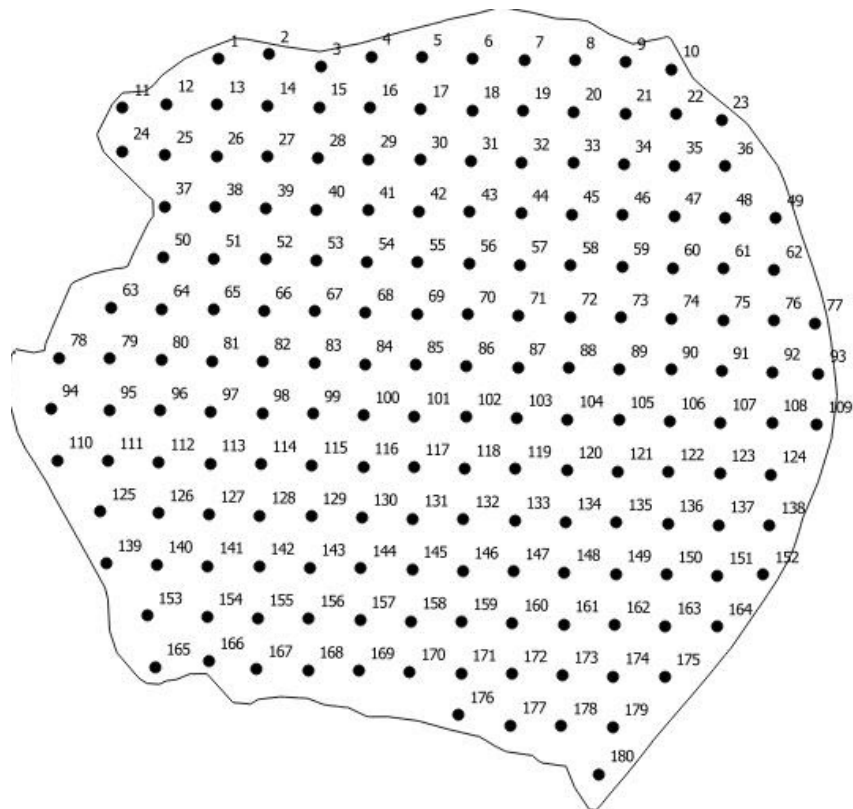


Figura 1 n: Contorno da área 13, com pontos de amostragem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As coletas das amostras de solo foram realizadas com o auxílio de um trado de rosca acoplado a um quadriciclo (Figura 2), em duas profundidades, sendo a primeira na profundidade de 0 a 0,15 m, e a segunda de 0,15 a 0,30 m, cada amostra composta representativa de cada ponto contou com 10 a 12 sub amostras, coletadas num raio de 10 metros ao redor do ponto. Para realização da análise dos atributos químicos, as amostras foram encaminhadas para o laboratório de solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Figura 2: Quadriciclo com trado de rosca utilizado na coleta das amostras de solo.



Fonte: Próprio autor.

Os atributos avaliados foram pH em água, saturação de bases (V%) e teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), matéria orgânica (MO), e os micronutrientes, cobre (Cu), boro (B), zinco (Z) e manganês (Mn), sendo a interpretação dos dados realizadas de acordo com o Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016).

Os dados foram submetidos a análise estatística exploratória, com o auxílio da estatística descritiva, para verificar a posição e a dispersão dos dados, sendo determinados os valores de mínimo, média e máximo, desvio padrão, coeficiente de variação (CV%), assimetria (Cs) onde $Cs > 0$ - distribuição assimétrica, $Cs < 0$ - distribuição assimétrica e $Cs = 0$ - distribuição simétrica e curtose (Ck) onde $Ck = 0$ - distribuição mesocúrtica, $Ck < 0$ - platicúrtica e $Ck > 0$ - leptocúrtica. Os valores de CV (%) foram utilizados para classificar a dispersão dos dados, sendo $CV < 15\%$ considerado baixo, de 15 a 35% moderado e alto $CV > 35\%$ (WILDING e DREES, 1983). A normalidade dos dados foi avaliada por meio do teste de Shapiro-Wilk, a 5% de probabilidade de erro (SHAPIRO & WILK, 1965).

A avaliação da variabilidade espacial dos atributos de acidez e bases, foi realizada por meio do ajuste de semivariogramas, sendo os ajustes testados pelos modelos teóricos, esférico, exponencial, linear ou gaussiano. Os modelos de semivariogramas foram adotados com base no melhor coeficiente de determinação (r^2) e avaliados pela técnica da avaliação cruzada (CHERUBIM, et al., 2015), sendo que esta técnica consiste em remover o valor de

um ponto onde se realizou a análise, e estima-lo novamente por meio do modelo (SILVA et al., 2003). A partir do ajuste do modelo matemático, definiu-se os parâmetros do semivariograma, efeito pepita (C_0), contribuição (C_1), patamar (C_0+C_1) e alcance (a). O índice de dependência espacial obtido através 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 IDE entre 25 e 75%, e fraco $IDE > 75\%$ (CAMBARDELLA, et al., 1994). Para o trabalho dos dados foram utilizados o software Microsoft Excel e o software QGIS 3.4.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESTUDO EXPLORATÓRIO DOS ATRIBUTOS DE ACIDEZ E BASES RELACIONADAS

O coeficiente de variação (CV) para os valores de pH em água (Tabela 2) das áreas de estudo ficou abaixo de 15 %, o que classifica os dados como baixa dispersão para ambas as profundidades amostradas, semelhante ao encontrado por Zanão Junior, et al., (2010), onde visualizaram teores homogêneos de pH ao longo da área estudada. O valor médio entre as áreas ficou em 5,38 na profundidade de 0 a 0,15 m e 5,26 na profundidade de 0,15 a 0,30 m. Valores considerados baixos de acordo com o Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016).

Tabela 2 - Estatística descritiva do teor de pH em água das áreas de estudo na profundidade de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade 0 – 0,15 m					Parâmetros ⁽¹⁾				
Área	Valores			Amplitude	DP	Coeficientes			Teste W ⁽²⁾
	Mínimo	Médio	Máximo			CV	Cs	Ck	
1	4.9	5.4	6.3	1.4	0.24	4.39	0.59	1.10	0.96*
2	4.9	5.6	6.5	1.6	0.30	5.35	0.85	1.03	0.07*
3	4.5	5.1	5.7	1.2	0.21	4.20	0.15	-0.01	0.98 ^{ns}
4	4.8	5.3	6.0	1.2	0.23	4.33	0.81	1.13	0.94*
5	4.6	5.6	6.0	1.4	0.21	3.85	-0.72	2.03	0.94*
6	5.4	5.9	6.3	0.9	0.17	2.79	-0.50	0.87	0.95*
7	3.8	5.7	6.5	2.7	0.33	5.74	-1.20	7.45	0.91*
8	4.9	5.4	5.6	0.7	0.15	2.80	-0.68	0.43	0.93*
9	4.8	5.3	5.7	0.9	0.22	4.10	-0.07	-0.54	0.96*
10	4.7	5.1	5.7	1.0	0.20	3.93	0.39	0.29	0.97 ^{ns}
11	4.4	5.0	5.7	1.3	0.26	5.22	0.30	0.37	0.97*
12	4.7	5.1	5.7	1.0	0.22	4.41	0.38	0.04	0.96 ^{ns}
13	5.0	5.5	6.2	1.2	0.22	3.93	0.54	0.94	0.96*
Profundidade 0,15 – 0,30 cm									
1	4.7	5.3	6.6	1.9	0.29	5.36	1.52	4.17	0.88*
2	4.1	5.5	6.5	2.4	0.39	7.23	-0.48	1.48	0.97 ^{ns}
3	4.4	4.8	5.4	1.0	0.18	3.86	0.55	0.17	0.95*
4	5.2	5.6	6.3	1.1	0.22	3.96	0.67	0.40	0.94*
5	4.0	5.4	6.0	2.0	0.29	5.40	-0.85	2.99	0.95*
6	4.9	5.7	6.1	1.2	0.23	3.98	-0.36	0.63	0.97 ^{ns}
7	4.9	5.5	6.4	1.5	0.29	5.25	0.87	1.16	0.94*
8	4.6	5.2	5.6	1.0	0.20	3.96	-0.34	0.19	0.97 ^{ns}
9	4.8	5.2	5.9	1.1	0.22	4.21	0.26	0.17	0.97 ^{ns}
10	4.6	5.2	6.1	1.5	0.29	5.69	0.38	0.97	0.97 ^{ns}
11	4.5	5.0	5.7	1.2	0.24	4.92	0.70	0.59	0.95*
12	4.5	4.9	5.4	0.9	0.20	4.20	0.79	0.55	0.93*

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

Valores estes que podem restringir o desenvolvimento normal das plantas (FIORIN, 2007), sendo que em condições de pH ácido a disponibilidade dos cátions Ca, Mg e K fica reduzida, em função das reações químicas potencializarem sua adsorção aos colóides do solo. Cherubin, et al., (2013), estudando latossolos de lavouras comerciais localizadas ao norte do RS, encontrou comportamento semelhante dos valores de pH em água, apresentando baixa dispersão, onde os valores de CV variaram de 2,0 a 8,5 %.

Analisando os dados dos coeficientes de assimetria e curtose, pode-se observar que para as duas profundidades, em 61,5% das áreas os valores de pH ficaram abaixo da média, classificando a distribuição das frequências dos dados em assimétricas e leptocúrticas, mostrando que os dados não seguiram uma distribuição normal. Segundo o teste W a normalidade dos dados foi observada em 20,1 % das áreas na profundidade de 0 a 0,15 m, já na profundidade de 0,15 a 0,30 m os conjuntos de dados foram considerados normais para 46,2 % das áreas. Outros autores estudando solos com características semelhantes, encontraram resultados para o teor de pH em água que não apresentavam conjuntos de dados dentro da normalidade, quando avaliados pelo teste W (CAVALCANTE, et al., 2007, DALCHIANOV, et al., 2012).

Vale ressaltar que a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, assim como acontece para outras análises estatísticas, entretanto, as frequências de dados assimétricos com muitos valores discrepantes, deve ser observada, para respeitar os padrões da Krigagem (WEBSTER e OLIVER, 2007).

As variabilidades espaciais dos valores de pH em água das áreas do estudo analisados encontram-se na tabela 3, onde foi possível identificar uma grande variação no raio de dependência espacial, demonstrado na tabela pelos valores do alcance, sendo que a partir destes valores não se identifica mais a presença de dependência espacial e caracteriza-se os valores de pH encontrados a partir destas como aleatórios.

O modelo matemático que mais representou o comportamento dos valores de pH dentre as áreas que apresentaram dependência espacial foi o exponencial, representando 78,6 % das áreas, seguido pelo esférico com 21,4 %. Todas as áreas que apresentaram dependência espacial, sendo estas as quais foi possível o ajuste do modelo, foram classificadas com base no índice de dependência espacial, com grau forte dependência espacial. Resultando semelhante foi encontrado por Amado et al., (2009), onde observaram moderada e forte dependência espacial para o pH em áreas de plantio direto, localizadas ao norte do Rio Grande do Sul.

