



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

KATIAÍRES EVANGELISTA DELPIN MALVEZI

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS  
DO SOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO E COM  
PREPARO DO SOLO**

---

Londrina  
2019

KATIAÍRES EVANGELISTA DELPIN MALVEZI

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS  
DO SOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO E COM  
PREPARO DO SOLO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Otavio Jorge Grigoli Abi Saab.

Coorientador: Dr. Luiz Antônio Zanão Júnior.

Londrina  
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

M262v Malvezi, Katiaíres Evangelista Delpin.  
Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo sob sistema plantio direto e com preparo do solo / Katiaíres Evangelista Delpin Malvezi. - Londrina, 2019.  
81 f. : il.

Orientador: Otavio Jorge Grigoli Abi Saab.  
Coorientador: Luiz Antônio Zanão Júnior.  
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2019.  
Inclui bibliografia.

1. Correlação espacial - Tese. 2. Fertilidade do solo - Tese. 3. Manejo do solo - Tese. 4. Plantio direto - Tese. I. Abi Saab, Otavio Jorge Grigoli. II. Zanão Júnior, Luiz Antônio. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

KATIAÍRES EVANGELISTA DELPIN MALVEZI

**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS  
DO SOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO E COM  
PREPARO DO SOLO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Otavio Jorge Grigoli Abi Saab  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof. Dr. Adonis Moreira  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
– EMBRAPA

---

Dr. Anderson de Toledo  
Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR

---

Prof. Dr. Ricardo Ralisch  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Dr. Osvaldo Coelho Pereira Neto  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 20 de dezembro de 2019.

Dedico este trabalho à minha família pelo apoio irrestrito, pela dedicação, compreensão e respeito às minhas escolhas.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelo amor, e esteio em mais essa etapa da minha vida.

À minha mãe Elza pelo aporte de amor, caráter e princípios; à minha irmã Rosemary e ao meu marido Cesar Augusto pelo incentivo incondicional e aos meus filhos Luís Eduardo e Ana Livia pela inspiração e compreensão.

Ao meu orientador, professor Otávio Jorge Grigoli Abi Saab pela oportunidade e confiança.

Ao meu coorientador Luiz Antônio Zanão Júnior pelo companheirismo e credibilidade.

Aos amigos adquiridos nesse período, Adriana P. da Silva, Ednaldo C. Guimarães, Jean Carlo S. de Oliveira, Luciano N. Gomes e Osvaldo C. Pereira Neto pela dedicação, contribuição e cordialidade.

À Universidade Estadual de Londrina e ao Instituto Agrônômico do Paraná por me receberem para a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo aporte financeiro.

MALVEZI, Katiaíres Evangelista Delpin. **Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo sob sistema plantio direto e com preparo do solo**. 2019. 81 f. Defesa de tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

## RESUMO

O solo é uma das principais fontes para manutenção da vida. Conservá-lo é a melhor forma de garantir produção e preservação dos recursos naturais. O uso racional do solo através de manejos adequados e aplicações eficientes de fertilizantes são contribuições importantes para exploração desse bem. Dessa forma este estudo objetivou avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo sob Sistema Plantio Direto e preparo solo, adotados há mais de três décadas a fim de garantir a manutenção do sistema conservacionista e subsidiar técnicas de amostragem de solo, pesquisas e uso racional de fertilizantes. A área experimental está situada na estação experimental do Instituto Agrônomo do Paraná, no município de Ponta Grossa, PR, sob LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico de textura argilosa, e clima subtropical úmido. Neste local o solo é manejado desde 1981 com rotações de cultura de verão e inverno. O grid de amostragens do solo correspondeu a uma parcela de 45 m x 45 m, dividida em malha com espaçamento de 5 m entre os pontos, totalizando 100 pontos amostrados por manejo em cada um dos quatro cultivos estudados. O primeiro e quarto cultivos não receberam adubação. O segundo cultivo recebeu adubação no sulco de semeadura e o quarto a lanço. As coletas de amostras de solo foram realizadas na profundidade de 0 – 20 cm, iniciadas em setembro de 2013 após a colheita de inverno e mantidas após os três cultivos posteriores, até fevereiro de 2015, sempre após cada colheita ou manejo de cobertura. Todos os pontos amostrados foram georreferenciados e as coletas realizadas sempre nas mesmas localizações. Os atributos químicos analisados foram P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, S, MO, pH, V%, e os micronutrientes B, Fe, Cu, Mn e Zn. Os resultados foram submetidos à análise estatística descritiva e a geoestatística, através do estudo de semivariogramas e krigagem. Os resultados demonstraram que solos manejados por longo período em Sistema Plantio Direto possui maior correlação espacial para MOS, S, e os micronutrientes B, Cu e Mn. No plantio com preparo do solo foram atribuídos maiores alcances ao P, pH, Al, Ca, Mg, K, V%, Fe e Zn. Para ambos os manejos o grau de dependência espacial moderado prevaleceu. As áreas apresentaram alta fertilidade e não houve diferença entre os sistemas de adubação. O Sistema Plantio Direto mostrou maior homogeneidade de alcance entre os cultivos e elementos químico, maior ocorrência de efeito pepita puro e predominância do modelo de semivariograma exponencial. As declividades do plantio com preparo do solo contribuíram para que houvesse tendência dos dados e a ocorrência de seca e precipitação acima da média da região durante as avaliações podem ter influenciado os resultados.