Tabela 3 - Análise geoestatística e parâmetros do semivariograma do teor de pH em água das áreas de estudo na profundidade de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade 0 – 0,15 m									
Área	n ⁽¹⁾	Efeito Pepita	Patamar	Contribuição	Alcance (M)	Modelo	r ²	Dependência Espacial	
								IDE ⁽²⁾	GDE ⁽³⁾
1	142	0.015	0.699	0.684	521.3	EXPONENCIAL	95.7	2.15	FORTE
2	73	EPP	–	–	–	–	–	–	–
3	105	0.036	1.297	1.261	446.2	EXFERICO	95.1	2.75	FORTE
4	86	EPP	–	–	–	–	–	–	–
5	74	0.040	1.189	1.149	699.3	EXPONENCIAL	97.8	3.35	FORTE
6	82	0.007	1.257	1.249	708.8	EXPONENCIAL	92.6	0.58	FORTE
7	133	EPP	–	–	–	–	–	–	–
8	60	EPP	–	–	–	–	–	–	–
9	70	0.046	1.304	1.258	657.9	EXPONENCIAL	94.7	3.51	FORTE
10	58	EPP	–	–	–	–	–	–	–
11	92	EPP	–	–	–	–	–	–	–
12	50	EPP	–	–	–	–	–	–	–
13	185	0.048	6.850	6.802	879.7	EXFERICO	99.9	0.69	FORTE
Profundidade 0,15 – 0,30 m									
1	142	0.03381	0.69004	0.656225	479.6	EXPONENCIAL	98	4.90033	FORTE
2	73	EPP	–	–	–	–	–	–	–
3	105	0.02259	1.03624	1.01365	312.3	EXPONENCIAL	100	2.17986	FORTE
4	86	EPP	–	–	–	–	–	–	–
5	74	0.02772	0.63408	0.606357	286.7	EXPONENCIAL	99.7 1	4.37207	FORTE
6	82	0.039	2.30589	2.26689	708.8	EXFERICO	98.1 4	1.69119	FORTE
7	133	0.03593	0.72821	0.692282	639.6	EXPONENCIAL	99.8 3	4.93395	FORTE
8	60	0.02056	0.80665	0.786091	517.8	EXPONENCIAL	97.7 9	2.54857	FORTE
9	70	0.03776	1.05343	1.01567	664.6	EXPONENCIAL	98.0 5	3.58448	FORTE
10	58	0.04663	0.71276	0.666123	400.9	EXPONENCIAL	94.6 8	6.54283	FORTE
11	92	EPP	–	–	–	–	–	–	–
12	50	EPP	–	–	–	–	–	–	–

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

O teor médio de saturação por bases (V %) para a profundidade de 0 a 0,15 m ficou em 62,87 % e de 56,14 % para a profundidade de 0,15 a 0,30 m, valores considerados baixos

de acordo com Comissão..., (2016) podendo ser fatores limitantes em áreas onde se busca altas produtividades.

Analisando os dados da V (%) das áreas de estudo em relação as duas profundidades podem-se visualizar um padrão de comportamento semelhante, onde apesar de coeficientes de variação baixos (Tabela 4), caracterizando as áreas em baixa e moderada dispersão dos dados, observa-se uma grande variação dos valores de V (%) entre as áreas do estudo, juntamente com uma alta amplitude dos dados em relação aos valores mínimos e máximos chegando a 37,62 %, considerando a média de todas as áreas.

Nos coeficientes de assimetria e curtose bem como no teste de Shapiro Wilk consegue-se visualizar este comportamento, sendo que apenas 53,9 % das áreas apresentaram distribuição normal da frequência dos dados na profundidade de 0 a 0,15 m e 50 % na profundidade de 0,15 a 0,30 m quando submetidas ao teste W. Montezano, et al; (2006), observaram comportamento semelhante, sendo que em sua pesquisa a maioria dos atributos químicos do solo não apresentou distribuição normal dos dados.

Tabela 4 - Estatística descritiva do teor de saturação por bases V (%) nas áreas de estudo nas profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade 0 – 0,15 m					Parâmetros ⁽¹⁾				
Área	Valores (%)			Amplitude	DP	Coeficientes			Teste W ⁽²⁾
	Mínimo	Médio	Máximo			CV	Cs	Ck	
1	52.0	69.1	92.0	40.0	6.93	10.03	0.41	1.23	0.97*
2	56.0	70.8	90.0	34.0	7.85	11.10	0.70	0.00	0.94*
3	33.0	56.6	73.0	40.0	7.67	13.55	-0.14	-0.25	0.99 ^{ns}
4	36.0	57.8	79.0	43.0	8.30	14.36	0.13	0.46	0.98 ^{ns}
5	42.0	69.6	81.0	39.0	6.59	9.47	-1.23	2.81	0.92*
6	66.0	75.2	82.0	16.0	3.98	5.29	-0.53	-0.12	0.96*
7	55.0	71.9	88.0	33.0	7.76	10.79	-0.20	-0.61	0.98 ^{ns}
8	51.0	66.0	75.0	24.0	4.18	6.32	-0.91	2.38	0.95*
9	53.0	66.8	81.0	28.0	5.59	8.36	-0.05	-0.11	0.99 ^{ns}
10	37.0	56.5	74.0	37.0	7.69	13.61	0.16	-0.12	0.99 ^{ns}
11	20.0	54.7	80.0	60.0	11.54	21.11	-0.66	0.71	0.96*
12	16.0	40.7	72.0	56.0	16.25	39.89	-0.05	-1.24	0.93*
13	44.0	61.6	83.0	39.0	8.03	13.03	-0.07	-0.50	0.99 ^{ns}
Profundidade 0,15 – 0,30 m									
1	36.0	60.6	88.0	52.0	9.20	15.18	0.33	1.00	0.98*
2	37.0	62.9	89.0	52.0	9.53	15.14	0.04	0.94	0.97 ^{ns}

3	26.0	41.8	61.0	35.0	8.09	19.37	0.37	-0.62	0.97
4	53.0	71.3	87.0	34.0	6.20	8.70	-0.17	0.49	0.99 ^{ns}
5	21.0	60.7	76.0	55.0	8.91	14.67	-0.93	1.77	0.95*
6	42.0	67.1	80.0	38.0	6.73	10.04	-0.61	1.45	0.97*
7	40.0	60.7	88.0	48.0	9.29	15.31	0.47	-0.25	0.97*
8	33.0	55.7	73.0	40.0	7.39	13.27	-0.73	1.20	0.95*
9	40.0	61.3	77.0	37.0	7.22	11.79	-0.43	0.58	0.98 ^{ns}
10	31.0	53.6	79.0	48.0	11.17	20.84	0.11	-0.37	0.99 ^{ns}
11	16.0	46.2	75.0	59.0	12.80	27.70	-0.10	-0.27	0.99 ^{ns}
12	10.0	31.8	60.0	50.0	13.88	43.69	0.16	-1.04	0.96 ^{ns}

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

Na análise geostatística dos valores de V %, não foi possível ajustar nenhum modelo em nenhuma das áreas avaliadas, sendo encontrado um padrão de efeito pepita puro (EPP) em todas as áreas, o que implica em dizer que nas condições do trabalho onde a malha amostral foi de uma amostra por hectare, os dados tiveram um comportamento aleatório, sendo impossível determinar o alcance, do mesmo modo os demais parâmetros do semivariograma. Sendo que o alcance representa a distância limite pela qual uma variável regionalizada apresenta dependência espacial (CHERUBIN, et al., 2015), distância máximas que os valores interpolados se relacionam entre si. Bottega et al., (2013), estudando a variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta e com rotação de cultura, também encontrou EPP para os teores de V (%), sendo as amostras coletadas em uma malha amostral de dois pontos por hectare.

Os teores de Ca e Mg encontram-se altos na profundidade de 0 a 0,15 m, apresentando baixa e moderada dispersão dos dados, classificados de acordo com o CV. Outros trabalhos estudando a variabilidade espacial dos atributos do solo cultivado sob semeadura direta, também observaram teores altos no solo de Ca e Mg, de acordo com os autores devido principalmente ao sistema de manejo adotado (BOTTEGA, et al., 2013; CORRÊA, et al., 2017). Pode-se visualizar nas tabelas 5 e 6 a grande amplitude dos teores mínimos e máximos de Ca e Mg das áreas, sendo que poucas apresentaram distribuição de frequências normais pelo teste W. Os coeficientes de assimetria e curtose confirmam a grande amplitude dos dados, sendo que na maioria dos casos a maior frequência dos valores, encontram-se acima da média.

Tabela 5 - Estatística descritiva do teor de cálcio (Ca) nas áreas de estudo nas profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade 0 – 0,15 m					Parâmetros⁽¹⁾				
Área	Valores (cmolc dm³)			Amplitude	DP	Coefficientes			Teste W⁽²⁾
	Mínimo	Médio	Máximo			CV	Cs	Ck	
1	3.5	6.5	17.7	14.2	1.59	24.52	3.42	20.33	0.74*
2	4.2	6.7	15.2	11.0	1.30	19.37	4.10	25.97	0.66*
3	2.4	4.0	7.0	4.6	0.80	19.71	0.61	0.84	0.98*
4	3.1	5.1	13.4	10.3	1.24	24.25	3.75	23.96	0.72*
5	3.9	6.3	8.8	4.9	0.88	13.96	0.02	0.15	1 ^{ns}
6	5.5	7.5	9.7	4.2	0.81	10.79	-0.02	0.05	0.99 ^{ns}
7	4.9	7.5	15.6	10.7	1.59	21.07	1.53	4.58	0.91*
8	4.6	6.2	7.5	2.9	0.75	12.18	-0.08	-0.55	0.98 ^{ns}
9	5.8	7.9	10.3	4.5	0.95	12.15	0.38	-0.18	0.98 ^{ns}
10	2.9	5.8	9.2	6.3	1.08	18.70	0.37	1.68	0.96 ^{ns}
11	3.1	7.1	16.6	13.5	1.92	26.98	1.44	5.81	0.91*
12	3.4	4.9	7.3	3.9	0.95	19.40	0.63	-0.01	0.96 ^{ns}
13	4.5	6.1	11.5	7.0	0.87	14.27	1.56	7.43	0.91*
Profundidade 0,15 – 0,30 m									
1	2.2	4.7	12.2	10.0	1.46	30.82	2.38	9.02	0.81*
2	3.4	5.4	9.1	5.7	0.94	17.47	1.43	3.84	0.9*
3	1.6	2.6	5.8	4.2	0.65	24.92	1.27	3.95	0.92*
4	4.4	7.2	14.3	9.9	1.25	17.38	2.23	11.27	0.85*
5	2.6	5.0	7.1	4.5	0.89	17.88	0.14	-0.24	0.99 ^{ns}
6	3.6	5.9	9.8	6.2	1.00	16.87	0.84	2.32	0.96*
7	3.7	5.9	14.3	10.6	1.63	27.45	2.25	7.30	0.81*
8	2.7	4.5	6.0	3.3	0.66	14.56	-0.09	0.30	0.99 ^{ns}
9	4.1	6.0	9.7	5.6	0.99	16.34	0.60	1.83	0.95 ^{ns}
10	3.0	4.6	7.1	4.1	1.07	23.43	0.78	-0.03	0.93*
11	2.1	5.5	13.5	11.4	1.85	33.79	1.33	3.32	0.91*
12	2.4	3.5	5.5	3.1	0.74	21.09	0.55	0.05	0.96 ^{ns}

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

Tabela 6 - Estatística descritiva do teor de magnésio (Mg) nas áreas de estudo nas profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade 0 – 0,15 m					Parâmetros⁽¹⁾				
Área	Valores (cmolc dm³)			Amplitude	DP	Coefficientes			Teste W⁽²⁾
	Mínimo	Médio	Máximo			CV	Cs	Ck	
1	1.5	2.4	5.2	3.7	0.48	19.79	2.00	8.93	0.87*
2	1.3	2.0	3.6	2.3	0.32	16.61	1.88	8.36	0.87*
3	0.9	1.9	3.1	2.2	0.37	19.34	0.18	0.81	0.98 ^{ns}
4	1.5	2.4	7.0	5.5	0.64	26.08	4.64	31.76	0.64*
5	1.8	2.9	4.2	2.4	0.42	14.49	0.07	0.08	0.99 ^{ns}
6	2.7	3.5	4.9	2.2	0.42	12.10	0.99	2.07	0.94*
7	2.3	3.6	8.0	5.7	0.88	24.67	2.08	6.51	0.83*
8	1.7	2.6	3.3	1.6	0.35	13.76	-0.14	-0.24	0.99*
9	1.6	2.7	3.8	2.2	0.42	15.85	0.29	0.18	0.99 ^{ns}
10	1.0	1.7	2.6	1.6	0.34	19.92	0.26	-0.17	0.98 ^{ns}
11	1.3	3.4	10.8	9.5	1.10	32.71	3.37	22.71	0.75*
12	1.3	1.9	2.9	1.6	0.39	21.12	0.87	0.29	0.93*
13	1.9	2.9	4.4	2.5	0.40	13.81	0.36	0.41	0.98*
Profundidade 0,15 – 0,30 m									
1	0.9	1.9	5.1	4.2	0.55	28.57	2.14	8.64	0.84*
2	1.1	1.7	3.5	2.4	0.35	20.33	1.87	8.73	0.87*
3	0.6	1.3	2.1	1.5	0.29	21.92	0.32	-0.05	0.97*
4	2.3	3.3	7.4	5.1	0.65	20.00	3.16	18.31	0.77*
5	1.2	2.3	3.3	2.1	0.41	17.72	-0.02	-0.32	0.99 ^{ns}
6	2.0	2.9	5.5	3.5	0.51	17.49	2.08	8.31	0.85*
7	1.8	2.9	8.3	6.5	0.98	33.75	3.06	11.94	0.8*
8	1.1	2.1	3.1	2.0	0.35	16.77	0.18	1.15	0.97 ^{ns}
9	1.3	2.4	3.5	2.2	0.44	18.74	0.07	-0.05	0.99 ^{ns}
10	0.8	1.6	2.8	2.0	0.46	28.77	0.55	-0.25	0.96*
11	1.0	2.9	9.8	8.8	1.07	37.09	2.97	18.44	0.78*
12	0.9	1.5	2.4	1.5	0.37	25.30	0.63	0.01	0.94*

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

Com relação a análise geoestatística pode-se observar nas tabelas 7 e 8 os resultados obtidos para os teores de Ca e Mg. Quanto aos modelos matemáticos ajustados, estes variaram de esférico e exponencial, em outros trabalhos o modelo esférico também se ajustou a variabilidade espacial do Ca e Mg no solo (BOTTEGA et al., 2013). O comportamento dos teores de Ca Mg referente a dependência espacial foi semelhante para ambas as camadas amostradas, onde o Ca apresentou dependência espacial em menos áreas em comparação ao Mg, variando de fraca a moderada, sendo que para o teor de Mg o grau de dependência espacial encontrado foi forte em algumas áreas.

Nas áreas onde foram encontrados efeito pepita puro (EPP) a densidade amostral utilizada, pode não ter sido suficiente para demonstrar o padrão de dependência espacial presentes nas áreas (ZANÃO JUNIOR, et al., 2010), sendo o alcance necessário menor que os 100 metros utilizados na distância de um ponto de coleta a outro.

Tabela 7 - Análise geoestatística e parâmetros do semivariograma dos valores de cálcio (Ca) das áreas de estudo na profundidade de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade 0 – 0,15 m									
Área	n ⁽¹⁾	Efeito Pepita	Patamar	Contribuição	Alcance (m)	Modelo	r ²	Dependência Espacial IDE ⁽²⁾	GDE ⁽³⁾
1	142	EPP	–	–	–	–	–	–	–
2	73	EPP	–	–	–	–	–	–	–
3	105	0.457	0.527	0.070	481.8	ESFERICO	81.12	86.66	FRACO
4	86	EPP	–	–	–	–	–	–	–
5	74	0.122	0.386	0.264	692.4	EXPONENCIAL	98.23	31.64	MODERADO
6	82	0.368	0.468	0.100	708.8	ESFERICO	82.15	78.56	FRACO
7	133	EPP	–	–	–	–	–	–	–
8	60	0.036	0.055	0.020	369.1	ESFERICO	99.18	64.55	MODERADP
9	70	EPP	–	–	–	–	–	–	–
10	58	EPP	–	–	–	–	–	–	–
11	92	EPP	–	–	–	–	–	–	–
12	50	EPP	–	–	–	–	–	–	–
13	185	0.456	0.558	0.102	717.0	ESFERICO	94.39	81.66	FRACO
Profundidade 0,15 – 0,30 m									
1	142	0.803	0.997	0.193	417.0	Exponencial	94.73	80.5966	FRACO
2	73	EPP	–	–	–	–	–	–	–
3	105	EPP	–	–	–	–	–	–	–
4	86	EPP	–	–	–	–	–	–	–
5	74	0.131	0.393	0.262	671.4	Exponencial	98.51	33.3722	MODERADO
6	82	EPP	–	–	–	–	–	–	–

7	133	EPP	-	-	-	-	-	-	-
8	60	0.081	0.108	0.028	369.1	EFERICO	99.78	74.325	FRACO
9	70	EPP	-	-	-	-	-	-	-
10	58	EPP	-	-	-	-	-	-	-
11	92	EPP	-	-	-	-	-	-	-
12	50	EPP	-	-	-	-	-	-	-

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

Tabela 8 - Análise geoestatística e parâmetros do semivariograma dos valores de magnésio (Mg) das áreas de estudo na profundidade de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade 0 – 0,15 m									
Área	n ⁽¹⁾	Efeito Pepita	Patamar	Contribuição	Alcance (m)	Modelo	r ²	Dependência Espacial	
								IDE ⁽²⁾	GDE ⁽³⁾
1	142	EPP	-	-	-	-	-	-	-
2	73	EPP	-	-	-	-	-	-	-
3	105	0.100	1.063	0.964	892.3	EXPONENCIAL	87.79	9.36	FORTE
4	86	0.290	0.725	0.436	739.7	EXFERICO	89.12	39.96	MODERADO
5	74	0.100	0.688	0.587	566.5	EXPONENCIAL	94.4	14.58	FORTE
6	82	0.087	1.007	0.920	701.8	EXPONENCIAL	91.18	8.66	FORTE
7	133	0.323	0.362	0.039	797.0	ESFERICO	98.58	89.25	FRACO
8	60	0.208	0.519	0.311	369.1	EXPONENCIAL	99.24	40.08	MODERADO
9	70	0.127	0.960	0.833	664.6	EXPONENCIAL	82.08	13.23	FORTE
10	58	EPP	-	-	-	-	-	-	-
11	92	0.650	0.670	0.020	656.7	EXFERICO	87.96	96.95	FRACO
12	50	EPP	-	-	-	-	-	-	-
13	185	EPP	-	-	-	-	-	-	-
Profundidade 0,15 – 0,30 m									
1	142	0.030	0.429	0.399	375.3	Exponencial	-	6.95	FORTE
2	73	EPP	-	-	-	-	-	-	-
3	105	EPP	-	-	-	-	-	-	-
4	86	0.338	1.296	0.958	710.1	Exponencial	84.91	26.07	MODERADO
5	74	0.087	0.661	0.574	454.6	Exponencial	93.21	13.13	FORTE
6	82	0.133	0.737	0.603	326.1	Exponencial	99.79	18.11	FORTE
7	133	0.098	0.353	0.254	482.4	Exponencial	99.38	27.82	MODERADO
8	60	0.021	0.127	0.107	369.1	Esferico	97.68	16.33	FORTE
9	70	0.152	0.988	0.836	664.6	Exponencial	81.68	15.40	FORTE
10	58	EPP	-	-	-	-	-	-	-
11	92	0.611	0.631	0.020	656.7	Esférico	91.84	96.84	FRACO
12	50	EPP	-	-	-	-	-	-	-

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

Sendo assim, de maneira geral as áreas estudadas encontram-se com leve acidez, representada pelos baixos valores de pH encontrados, aliado a valores médios de saturação por bases (V%), sendo que para estes dois atributos foram encontradas baixa variabilidade espacial, representada pelos valores de coeficientes de variação e pelo grau de dependência espacial.

Os teores de Ca e Mg, apresentam-se em níveis altos no solo ao longo das áreas, sendo observados baixos e moderados coeficientes de variação para os dois nutrientes, onde o cálcio apresentou grau de dependência espacial variando de fraco a moderado, e o magnésio de moderado a forte. Para todos os atributos avaliados foi observada uma redução em seus teores em profundidade.

4.2 ESTUDO EXPLORATÓRIO DOS TEORES DE FÓSFORO, POTÁSSIO, ENXOFRE E MO

Nos valores encontrados da estatística descritiva para o teor de P no solo das áreas de estudo (Tabela 9) pode-se observar, que de acordo com o teste W só uma das áreas apresentou distribuição normal de frequências dos dados, sendo que todas as áreas apresentaram distribuição assimétrica pelo coeficiente de assimetria, e o coeficiente de curtose apresentou distribuição platicúrtica. O coeficiente de variação encontra-se de médio a alto nas duas profundidades avaliadas. Os valores de máximo e mínimo apresentaram grande amplitude, sendo que de acordo com os parâmetros calculados a maior frequência se encontra em valores abaixo da média.

O padrão de comportamento dos parâmetros estatísticos foi semelhante para a duas profundidades, entretanto os valores encontrados do teor de P, foram significativamente menores na profundidade de 0,15 a 0,30 m, visto que o fósforo apresenta como característica, baixa mobilidade no perfil do solo (SANTOS, GATIBONI, KAMINSKI, 2008). O teor médio na profundidade de 0 a 0,15 m foi de $10,2 \text{ mg}^{-1} \text{ dm}^{-3}$, valor considerado alto, para as classes de teor de argila das áreas de estudo (Comissão ..., 2016). Já na profundidade de 0,15 a 0,30 m, o valor médio foi de $6 \text{ mg}^{-1} \text{ dm}^{-3}$, sendo classe de disponibilidade do P classificada como média.

Apesar do valor do teor de P nas áreas está alto na camada superficial do solo, apenas em uma das áreas foi identificado a dependência espacial dos dados, sendo que o modelo matemático ajustado ao semivariograma foi o esférico, com grau de dependência espacial classificado como fraco, sendo que nas demais não foi identificada a dependência espacial para este atributo, devido ao EPP (Tabela 10). Para a camada de 0,15 a 0,30 m, a dependência espacial e os parâmetros do semivariograma foram encontrados para 3 áreas, sendo ajustado o modelo esférico em uma das áreas e o exponencial para as outras duas que também apresentaram dependência espacial, e o grau de dependência espacial classificado como fraco. Zanão Junior, et al., (2010) e Dalchiavon, et al., (2012), também encontraram dependência espacial para o teor de fósforo no solo, sendo nestes casos o grau de dependência espacial classificado como médio.