**Palavras-chave:** correlação espacial; fertilidade do solo; manejo do solo; plantio direto; variáveis regionalizadas.

MALVEZI, Katiaíres Evangelista Delpin. **Spatial variability of soil chemical attributes under no-tillage system and with soil tillage**. 2019. 81 p. Thesis Defense (PhD in Agronomy) - Londrina State University, Londrina, 2019.

## ABSTRACT

Soil is one of the main sources for maintaining life. Conserving it is the best way to guarantee production and preservation of natural resources. The rational use of the soil by appropriate managements and efficient fertilizer applications are important contributions to the exploitation of this good. Thus, this study aimed to evaluate the spatial variability of soil chemical attributes under no - tillage and conventional tillage, presenting more than three decades old to guarantee the maintenance of the conservationist system and to subsidize techniques of soil sampling, research and rational use of fertilizers. The experimental area is located at the experimental station of the Agronomic Institute of Paraná, in the municipality of Ponta Grossa, PR, under a clayey dystrophic Red Latosol, and a humid subtropical climate. In this place the ground has been handled since 1981 with crop rotations of summer and winter. The soil sampling grid corresponded to a share of 45 m x 45 m, divided into a grid with spacing of 5 m between the points, totaling 100 points sampled per management in each of the four sampling crop studied. The first and fourth crops received no fertilization. The second crop received fertilization in seeding line and the fourth the throwing. The soil samples were collected at a depth of 0 – 20 cm, starting in September 2013 after the winter harvest and maintained after the three seasons until February 2015 always after each harvest or cover management. All the points sampled were georeferenced and the samples were always collected in the same places. The chemical attributes analyzed were P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, S, MO, pH, V%, and the micronutrients B, Fe, Cu, Mn and Zn. The results were submitted to descriptive statistical analysis and geostatistics, through the study of semivariograms and kriging. The results showed that soils managed for a long period in no-tillage system had a higher spatial correlation for MOS, S e the micronutrients B, Cu and Mn. When planting with soil preparation larger ranges were attributed to P, pH, Al, Ca, Mg, K, V%, Fe and Zn. For both management, the degree of moderate spatial dependence prevailed. The area showed high fertility and there was no difference between the fertilization systems. The no-tillage system showed greater range homogeneity between crops and chemical elements, higher occurrence of nugget effect and predominance of the exponential semivariogram model. The declivities of planting with soil preparation contributed to the trend of the data and the occurrence of drought and precipitation above the region average during the evaluations may have influenced the results.

**Key words:** spatial correlation; soil fertility; no-tillage; soil management; regionalized variables.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Mapas de isolinhas baseados nos teores de P, MOS e pH no solo, camada de 0 – 20 cm, em áreas de Ponta Grossa, PR, sob plantio com preparo do solo (PS) e direto (PD) manejados por longo período, em quatro amostragens pós cultivos e dois sistemas de adubação .....46
- Figura 2** – Mapas de isolinhas baseados nos teores de Al, Ca e Mg no solo, camada de 0 – 20 cm, em áreas de Ponta Grossa, PR, sob plantio com preparo do solo (PS) e direto (PD) manejados por longo período, em quatro amostragens pós cultivos e dois sistemas de adubação .....47
- Figura 3** – Mapas de isolinhas baseados ns teores de K, V% e S no solo, camada de 0 – 20 cm, em áreas de Ponta Grossa, PR, sob plantio com preparo do solo (PS) e direto (PD) manejados por longo período, em quatro amostragens pós cultivos e dois sistemas de adubação .....48
- Figura 4** – Mapas de isolinhas baseados nos teores de B, Fe e Cu no solo, camada de 0 – 20 cm, em áreas de Ponta Grossa, PR, sob plantio com preparo do solo (PS) e direto (PD) manejados por longo período, em quatro amostragens pós cultivos e dois sistemas de adubação .....49
- Figura 5** – Mapas de isolinhas baseados nos teores de Mn e Zn no solo, na camada de 0 – 20 cm, em áreas de Ponta Grossa, PR, sob plantio com preparo do solo (PS) e direto (PD) manejados por longo período, em quatro amostragens pós cultivos e dois sistemas de adubação .....50