Tabela 9 - Estatística descritiva do teor de fósforo das áreas de estudo para as profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade 0 – 0,15 cm					Parâmetros ⁽¹⁾				
Área	Valores (mg dm ³)			Amplitude	DP	Coeficientes			Teste W ⁽²⁾
	Mínimo	Médio	Máximo			CV	Cs	Ck	
1	3.2	6.9	20.0	16.8	2.87	41.45	1.91	4.99	0.84*
2	1.6	7.2	28.0	26.4	4.90	68.38	2.55	7.25	0.70*
3	7.6	17.9	43.0	35.4	7.08	39.59	1.37	2.30	0.89*
4	1.9	6.4	26.0	24.1	3.60	56.51	3.05	12.74	0.72*
5	3.9	11.7	24.0	20.1	4.02	34.40	0.48	0.28	0.98*
6	5.5	13.6	26.0	20.5	3.84	28.16	0.70	0.70	0.96*
7	2.6	7.9	15.0	12.4	2.48	31.47	0.44	0.15	0.98 ^{ns}
8	3.0	6.6	14.0	11.0	2.27	34.21	0.85	1.14	0.95*
9	1.9	5.2	10.0	8.1	1.98	38.31	0.90	0.46	0.93*
10	2.3	4.7	8.0	5.7	1.32	28.12	0.68	-0.05	0.96*
11	1.6	3.7	7.8	6.2	1.42	38.00	0.63	-0.33	0.94*
12	8.1	25.2	62.0	53.9	9.63	38.24	1.22	3.19	0.92*
13	5.0	16.2	64.0	59.0	7.04	43.49	2.47	13.28	0.84*
Profundidade 0,15 – 0,30 cm									
1	1.2	3.2	8.6	7.4	1.33	41.34	1.59	3.28	0.87*
2	1.1	3.6	18.0	16.9	2.42	67.26	3.75	18.83	0.64*
3	1.9	8.2	100.0	98.1	9.42	114.17	8.65	84.29	0.32*
4	4.8	15.5	42.0	37.2	6.72	43.40	1.54	3.51	0.89*
5	1.9	5.8	13.0	11.1	2.02	34.66	0.68	0.75	0.97*
6	1.9	5.3	10.0	8.1	1.73	32.72	0.60	0.32	0.97 ^{ns}
7	1.3	4.1	8.6	7.3	1.40	34.19	0.52	0.25	0.98*
8	1.1	3.3	5.8	4.7	0.98	29.33	-0.25	-0.30	0.97 ^{ns}

9	0.4	1.9	10.0	9.6	1.25	67.13	4.34	26.44	0.63*
10	0.9	2.2	3.7	2.8	0.57	26.41	0.58	0.41	0.97 ^{ns}
11	0.8	2.8	5.8	5.0	1.44	51.55	0.99	-0.49	0.82*
12	3.1	11.8	35.0	31.9	5.49	46.65	1.94	6.23	0.85*

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

Tabela 10 - Geoestatística e parâmetros do semivariograma para o teor de fósforo das áreas de estudo para as profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade de 0 - 0,15 m									
Área	n ⁽¹⁾	Efeito Pepita	Patamar	Contribuição	Alcance (m)	Modelo	r ²	Dependência Espacial	
								IDE ⁽²⁾	GDE ⁽³⁾
1	142	EPP	–	–	–	–	–	–	–
2	73	EPP	–	–	–	–	–	–	–
3	105	EPP	–	–	–	–	–	–	–
4	86	EPP	–	–	–	–	–	–	–
5	74	EPP	–	–	–	–	–	–	–
6	82	EPP	–	–	–	–	–	–	–
7	133	EPP	–	–	–	–	–	–	–
8	60	EPP	–	–	–	–	–	–	–
9	70	EPP	–	–	–	–	–	–	–
10	58	EPP	–	–	–	–	–	–	–
11	92	0.881	0.898	0.016	818.1	ESFERICO	93.53	98.16	FRACO
12	50	EPP	–	–	–	–	–	–	–
13	185	EPP	–	–	–	–	–	–	–
Profundidade de 0,15 – 0,30 m									
1	142	0.989	1.024	0.035	636.0	EXPONENCIAL	84.55	96.56	FRACO
2	73	EPP	–	–	–	–	–	–	–
3	105	EPP	–	–	–	–	–	–	–
4	86	EPP	–	–	–	–	–	–	–
5	74	EPP	–	–	–	–	–	–	–
6	82	EPP	–	–	–	–	–	–	–
7	133	EPP	–	–	–	–	–	–	–
8	60	0.731	0.760	0.028	440.4	ESFERICO	93.64	96.27	FRACO
9	70	EPP	–	–	–	–	–	–	–
10	58	EPP	–	–	–	–	–	–	–
11	92	0.054	0.067	0.013	483.9	ESFERICO	98.94	80.73	FRACO

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

O coeficiente de variação para o teor de K nas áreas de estudo apresentou-se de moderado a alto em ambas as profundidades, semelhante ao encontrado por Corrêa et al., (2017) em campo de produção de semente de trigo no município de Lavras do Sul - RS. O teste W demonstrou que para três áreas do estudo a distribuição de frequências dos dados para o teor de K obedecem a distribuição normal, podendo ser observada também nos valores dos coeficientes de assimetria e curtose, onde é possível visualizar que a maior frequência dos valores se encontram abaixo da média na profundidade de 0 a 0,15 m (Tabela 11).

Tabela 11 - Estatística descritiva do teor de potássio das áreas de estudo para as profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade 0 – 0,15 m					Parâmetros ⁽¹⁾				
Área	Valores (mg dm ³)				DP	Coeficientes			Teste W ⁽²⁾
	Mínimo	Médio	Máximo	Amplitude		CV	Cs	Ck	
1	58	153	400	342	48.39	31.64	1.48	4.96	0.91*
2	100	174	272	172	34.35	19.76	0.61	0.47	0.96*
3	103	199	291	188	41.29	20.74	0.13	-0.49	0.99 ^{ns}
4	52	120	223	171	37.42	31.08	0.58	-0.13	0.96*
5	72	146	281	209	36.59	24.98	0.80	1.35	0.96*
6	126	181	259	133	31.13	17.21	0.62	-0.22	0.96*
7	72	157	295	223	36.46	23.24	0.99	1.84	0.95*
8	40	82	254	214	37.73	45.81	1.97	6.17	0.83*
9	64	132	224	160	35.63	26.97	0.48	-0.04	0.97 ^{ns}
10	36	90	168	132	25.25	28.21	0.97	1.35	0.93*
11	79	187	396	317	71.49	38.22	0.79	-0.03	0.94*
12	149	234	367	218	40.46	17.28	0.67	1.30	0.96 ^{ns}
13	37	75	224	187	22.53	30.04	2.74	13.91	0.80*
Profundidade 0,15 – 0,30 m									
1	39	82	224	185	30.05	36.86	1.94	6.10	0.85*
2	54	93	198	144	26.09	28.17	1.48	3.12	0.89*
3	52	118	200	148	27.54	23.27	0.48	0.08	0.97*
4	102	238	371	269	61.89	26.00	-0.01	-0.41	0.99 ^{ns}
5	37	80	177	140	24.97	31.04	1.50	3.04	0.89*
6	57	99	164	107	26.70	26.84	0.80	-0.08	0.93*
7	45	101	247	202	30.61	30.19	2.04	6.70	0.85*
8	24	43	108	84	16.94	39.71	1.62	3.08	0.85*
9	32	59	122	90	17.26	29.23	1.21	2.03	0.92*

10	25	44	118	93	16.12	36.81	2.29	7.37	0.79*
11	51	106	290	239	47.01	44.16	1.42	2.21	0.87*
12	114	167	232	118	29.91	17.94	0.21	-0.66	0.98 ^{ns}

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

Apesar do teor médio de K se apresentar menor na camada de 0,15 a 0,30 m, em relação a camada superficial, ambas se encontram com teores altos (COMISSÃO..., 2016).

Na profundidade de 0,15 a 0,30 m (Tabela 11) diferente da outra camada amostrada, foi observado para duas áreas uma distribuição de frequências dos dados com assimetria negativa, onde nestes casos a maior frequência dos valores encontram-se acima da média. No teste W em duas áreas os dados do teor de K não seguiram a normalidade, fato que não compromete necessariamente o uso da geoestatística (WEBSTER e OLIVER, 2007).

Em ambas as profundidades de amostragem não foi possível determinar o modelo matemático que melhor representa-se o conjunto de dados nem os parâmetros do semivariograma, sendo encontrado em todas as áreas a presença do EPP, o que supõe-se ser um efeito da distância de coleta das amostras, sendo necessário para encontrar tais parâmetros neste caso o uso de uma densidade amostral maior, com distâncias amostrais menores. Cherubim, et al., (2015), estudando diferentes malha amostrais sobre os teores de potássio, encontrou EPP nos semivariogramas dos dados coletados nas malhas amostrais de 150 m x 150 m, 175 m x 175 m e 200 m x 200m, sendo que nas outras quatro densidades amostrais menores utilizadas, observaram a presença de dependência espacial.

Os teores de S apresentaram uma grande variação de uma área para outra bem com dentro das áreas (Tabela 12), o CV foi classificado de moderado a alto em ambas as camadas, os coeficientes de assimetria e curtose demonstram uma distribuição assimétrica dos dados, com maior parte dos valores encontrando-se acima do valor médio para todas as áreas. Apesar de apresentar grande variação, sua classe de disponibilidade ficou alta para todas as áreas nas duas profundidades amostradas (Comissão... 2016).

Tabela 12 - Estatística descritiva do teor de enxofre das áreas de estudo para as profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade 0 – 0,15 m	Parâmetros⁽¹⁾
--------------------------------	---------------------------------

Área	Valores (mg dm ³)			Amplitude	DP	Coeficientes			Teste W ⁽²⁾
	Mínimo	Médio	Máximo			CV	Cs	Ck	
1	7.7	13.6	175	167.3	14.13	103.67	11.02	126.53	0.99ns
2	7.4	13.7	42	34.6	4.86	35.58	3.45	16.83	0.69*
3	5.8	15.2	29	23.2	4.22	27.75	0.65	1.33	0.96*
4	0.0	23.2	82	82.0	11.34	48.91	1.99	8.17	0.85*
5	3.4	7.1	25	21.6	2.97	41.61	2.95	13.74	0.76*
6	5.8	10.7	31	25.2	4.02	37.78	2.65	9.76	0.76*
7	5.2	9.6	19	13.8	2.40	24.86	0.89	1.75	0.95*
8	7.8	11.7	16	8.2	1.93	16.49	0.08	-0.66	0.97ns
9	10.0	24.4	48	38.0	8.45	34.68	1.05	0.94	0.92*
10	18.0	28.6	65	47.0	8.25	28.85	2.27	7.36	0.83*
11	23.0	40.9	68	45.0	9.61	23.50	0.62	0.39	0.97*
12	15.0	21.2	41	26.0	5.12	24.10	2.30	5.84	0.74*
13	10.0	23.2	126	116.0	13.60	58.75	3.81	21.13	0.66*
Profundidade 0,15 – 0,30 m									
1	5.0	16.7	35.0	30.0	4.89	29.33	0.72	1.19	0.96*
2	8.4	16.1	39.0	30.6	6.49	40.36	1.49	2.03	0.85*
3	8.1	21.4	43.0	34.9	6.79	31.79	1.16	1.64	0.91*
4	0.0	16.0	45.0	45.0	6.36	39.68	1.75	7.62	0.83*
5	3.4	10.0	29.0	25.6	4.54	45.58	1.70	3.76	0.86*
6	7.3	18.6	51.0	43.7	7.88	42.33	1.19	2.42	0.92*
7	4.3	11.0	21.0	16.7	2.91	26.51	0.55	0.64	0.97*
8	8.3	14.1	23.0	14.7	3.20	22.69	0.58	-0.04	0.96*
9	15.0	35.0	78.0	63.0	13.05	37.26	0.94	0.94	0.94*
10	13.0	35.5	95.0	82.0	16.79	47.31	1.51	2.76	0.87*
11	24.0	53.6	91.0	67.0	13.77	25.69	0.26	-0.27	0.99ns
12	22.0	33.1	54.0	32.0	7.56	22.85	0.80	0.57	0.94*

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

Assim como ocorreu para o teor de K, não foi possível determinar o modelo matemático nem os parâmetros do semivariograma para nenhuma das áreas em nenhuma das duas profundidades amostradas.

O teor de MO das áreas de estudo encontra-se médio em todas as áreas para a profundidade de 0 a 0,15 m, sendo que a média de todas as áreas está em 3.07 %, de acordo com Comissão..., (2016), o recomendado seria em torno de 5 % ou acima. Já para a camada de 0,15 m a 0,30 m na maioria das lavouras avaliadas o teor de MO encontrasse baixo.

O CV para o teor de MO foi classificado de baixo a moderado em ambas as profundidades amostradas. Nas duas profundidades os coeficientes de assimetria e curtose apontam assimetria e negativa, com a maior frequência dos dados ocorrendo com valores abaixo da média. Diversos autores encontraram baixa a moderada variabilidade dos teores de matéria orgânica (ZANÃO JUNIOR, et al., 2010; DALCHIAVON, et al., 2012; CORRÊA, et al., 2017). O teste W confirmou a normalidade dos dados apenas para 3 áreas na primeira profundidade amostrada, e em 2 na segunda camada (Tabela 13).

Tabela 13 - Estatística descritiva do teor de matéria orgânica das áreas de estudo para as profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade 0 – 0,15 m					Parâmetros ⁽¹⁾				
Área	Valores (%)			Amplitude	DP	Coeficientes			Teste W ⁽²⁾
	Mínimo	Médio	Máximo			CV	Cs	Ck	
1	1.5	2.8	4.0	2.5	0.42	14.90	0.01	0.48	0.18*
2	1.7	2.8	3.6	1.9	0.40	14.24	-0.52	0.30	0.97ns
3	1.4	2.6	3.5	2.1	0.45	17.02	-0.27	-0.49	0.98ns
4	1.3	2.3	3.5	2.2	0.35	15.36	0.43	1.57	0.97*
5	2.1	3.1	3.9	1.8	0.38	12.43	-0.53	0.10	0.97*
6	1.4	3.0	3.6	2.2	0.32	10.65	-2.43	10.69	0.78*
7	1.3	3.6	4.6	3.3	0.54	15.22	-1.64	4.29	0.87*
8	1.7	3.2	3.9	2.2	0.41	12.82	-0.83	2.01	0.95*
9	2.3	3.1	4.1	1.8	0.35	11.08	0.68	0.73	0.95*
10	2.0	3.5	4.8	2.8	0.48	13.67	-0.66	2.06	0.94*
11	1.9	4.1	5.5	3.6	0.79	19.16	-0.54	-0.15	0.97*
12	1.6	2.7	3.9	2.3	0.43	15.96	0.15	0.83	0.98ns
13	0.7	3.1	4.2	3.5	0.41	13.51	-0.89	5.70	0.93*
Profundidade 0,15 – 0,30 m									
Área	Valores (%)			Amplitude	DP	Coeficientes			Teste W ⁽²⁾
	Mínimo	Médio	Máximo			CV	Cs	Ck	
1	1.2	2.2	2.9	1.7	0.32	15.04	-0.62	0.62	0.96*
2	1.3	2.1	3.1	1.8	0.32	15.04	-0.01	1.64	0.95*
3	1.1	2.1	2.9	1.8	0.39	18.23	-0.55	-0.22	0.96*
4	2.1	3.0	3.7	1.6	0.37	12.51	-0.04	-0.45	0.98ns
5	1.5	2.5	3.6	2.1	0.38	15.27	-0.50	0.41	0.95*
6	0.9	2.3	2.8	1.9	0.31	13.07	-2.25	8.34	0.81*
7	0.6	2.7	3.4	2.8	0.48	17.55	-2.19	6.17	0.79*
8	1.4	2.4	2.8	1.4	0.24	9.94	-1.40	4.20	0.89*
9	1.8	2.4	3.1	1.3	0.30	12.25	0.38	0.04	0.96*
10	1.3	2.5	3.6	2.3	0.43	16.83	-0.68	1.06	0.94*
11	1.3	3.5	4.8	3.5	0.72	20.84	-0.84	0.55	0.95*
12	1.2	2.1	2.8	1.6	0.33	15.54	-0.41	0.05	0.97ns

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

Com a análise geoestatística do teor de MO das áreas de estudo, podemos observar que 64,3 % das áreas estudadas apresentam dependência espacial dos dados, sendo possível identificar o modelo matemático e os parâmetros do semivariograma na camada de 0 a 0,15 m, e para a camada de 0,15 m a 0,30 m em 50 % das áreas. Os modelos matemáticos ajustados para as áreas de estudo variaram entre esférico e exponencial, sendo o grau de dependência espacial classificados em forte a moderado (Tabela 14). Zañón Junior, et al., (2007), também verificaram dependência espacial para o teor de MO em Latossolo Vermelho cultivado sob semeadura direta.

Tabela 14 - Geoestatística e parâmetros do semivariograma para o teor de matéria orgânica das áreas de estudo para as profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade de 0 – 0,15 m									
Área	n ⁽¹⁾	Efeito Pepita	Patamar	Contribuição	Alcance (m)	Modelo	r ²	Dependência Espacial	
								IDE ⁽²⁾	GDE ⁽³⁾
1	142	0.151	0.607	0.455	396.2	ESFERICO	99.96	24.97	FORTE
2	73	EPP	–	–	–	–	–	–	–
3	105	0.005	0.118	0.113	562.2	ESFERICO	97.61	3.91	FORTE
4	86	0.065	0.337	0.271	569.6	ESFERICO	92.65	19.41	FORTE
5	74	0.094	0.693	0.600	286.7	EXPONENCIAL	99.61	13.54	FORTE
6	82	0.049	0.931	0.882	708.8	EXPONENCIAL	89.29	5.23	FORTE
7	133	0.122	0.328	0.205	555.8	ESFERICO	99.86	37.28	MODERADO
8	60	0.066	0.135	0.069	369.1	ESFERICO	86.38	49.06	MODERADO
9	70	0.086	0.745	0.658	365.6	EXPONENCIAL	95.5	11.61	FORTE
10	58	0.026	0.455	0.429	442.8	EXPONENCIAL	89.38	5.72	FORTE
11	92	EPP	–	–	–	–	–	–	–
12	50	EPP	–	–	–	–	–	–	–
13	185	EPP	–	–	–	–	–	–	–
Profundidade de 0,15 – 0,30 m									
1	142	0.094	4.621	4.527	959.2	ESFERICO	99.45	2.04	FORTE
2	73	EPP	–	–	–	–	–	–	–
3	105	0.007	0.137	0.129	633.6	ESFERICO	94.49	5.45	FORTE
4	86	EPP	–	–	–	–	–	–	–
5	74	0.101	0.374	0.274	405.6	ESFERICO	97.58	26.95	MODERADO

6	82	0.005	0.585	0.580	389.9	EXPONENCIAL	99.45	0.88	
7	133	0.059	0.242	0.183	1048.7	ESFERICO	98.11	24.37	FORTE
8	60	EPP	–	–	–	–	–	–	–
9	70	0.053	0.724	0.671	584.8	EXPONENCIAL	97.77	7.32	FORTE
10	58	EPP	–	–	–	–	–	–	–
11	92	EPP	–	–	–	–	–	–	–
12	50	EPP	–	–	–	–	–	–	–

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

Para os teores de P nas áreas estudadas o coeficiente de variação encontrou-se de médio a alto nas duas camadas amostradas. Seu teor foi classificado como alto na camada de 0 a 0.15 m, e médio na camada de 0.15 m a 0.30 m. A dependência espacial foi observada apenas para uma das áreas na primeira camada de amostragem, e em 3 áreas para a segunda camada amostrada. O coeficiente de variação para o teor de K para todas as áreas avaliadas, foi classificado de moderado a alto nas duas profundidades de amostragem.

O teor de S teve seu coeficiente de variação em todas as áreas, classificado como alto em ambas as camadas amostradas. Sua classe de disponibilidade no solo está classificada como alta nas duas profundidades de amostragem.

Em todas as áreas na camada de amostragem de 0 a 0.15 m o teor de MO foi classificado como médio, já para a camada de 0.15 m a 0.30 m estava baixo. O coeficiente de variação para o teor matéria orgânica das áreas de estudo, foi classificado de baixo a moderado nas duas profundidades de amostragem. Em 64,3 % das áreas foi encontrado dependência espacial dos teores de MO na camada de 0 a 0.15 m, já na camada de 0.15 m a 0.30 m, este efeito foi observado em 50 % das áreas.

4.3 ESTUDO EXPLORATÓRIO DOS TEORES DE BORO, MANGANÊS, ZINCO E COBRE

O teor de zinco das áreas de estudo encontra-se alto para ambas as camadas, sendo na média de todas as áreas 2,8 mg dm⁻³ e 2,18 mg dm⁻³ para as camadas de amostragem de 0 a 0,15 m e 0,15 m a 0,30 m respectivamente, as duas camadas apresentaram coeficiente de variação altos (Tabela 15). Zanão Junior, et al., (2010), também observaram este comportamento ao teor de zinco no solo, onde a maior quantidade encontra-se na camada superficial do solo, atribuindo a maior presença de MO na mesma camada, visto que a MO é a principal fonte do nutriente para as plantas. O teste W descartou a hipótese de distribuição

normal dos dados para todas as áreas na profundidade de 0 a 0,15m, para a camada de 0,15 m a 0,30 m apenas a área 9 apresentou distribuição normal dos dados.

Tabela 15 - Estatística descritiva do teor de zinco das áreas de estudo na profundidade de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade 0 – 0,15 m					Parâmetros ⁽¹⁾				
Área	Valores (mg dm ³)			Amplitude	DP	Coeficientes			Teste W ⁽²⁾
	Mínimo	Médio	Máximo			CV	Cs	Ck	
1	1.4	2.9	7.1	5.7	0.89	30.47	1.56	4.26	0,82*
2	0.6	1.5	4.0	3.4	0.68	46.35	2.01	4.22	0,78*
3	0.9	1.9	6.7	5.8	0.81	43.31	2.41	10.79	0,82*
4	1.1	4.3	91.0	89.9	10.16	237.41	7.78	65.81	0,24*
5	2.2	5.1	48.0	45.8	5.08	100.35	6.84	52.13	0,34*
6	0.8	3.3	39.0	38.2	4.60	137.83	6.40	47.65	0,37*
7	0.7	1.7	4.7	4.0	0.73	43.46	1.70	3.92	0,86*
8	1.4	2.3	7.2	5.8	1.08	46.43	3.29	12.08	0,54*
9	1.7	3.1	8.2	6.5	1.19	38.92	2.15	5.51	0,78*
10	0.4	1.4	4.2	3.8	0.52	37.88	3.19	16.31	0,73*
11	1.6	5.5	18.0	16.4	2.24	40.64	1.98	9.37	0,87*
12	0.8	1.8	6.5	5.7	0.88	49.35	3.45	17.48	0,70*
13	0.8	1.7	5.6	4.8	0.73	43.27	2.46	8.23	0,78*
Profundidade 0,15 – 0,30 m									
1	0.9	1.7	6.4	5.5	0.78	45.93	2.95	12.38	0,73*
2	0.5	1.0	3.0	2.5	0.56	54.50	2.40	5.54	0,68*
3	0.6	1.2	2.5	1.9	0.48	40.87	1.22	0.89	0,87*
4	1.1	4.6	70.0	68.9	7.58	166.35	7.98	68.76	0,26*
5	1.5	5.7	63.0	61.5	8.42	146.88	5.24	30.65	0,42*
6	0.4	2.7	46.0	45.6	5.69	209.82	6.29	44.76	0,33
7	0.4	1.4	6.9	6.5	0.80	59.16	3.51	18.28	0,69*
8	0.6	0.9	2.2	1.6	0.32	33.94	2.17	5.69	0,64*
9	0.8	1.6	5.6	4.8	0.96	60.74	2.78	8.01	0,97ns
10	0.4	0.7	2.8	2.4	0.45	64.95	3.47	12.82	0,54*
11	1.2	3.5	11.0	9.8	1.71	48.68	1.95	6.37	0,84*
12	0.5	1.2	2.6	2.1	0.53	43.61	1.08	0.61	0,90*

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

Com base na análise geoestatística do teor de zinco das áreas de estudo (Tabela 16) foram encontrados dependência espacial em 30,8 % das áreas na camada de 0 a 0,15 m, e em 33,3 % das áreas na camada de 0,15 m a 0,30 m, sendo que o grau de dependência espacial variou entre fraco, moderado e forte. Destas áreas onde se observou dependência espacial, os modelos matemáticos que melhor se ajustaram foram o esférico e o exponencial. Zanão Junior, et al., (2010), encontraram dependência espacial para o teor de Zn nas camadas superficiais do solo, onde o modelo exponencial foi o que melhor se ajustou. Já para Couto e Klamt (1999), estudando áreas com características diferentes, o modelo que melhor se ajustou foi o gaussiano.

Tabela 16 - Análise geoestatística e parâmetros do semivariograma do teor de zinco das áreas de estudo na profundidade de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade 0 – 0,15 m									
Área	n ⁽¹⁾	Efeito Pepita	Patamar	Contribuição	Alcance (m)	Modelo	r ²	Dependência Espacial IDE ⁽²⁾	GDE ⁽³⁾
1	142	0.415	0.454	0.039	552.6	ESFERICO	97.1	91.42	FRACO
2	73	EPP	–	–	–	–	–	–	–
3	105	EPP	–	–	–	–	–	–	–
4	86	EPP	–	–	–	–	–	–	–
5	74	EPP	–	–	–	–	–	–	–
6	82	EPP	–	–	–	–	–	–	–
7	133	0.028	0.338	0.310	639.6	EXPONENCIAL	97.3	8.30	FORTE
8	60	0.050	0.255	0.205	369.1	EXPONENCIAL	96.5	19.69	FORTE
9	70	EPP	–	–	–	–	–	–	–
10	58	0.102	0.159	0.057	359.1	ESFERICO	91.4	63.98	MODERADO
11	92	EPP	–	–	–	–	–	–	–
12	50	EPP	–	–	–	–	–	–	–
13	185	EPP	–	–	–	–	–	–	–
Profundidade 0,15 m – 0,30 m									
1	142	0.258	0.294	0.037	479.6	ESFERICO	97.6	87.57	FRACO
2	73	EPP	–	–	–	–	–	–	–
3	105	0.156	0.913	0.758	883.4	EXPONENCIAL	91.8	17.07	FORTE
4	86	EPP	–	–	–	–	–	–	–
5	74	EPP	–	–	–	–	–	–	–
6	82	EPP	–	–	–	–	–	–	–
7	133	0.380	0.428	0.048	639.6	ESFERICO	99.9	88.74	FRACO
8	60	EPP	–	–	–	–	–	–	–
9	70	0.414	0.431	0.016	365.6	ESFERICO	100.0	96.25	FRACO
10	58	EPP	–	–	–	–	–	–	–
11	92	EPP	–	–	–	–	–	–	–

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

O teor de cobre (Cu) encontra-se alto em todas as áreas estudadas, bem como para as duas profundidades de amostragem, semelhante ao encontrado por Silva et al., (2010). O coeficiente de variação encontrado ficou de médio a alto (Tabela 17). Outros autores também encontraram CV médios para o teor de Cu no solo (ZANÃO JUNIOR, et al., 2010; SCHLINDWEIN & ANGHIONI, 2000; SILVA, et al., 2002). O teste W revelou normalidade dos dados apenas para uma das áreas na profundidade de 0 a 0,15 m.

Tabela 17 - Estatística descritiva do teor de cobre nas áreas de estudo nas profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade 0 – 0,15 m					Parâmetros ⁽¹⁾				
Área	Valores (mg dm ³)			Amplitude	DP	Coeficientes			Teste W ⁽²⁾
	Mínimo	Médio	Máximo			CV	Cs	Ck	
1	3.5	6.5	13.0	9.5	1.83	28.28	1.02	1.19	0,91*
2	3.1	9.3	27.0	23.9	5.06	54.57	1.57	2.31	0,84*
3	1.2	3.4	13.0	11.8	1.97	58.10	2.24	6.08	0,76*
4	2.2	5.6	15.0	12.8	2.52	44.99	1.69	3.30	0,84*
5	2.7	5.2	11.0	8.3	1.69	32.24	1.30	1.38	0,87*
6	4.9	7.5	14.0	9.1	1.93	25.91	1.35	1.56	0,88*
7	2.6	4.7	8.6	6.0	1.23	26.48	0.83	0.33	0,95*
8	1.5	4.2	9.0	7.5	1.56	36.80	0.93	0.98	0,91*
9	3.0	6.7	13.0	10.0	2.29	34.14	0.94	0.62	0,93 ^{ns}
10	2.8	6.0	14.0	11.2	2.60	43.05	1.37	1.70	0,87*
11	4.1	7.8	12.0	7.9	1.89	24.22	0.13	-0.47	0,98*
12	4.0	6.1	14.0	10.0	1.70	28.02	2.97	11.05	0,69*
13	2.1	4.3	16.0	13.9	2.19	50.98	3.07	11.83	0,68*
Profundidade 0,15 – 0,30 m									
1	1.3	7.2	16.0	14.7	2.41	33.24	0.81	0.85	0,95*
2	3.1	10.1	29.0	25.9	5.99	59.22	1.56	1.86	0,81*
3	1.4	4.0	17.0	15.6	2.40	60.52	2.51	8.34	0,73*
4	1.8	4.6	15.0	13.2	2.09	45.18	2.03	6.48	0,83*
5	2.9	5.8	14.0	11.1	2.04	35.26	1.82	3.72	0,82*
6	5.4	8.4	17.0	11.6	2.50	29.88	1.34	1.40	0,86*
7	3.0	5.3	10.0	7.0	1.53	28.80	1.11	0.91	0,91*
8	1.8	4.6	9.6	7.8	1.52	33.18	1.05	1.69	0,95*
9	4.0	7.4	15.0	11.0	2.52	33.86	1.01	0.68	0,92*
10	3.7	7.2	18.0	14.3	3.33	45.91	1.56	2.51	0,848*
11	3.6	8.4	14.0	10.4	2.07	24.73	0.24	-0.20	0,99 ^{ns}

12 4.9 6.7 18.0 13.1 2.01 29.87 4.38 22.73 0,54*
13

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

Em nenhuma das profundidades amostradas foi encontrado dependência espacial dos dados para o teor de Cu das áreas de estudo. Couto e Klamt (1999), também não encontraram dependência espacial para o Cu na profundidade de 0 a 0,20 m, encontrando apenas na profundidade de 0,20 m a 0,40 m.

Com relação ao teor de boro (B), podemos observar na tabela 18, que na média todas as áreas nas duas profundidades apresentam um teor adequado, sendo que o nível crítico de boro no solo é $0,3 \text{ mg dm}^{-3}$ (Comissão..., 2016). Foi encontrado coeficientes de variação de médios a altos para o teor de B nas áreas de estudo, semelhante ao encontrado por outros autores estudando a variabilidade espacial de micronutriente no solo (ZANÃO JUNIOR, et al., 2007),

A maioria das áreas apresentaram coeficiente de assimetria negativo, e não normalidade dos dados para nenhuma área na profundidade de amostragem de 0 a 0,15 m, e normalidade dos dados apenas em uma área na profundidade de 0,15 m a 0,30 m (Tabela 18).

Tabela 18. Estatística descritiva do teor de boro nas áreas de estudo nas profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade 0 – 0,15 m	Parâmetros ⁽¹⁾								
	Valores (mg dm^{-3})				Amplitude	DP	Coeficientes		
Área	Mínimo	Médio	Máximo	CV			Cs	Ck	
1	0.3	0.7	1.1	0.8	0.13	17.38	-0.02	0.51	0,59*
2	0.2	0.4	0.5	0.3	0.06	16.54	-0.28	-0.49	0,75*
3	0.3	0.5	0.7	0.4	0.08	16.71	-0.03	0.32	0,85*
4	0.0	0.6	0.8	0.8	0.13	24.52	-1.74	5.51	0,42*
5	0.4	0.6	0.9	0.5	0.09	14.79	1.11	1.82	0,81*
6	0.2	0.4	0.5	0.3	0.07	16.94	-0.46	0.77	0,79*
7	0.1	0.5	0.8	0.7	0.12	24.34	0.03	0.24	0,93*
8	0.1	0.6	0.8	0.7	0.14	23.78	-1.14	1.88	0,45*
9	0.3	0.5	0.8	0.5	0.09	18.50	0.85	2.27	0,85*
10	0.4	0.6	0.8	0.4	0.09	16.20	0.12	-0.12	0,89*

11	0.1	0.9	1.4	1.3	0.23	26.76	-0.61	0.82	0,96*
12	0.4	0.6	0.8	0.4	0.08	13.54	0.08	-0.04	0,87*
13	0.2	0.5	0.8	0.6	0.12	22.51	0.10	0.24	0,93*
Profundidade 0,15 – 0,30 m									
1	0.3	0.6	0.8	0.5	0.11	20.33	-0.02	-0.09	0,93*
2	0.2	0.3	0.6	0.4	0.07	24.77	1.22	4.43	0,75*
3	0.2	0.4	0.6	0.4	0.09	22.22	-0.21	-0.61	0,88*
4	0.0	0.6	0.9	0.9	0.17	26.91	-1.55	3.97	0,85*
5	0.3	0.5	1.0	0.7	0.09	19.17	1.52	5.30	0,81*
6	0.1	0.3	0.5	0.4	0.08	25.35	-0.57	0.77	0,85*
7	0.2	0.4	0.8	0.6	0.12	27.38	0.03	0.00	0,93*
8	0.1	0.5	0.7	0.6	0.11	22.53	-0.80	1.55	0,99ns
9	0.1	0.4	0.7	0.6	0.10	23.93	-0.15	1.52	0,89*
10	0.2	0.5	0.7	0.5	0.10	21.30	-0.73	1.16	0,86*
11	0.2	0.8	1.2	1.0	0.22	26.74	-0.91	0.65	0,92*
12	0.4	0.5	0.7	0.3	0.08	16.34	0.21	-0.89	0,85*
13									

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

A partir da análise geoestatística do teor de boro (Tabela 19), podemos observar dependência espacial em 45,15 % das áreas estudadas na profundidade de 0 a 0,15 m e em 50 % das áreas na profundidade de 0,15 m a 0,30 m, sendo o modelo matemático que mais se ajustou foi o exponencial, seguido pelo esférico. Zañón Junior, et al., (2007), também encontraram os modelos matemáticos exponencial e esférico explicando a variabilidade espacial dos teores de B em Latossolo Vermelho sob semeadura direta. Couto e Klamt (1999), não encontraram dependência espacial de B em seu estudo da variabilidade espacial de micronutrientes no Estado de Mato Grosso.

Tabela 19 - Análise geoestatística e parâmetros do semivariograma dos valores de boro das áreas de estudo na profundidade de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade 0 – 0,15 m									
Área	n ⁽¹⁾	Efeito Pepita	Patamar	Contribuição	Alcance (m)	Modelo	r ²	Dependência Espacial	
								IDE ⁽²⁾	GDE ⁽³⁾
1	142	0.009	1.084	1.075	959.2	EXPONENCIAL	99.6	0.81	FORTE
2	73	EPP	–	–	–	–	–	–	–
3	105	0.003	3.166	3.163	562.2	ESFERICO	97.1	0.10	FRACO

4	86	0.006	0.999	0.993	651.0	EXPONENCIAL	99.1	0.61	MODERADO
5	74	0.005	4.259	4.255	692.4	ESFERICO	93.3	0.11	FRACO
6	82	0.002	3.019	3.017	389.9	ESFERICO	98.2	0.06	FRACO
7	133	EPP	-	-	-	-	-	-	-
8	60	EPP	-	-	-	-	-	-	-
9	70	EPP	-	-	-	-	-	-	-
10	58	EPP	-	-	-	-	-	-	-
11	92	EPP	-	-	-	-	-	-	-
12	50	EPP	-	-	-	-	-	-	-
13	185	0.002	0.981	0.980	562.0	ESFERICO	99.1	0.17	FRACO

Profundidade 0,15 – 0,30 m

1	142	0.008	1.174	1.166	959.2	EXPONENCIAL	97.67	0.67	FORTE
2	73	EPP	-	-	-	-	-	-	-
3	105	0.00348	1.197	1.19348	803.1	EXPONENCIAL	98.61	0.29	FRACO
4	86	0.00724	0.909	0.901638	732.3	EXPONENCIAL	97.9	0.80	FORTE
5	74	0.00464	1.159	1.15416	699.3	EXPONENCIAL	94.05	0.40	MODERADO
6	82	0.00399	1.212	1.20795	701.8	EXPONENCIAL	94.43	0.33	FRACO
7	133	EPP	-	-	-	-	-	-	-
8	60	EPP	-	-	-	-	-	-	-
9	70	EPP	-	-	-	-	-	-	-
10	58	0.00285	0.943	0.94039	508.7	EXPONENCIAL	98.28	0.30	FRACO
11	92	EPP	-	-	-	-	-	-	-
12	50	EPP	-	-	-	-	-	-	-

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

O teor de manganês (Mn) para todas as áreas amostradas apresenta-se alto nas duas profundidades de coleta, estando na média acima do teor crítico de 5 mg dm⁻³ recomendados para região (Comissão..., 2016). O CV encontra-se alto para o teor de Mn em todas as áreas do estudo (Tabela 20). Chaves e Farias (2009), também observaram CV classificados como altos para o teor de Mn no solo, já Zanão Junior, et al., (2007) encontraram CV médio.

Tabela 20 - Estatística descritiva do teor de manganês nas áreas de estudo nas profundidades de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Profundidade 0 – 0,15 m					Parâmetros ⁽¹⁾				
Área	Valores (mg dm ³)			Amplitude	DP	Coeficientes			Teste W ⁽²⁾
	Mínimo	Médio	Máximo			CV	Cs	Ck	
1	3.0	23.9	59.0	56.0	10.00	41.88	0.51	0.82	0,98*
2	5.0	22.1	45.0	40.0	9.53	43.18	0.43	-0.15	0,97ns
3	7.0	26.8	57.0	50.0	9.23	34.43	0.69	1.24	0,96*
4	12.0	41.4	121.0	109.0	19.59	47.29	1.82	4.65	0,86*

5	1.0	6.7	40.0	39.0	5.84	87.51	2.45	8.36	0,76*
6	12.0	26.7	55.0	43.0	9.51	35.62	1.00	0.69	0,92*
7	7.0	27.0	60.0	53.0	11.12	41.22	0.61	0.37	0,97*
8	11.0	31.1	49.0	38.0	8.46	27.18	-	-0.20	0,99ns
9	14.0	44.0	118.0	104.0	18.81	42.71	1.10	2.38	0,94*
10	30.0	47.3	65.0	35.0	8.99	19.00	0.03	-0.47	0,98ns
11	22.0	85.6	207.0	185.0	35.01	40.92	0.69	0.43	0,96*
12	11.0	35.6	71.0	60.0	14.88	41.82	0.38	-0.69	0,96ns
13	3.0	14.3	41.0	38.0	8.03	56.38	1.26	1.14	0,88*
Profundidade 0,15 – 0,30 m									
1	3.0	32.2	78.0	75.0	15.78	49.07	0.54	0.32	0,97*
2	5.0	24.6	62.0	57.0	13.35	54.25	0.85	0.36	0,94*
3	9.0	39.6	101.0	92.0	18.39	46.46	1.28	1.90	0,90*
4	9.0	28.4	58.0	49.0	9.01	31.67	0.62	0.78	0,97*
5	1.0	10.5	75.0	74.0	10.21	97.12	3.75	17.63	0,62*
6	11.0	36.1	83.0	72.0	14.85	41.17	0.88	0.32	0,94*
7	9.0	38.6	77.0	68.0	13.85	35.92	0.27	-0.30	0,99ns
8	12.0	35.9	66.0	54.0	11.37	31.70	0.75	0.77	0,98ns
9	10.0	46.7	97.0	87.0	23.02	49.30	0.52	-0.59	0,95*
10	17.0	45.1	84.0	67.0	13.53	30.01	0.59	1.24	0,96*
11	23.0	73.5	137.0	114.0	25.09	34.11	0.39	-0.11	0,98ns
12	14.0	39.1	73.0	59.0	13.87	35.44	0.34	-0.37	0,98ns
13									

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

Assim como o observado para o teor de cobre, não foi possível determinar a dependência espacial dos dados para nenhuma das áreas em nenhuma das duas camadas de amostragem. Ao contrário do encontrado por outros autores (CHAVES; FARIAS, 2009; ZANÃO JUNIOR, et al., 2007; BERTOLANI; VIEIRA, 2001), onde verificaram dependência espacial para este atributo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A correção do solo com a utilização de estratégias de AP, como por exemplo, a aplicação de fertilizantes a taxa variável, vem trazendo benefícios ao longo dos anos, como

o aumento dos teores de nutrientes no solo. No presente trabalho verificamos a partir das áreas amostradas, que os teores de Ca, Mg, P, K, B, Cu, Z e Mn se encontram altos em todas as áreas em ambas as camadas amostradas, sendo que na camada de 0,15 a 0,30 m pôde-se notar uma significativa redução de seus teores. O pH e V % encontra-se de médio à baixo na maioria das áreas estudadas (COMISSÃO..., 2016).

Com base nos dados destaca-se a importância de estruturar um planejamento estratégico para correção da fertilidade do solo ao longo do tempo, pois mesmo em áreas que vem sendo manejadas com ferramentas de AP, apesar da baixa variabilidade espacial nos valores de pH, encontramos moderada a alta variabilidade para os teores de saturação por bases, Ca e Mg. Os valores de pH em água apresentaram menor variabilidade, entretanto seus valores médios dentro das áreas estão baixos, o que para culturas mais exigentes em pH podem começar a diminuir o potencial produtivo. O aumento da produtividade ao longo dos últimos anos e aumento do aporte de fertilizantes no solo, contribui para a grande variação do pH de ano para ano (SOUZA, et al., 2010), diminuindo também o tempo entre as novas calagens.

O teor de saturação por bases levando em conta a média de todas as áreas, encontra-se baixo, sua variabilidade é função da variabilidade dos teores de Ca, Mg e K. Os teores de Ca e Mg apesar de apresentarem alta variabilidade ao longo das áreas estudadas, encontram-se em níveis altos em todas as áreas. Uma alternativa para este comportamento, pode partir da principal fonte de Ca e Mg aplicadas a lavoura, o calcário, pois além de seu benefício de corrigir o pH do solo, é uma importante fonte destes elementos (MARIA, et al., 1993). Entretanto sua composição não é uniforme, principalmente no seu material de origem, sendo assim ao mesmo tempo que corrige o pH e fornece Ca e Mg, contribui para o aumento da variabilidade dos teores destes elementos no solo.

A variabilidade espacial foi considerada baixa a moderada, para os valores de pH e teores de magnésio (Mg) e alta para os teores de V % e de cálcio (Ca). Na profundidade de 0 a 0,15 m, os teores apresentaram-se médios para MO e altos para o P, K e S, sendo que na profundidade de 0,15 a 0,30 m estavam altos para o K e S, médios para o P e baixo para MO.

O teor de Zn, Cu, B e Mn encontram-se altos em todas as áreas nas duas profundidades amostradas. O CV foi classificado como alto para todos os micronutrientes avaliados, bem como nas duas profundidades amostradas, sendo que para o Cu e B algumas áreas tiveram seu CV classificado como moderado.

A dependência espacial pôde ser determinada para algumas áreas, sendo classificada de acordo com o grau de dependência espacial (GDE) em forte, moderada e fraca. Os atributos que apresentaram dependência espacial foram, o pH em água, Ca, Mg, P, MO, Zn e o B. Os demais atributos que não foi possível determinar sua dependência espacial, pode estar relacionado ao alcance mínimo utilizado para coleta dos dados, que no caso foi 100 m, devido a grade de coleta ser dividida em um ponto de coleta por hectare. Pois de acordo com Cherubin (2012), malhas amostrais de 100 m x 100 m ou maiores podem não proporcionar a determinação da dependência espacial para alguns atributos do solo em lavouras comerciais do Rio Grande do Sul.

Outro ponto que favorece a manutenção da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo é a exportação dos nutrientes na ocasião da colheita, tanto para grãos como para produção de forragem. Sendo assim a AP é uma importante ferramenta no manejo sustentável dos meios de produção, visto que os investimentos realizados para se obter as informações, se diluem ao longo do tempo, na otimização dos insumos aplicados e a melhoria das condições de qualidade do solo, proporcionando um ambiente mais favorável na busca de altas produtividades.

Como sugestões para trabalhos futuros, destaca-se a necessidade de um acompanhamento mais detalhado da evolução da variabilidade dos atributos químicos do solo ao longo do tempo, juntamente com o que vem sendo realizado em relação a evolução dos teores dos nutrientes no solo, visando aumentar a quantidade de informação bem como as discussões em busca de melhorar o retorno econômico dos investimentos em correção da fertilidade, bem como a sustentabilidade dos fatores de produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T. J. C., SANTI, A. L. **Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento de manejo de solo**. In: FIORIN, J. E. (Ed.). Manejo do solo no sistema plantio direto. Passo Fundo, Berthier, p. 99-144, 2007.

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 Ciências do Solo**, v. 33, n. 4, Viçosa, jul./ago., 2009.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. Alterações de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.4, p.695-702, 2001.

ANTUNIASSI, U.R.; BAILO, F.H.R; SHARP, T.C. **Agricultura de Precisão**. In: ABRAPA – Associação Brasileiro dos Produtores de Algodão. (Org.). Algodão no Cerrado do Brasil. Brasília: Eleusio Curvelo Freire, 3^aed. 2015, p. 767-806.

ARAÚJO, J. C; VETTORAZZI, C. A; MOLIN, J. P. Estimativa da produtividade e determinação de zonas de manejo, em culturas de grãos, por meio de videografia aérea multiespectral. **Acta Scientia Agrônômica**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 437-447, Jul/Set., 2005.

AUGUSTO, T. **Uso de drones cresce dentro de vários segmentos empresariais**. 2018. Disponível em: <https://www.google.com/amp/s/veja.abril.com.br/economia/mercado-dedrones-cresce-dentro-do-setor-empresarial/amp/>. Acesso em: 02 de Abril de 2020.

BERNARDI, A. C. C.; INAMASU, R. Y. Adoção da agricultura de precisão no Brasil. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 559-577.

BERNARDI, A. C. C; BETTIOL, G. M; GREGO, C. R; ANDRADE, R. G; RABELLO, L. M; INAMASU, R. Y. Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo. **Caderno de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 205-221, jan./ago. 2015.

BERTOLANI, F. C.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 04, p. 987-995, 2001.

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

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura de Precisão**. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Brasília: MAPA/ACS, 2013. p.36.

BREDEMEIER, C; VARIANI, C; ALMEIDA, D; ROSA, A. T. Estimativa do potencial produtivo em trigo utilizando sensor óptico ativo para adubação nitrogenada em taxa variável. **Ciência Rural**, Santa Maria, Maio, 2013.

BREDEMEIER, C; VIAN, A. L; PIRES, J. L. F; Aplicação de nitrogênio em tempo real: modelos de aplicação. In: SANTI, A. L; GIOTTO, E; SEBEM, E; AMADO, T. J. C. **Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. CESPOL, Santa Maria, ed. 1, 2016.

BREMM, C; BREDEMEIER, C; OLIVEIRA, C. A. O; JUNGES, A. H; SILVA, C. S; CARVALHO, P. C. F. **Estimativa de forragem por sensor remoto ativo de superfície em pastagens naturais do Bioma Pampa**. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015.

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

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

CHAVES, L. H. G; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 211-218, abr./jun., 2009.

CHERUBIN, M. R. **Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização de atributos químicos em latossolos manejados com agricultura de precisão**. 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, Santa Maria - RS, 2013.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M. Dimensão de malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.50, n.2, p.168-177, fev. 2015.

Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul. 376 p., 2016.

CORRÊA, M. F; NAVROSKI, R; GOMES, A. D; GAZZOLA NETO, A; NADAL, A. P; FLORES, J. H. N; VERGARA, R. O; GADOTTI, G. I; SCHUCH, L. O. B. Variabilidade espacial dos atributos químicos e agronômicos do solo em campo de produção de sementes de trigo. **Sientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 16, n. 4, out./dez., p. 500-509, 2017.

COSTA, E. M; SILVA, H. F; RIBEIRO, P. R. A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1842, 2013.

COUTO, E. G. **Variabilidade espacial de propriedades do solo influenciadas pela agricultura em escala regional e local no sul do estado do Mato Grosso**. 1997. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

COUTO, E. G; KLAMT, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do Estado de Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 12, Brasília, Dez. 1999.

DALCHIANOV, 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.

DALCHIANOV, F. C; RODRIGUES, A. R; LIMA, E. S; LOVERA, L. H; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com soja sob plantio direto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.16, n.2, p.144-154, 2017.

DAMIAN, J. M; FORNARI, M; SANTI, A. L; PIAS, O. H. C; SILVA, D. A. A; FONSECA, A. Z; DAL BELLO, R. A. M; RONTANI, F. A; O uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS) na agricultura. In: SANTI, A. L; GIOTTO, E; SEBEM, E; AMADO, T. J. C. **Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. CESPOL, Santa Maria, ed. 1, 2016.

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

GIRARDELLO, V. C; AMADO, T. J. C; ALBA, P. J; TEIXEIRA, T. G. Benefícios do tráfego controlado de máquinas no Rio Grande do Sul. In: SANTI, A. L; GIOTTO, E; SEBEM, E; AMADO, T. J. C. **Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. CESPOL, Santa Maria, ed. 1, 2016.

GUERRA, A. J. T; BOTELHO, R, G, M. **Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 19, 1996.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; QUEIROS, L. R.; RESENDE, A. V.; VILELA, M. de F.; JORGE, L. A. C.; BASSOI, L. H.; PEREZ, N. B.; FRAGALLE, E. P. Agricultura de precisão para a sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 14-26.

ITARC. **História dos drones: como surgiram? Para que servem?**. 2018. Disponível em: <https://itarc.deorg/historia-dos-drones/>. Acessado em: 02 de Abril de 2020.

KUINCHTNER, A; BURIOL, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul, segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, Série: Ciências Exatas, Santa Maria, v.2, p. 171-181, 2001.

MALDANER, L. F; WEI, M. C. F; MOLIN, J. P. Agricultura de precisão: **Mapas de produtividade**. Boletim Técnico, n. 04, São Paulo, janeiro, 2019.

MARIA, I. C; ROSSETO, R; AMBROSANO, E. J; CASTRO, O. M. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo. **Ciência Agrícola**, Piracicaba, fev/maio, 1993.

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

MIRANDA, A. C. C; VERÍSSIMO, A. M; CEOLIN, A. C. Agricultura de precisão: Um mapeamento da base da Scielo. **Revista Gestão.Org**, v. 15, Edição Especial, 2017. p. 129-137.

MONTEZANO, Z. F; CORAZZA, E. J; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 30, n. 5, Viçosa, set/out., 2006.

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

PEREIRA, D. S. **DRONES** – A história por traz desta nova era tecnológica. 2017. Disponível em: <https://www.aerodronebrasil.com/2017/09/27/drones-historia-por-traz-destanova-era-tecnologica/>. Acesso em: 02 de Abril de 2020.

PRADO, R.M. **Nutrição de Plantas**. São Paulo: UNESP, 2008, 408p.

RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. S.; COELHO, A. M.; CORAZZA, E. J.; VILELA, M. de F.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; BASSOI, L. H.; NAIME, J. M. Agricultura de precisão no Brasil: avanços e impactos no manejo e na conservação do solo, na sustentabilidade e na segurança alimentar. In: LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. (Ed.). **Agricultura conservacionista no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 468-488

RESENDE, A. V; FONTOURA, S. M. V; BORGHI, E; SANTOS, F. C; KAPPES, C; MOREIRA, S. G; OLIVEIRA JUNIOR, A; BORIN, A. L. D. C. **Solo de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo**. Informações agrônômicas, nº 156, dezembro, 2016.

RICHTER, R. L; AMADO, T. J. C; FERREIRA, A. O; ALBA, P. J; HANSEL, F. D. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um latossolo sob plantio direto influenciados pelo relevo e profundidade de amostragem. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.13; 2011.

SANTI, A. L; GIOTTO, E; SEBEM, E; AMADO, T. J. C. **Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. CESPOL, Santa Maria, ed. 1, 2016.

SANTOS, A. C; OLIVEIRA, B. A; GOMES, I. F; GROFF, A. M. **Fatores e técnicas de produção e sua influência na produtividade e qualidade da soja**. ANAIS: XI Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial. UNESPAR *Campus* de Campo Mourão, 2017.

SANTOS, D. R; GATIBONI, L. C; KAMINKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, vol. 38, n. 2, Santa Maria, Mar/abr. 2008.

SCHLINDWEIN, J.A., ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.85-91, 2000.

SCHNUG, E.; HANEKLAUS, S.; LAMP, J. Continuous large scale yield mapping in oilseed rape fields and application of yield maps to CAF. **Oilseeds**, v. 9, p. 13-14, 1991.
SHAPIRO, S. S; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, v. 52, p.591-611, 1965.

SILVA, M.A.G. et al. Amostragem e variabilidade dos atributos do solo em área de soja sob plantio direto. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.24, n.5, p.1197-1204, 2002.

SILVA, S. A; LIMA, J. S. S; XAVIER, A. C; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, Viçosa, Jan./Fev. 2010.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 1013-1020, 2003.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 1013-1020, 2003.

SOUZA, L. H; NOVAIS, R. F; ALVAREZ, V. H; VILLANI, E. M. A. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, V. 34, n. 5, set./out., 2010.

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, p. 222, 2008.

TAIZ, L; ZIEGER, E; MOLLER, I. M; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre, Artmed, 6 ed. 2017.

VARANDA, M. A. F; MENEGON, M. Z; NASCIMENTO, V. L; CAPONE, A; BARROS, H. B. Efeitos da aplicação foliar de boro na produtividade de soja na várzea irrigada.

Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia, Guarapuava-PR, v.11, n.2, p.15-22, maio-agosto, 2018.

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

WERNER, V. **Utilização de recursos de agricultura de precisão na geração de mapas de atributos, mapas de produtividade e aplicação de insumos a taxas variáveis**. 2004.125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul.

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

ZANÃO JUNIOR, L. A; LANA, R. M. Q; CARVALHO-ZANÃO; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, v. 57, Viçosa, Mai/Jun, 2010.

ZANÃO JUNIOR, L. A; LANA, R. M. Q; CARVALHO-ZANÃO; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num latossolo vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, v. 37, n. 4. Santa Maria, Jul./Ago. 2007.

ANEXO I



Diagnóstico dos produtores

Nome do Produtor:

Local/Cidade:

Nome da Fazenda:

Nome do talhão do projeto:

Expectativa de produtividade no talhão do projeto:

Soja.....Milho.....

Dados de Solo

1 – Histórico de calagem e/ou gessagem realizadas nos últimos 4 anos (fez taxa variada ou foi taxa fixa?)

2- Histórico de adubações dos últimos quatro anos (se possível colocar doses, fórmulas em cada uma das culturas implantadas mesmo se for cultura de cobertura) – :

3 – Histórico de cultivos (rotações) realizadas na área nos últimos quatro anos.

4 – Faz uso de rolo faca (modelo/marca), usa escarificador (modelo /marca).

5 – Utiliza outra prática conservacionista (terraço, bacia de contenção, cultivo em nível, etc)

Dados Fitotécnicos

1 - Histórico da produtividade de milho e soja dos últimos 4 anos na propriedade:

Ex.: 170 sc./ha de milho

Ex.: 58 sc./ha de soja

2 - Histórico da produtividade de milho e/ou soja dos últimos 4 anos do talhão que será plantado milho:

Ex.: 190 sc./ha milho

Ex.: 63 sc./ha de soja

3 – Área destinada ao projeto – sequeiro/irrigado (há)?

4 – Qual a população média de plantas de milho utilizada pelo agricultor nos últimos 4 anos?

Ex.: 68.000 plantas finais

5 – Qual a época que este agricultor costuma plantar milho?

Ex.: 4ª semana de agosto

6 – Histórico e nível de infestação de pragas dos últimos 4 anos na propriedade:

Spodoptera Alta () Média () Baixa ()

Diabrotica Alta () Média () Baixa ()

Agrotis Alta () Média () Baixa ()

Percevejos Alta () Média () Baixa ()

7 – Histórico e nível de severidade de doenças do milho dos últimos 4 anos na propriedade:

Exserohilum turcicum Alta () Média () Baixa ()

Phaeosphaeria sp Alta () Média () Baixa ()

Cercospora zea-maydis Alta () Média () Baixa ()

Puccinia polysora Alta () Média () Baixa ()

Diplodia – folha e colmo Alta () Média () Baixa ()

Grãos ardidos Alta () Média () Baixa ()

8 – Em média quantas aplicações de fungicidas em milho o agricultor faz? Marque abaixo:

V4 – V8 ()

V8 – V12 ()

V12 – VT ()

VT – R3 ()

9 – Quais plantas daninhas estão presentes ou costumam se desenvolver no talhão onde será plantado milho?

Buva () Azevém () Nabiça () Leiteiro () Picão () Milhã ()

Corda de Viola () Papuã () Trapoeraba () Poaia ()

Pé de Galinha () Erva quente () Amargoso ()

Dados Mecanização

1 – Trator (es) usado (s) na semeadura – marca e modelo.

2 - Possui monitor no trator (e) usado (s) na semeadura? (marca e modelo).

3 – Pulverizador (marca e modelo).

4 – Monitor de vazão (marca e modelo).

5 – Colhedora (marca e modelo) - monitor (marca e modelo)

6 – Possui equipamento para taxa variada? Se sim qual marca e modelo (adicionar dados do monitor também).

7 – Utiliza agricultura de precisão? Se sim quais estratégias (mapeamento de colheita, mapeamento de fertilidade, taxa variada a lanço, taxa variada na linha, taxa variada de semente, piloto automático, outros)

Dados Climatológicos e Geográficos

1 – Precipitação média anual da região e/ou da fazenda (caso haja disponibilidade).

2 – Coordenadas do talhão.

3 – Altitude médio do talhão.

Observações Gerais