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO A

- Tabela 3.1** – Estatística descritiva dos atributos químicos de LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, profundidade 0 – 20 cm em áreas sob plantio com preparo do solo, após quatro cultivos consecutivos e dois sistemas de adubação. ....39
- Tabela 3.2** – Estatística descritiva dos atributos químicos de LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, profundidade 0 – 20 cm em áreas sob plantio direto, após quatro cultivos consecutivos e dois sistemas de adubação. ....40
- Tabela 3.3** – Componentes de semivariância e classificação de dependência espacial ajustados aos atributos químicos do LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, profundidade de 0 – 20 cm, em áreas sob plantio com preparo do solo, após quatro cultivos consecutivos e dois sistemas de adubação .....42
- Tabela 3.4** – Componentes de semivariância e classificação de dependência espacial ajustados aos atributos químicos do LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, profundidade de 0 – 20 cm, em áreas sob plantio direto, após quatro cultivos consecutivos e dois sistemas de adubação .....43

### ARTIGO B

- Tabela 4.1** – Componentes de semivariância e classificação de dependência espacial ajustados aos atributos químicos do LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, profundidade de 0 – 20 cm, em áreas sob plantio com preparo do solo, após quatro cultivos consecutivos e dois sistemas de adubação .....61
- Tabela 4.2** – Componentes de semivariância e classificação de dependência espacial ajustados aos atributos químicos do LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, profundidade de 0 – 20 cm, em áreas sob plantio direto, após quatro cultivos consecutivos e dois sistemas de adubação .....62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Agricultura de Precisão
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
MOS	Matéria Orgânica do Solo
PS	Preparo do Solo
QS	Qualidade do Solo
SPD	Sistema Plantio Direto

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
2.1	QUALIDADE DO SOLO (QS) .....	14
2.2	FERTILIDADE DO SOLO E SEUS ATRIBUTOS .....	15
2.3	MANEJO DE ADUBAÇÃO DO SOLO .....	17
2.4	VARIABILIDADE DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO .....	19
2.5	ESTATÍSTICA E VARIABILIDADE ESPACIAL .....	23
2.6	GEOESTATÍSTICA NO MANEJO DE SOLO .....	27
2.6.1	Amostragem De Solo.....	27
2.6.2	Agricultura De Precisão .....	29
<b>3</b>	<b>ARTIGO A: Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo após três décadas de manejo com preparo do solo e plantio direto</b> .....	<b>31</b>
3.1	RESUMO.....	31
3.2	ABSTRACT .....	32
3.3	INTRODUÇÃO .....	33
3.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	34
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
3.6	CONCLUSÃO .....	51
<b>4</b>	<b>ARTIGO B: Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob Sistema Plantio Direto e preparo do solo para definição de estratégias de manejo e pesquisa científica</b> .....	<b>52</b>
4.1	RESUMO.....	52
4.2	ABSTRACT .....	53
4.3	INTRODUÇÃO .....	54
4.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	55
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.6	CONCLUSÃO .....	63

<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>65</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>81</b>
	APÊNDICE A – Imagem de satélite da área do experimento .....	81
	APÊNDICE B – Representação dos períodos de cultivos e amostragens.....	81

## 1 INTRODUÇÃO

A alta produção de alimentos, fibras e energia com preservação ambiental é o atual desafio da humanidade. Os constantes estudos e desenvolvimento de tecnologias na área visam excelência no desempenho agrônomo, equilíbrio social e ambiental e na viabilidade econômica da produção agrícola.

Os solos constituem a base do sistema agrário e sofrem diversas influências pelas práticas agrícolas. Manejá-los de forma adequada é a melhor forma de garantir resultados frente à essas necessidades.

No Sistema Plantio Direto (SPD) o mínimo revolvimento do solo, a cobertura permanente e a rotação de culturas buscam a preservação da sua estrutura física, manutenção da matéria orgânica, da atividade biológica, da disponibilidade de nutrientes e redução de plantas invasoras. A adoção destes princípios influencia consideravelmente o comportamento dos nutrientes no perfil do solo e proteção contra degradação e redução da sua perda por erosão e lixiviação, preservando a qualidade das águas da sedimentação e poluição de mananciais hídricos.

O plantio com preparo do solo (PS) tem por objetivo revolver o solo visando sua desestruturação a fim de favorecer boas condições de semeadura e desenvolvimento inicial das plantas, homogeneização dos fertilizantes e corretivos, controle de pragas, doenças e plantas daninhas. Entretanto, o que se verifica é que essa prática causa degradação física, química e biológica do solo, com redução da atividade microbiológica e da matéria orgânica.

A adoção parcial do SPD está sendo cada vez mais praticada no sul do Brasil e os problemas recorrentes têm diminuído a produtividade e motivado produtores ao retorno às práticas de preparo do solo. A ausência de rotação de culturas com plantas de cobertura é a prática menos respeitada do sistema, o que compromete a estrutura física do solo, dificultando o desenvolvimento das raízes, a atividade microbiológica e a distribuição dos nutrientes.

Com a ilusão de maior rentabilidade, a adoção dos cultivos consecutivos de culturas comerciais exaure o solo, levando a queda na produtividade e ao retorno ao preparo do solo comprometendo a construção do equilíbrio dinâmico dos atributos físico, químico e biológico do solo.

Monitorar a disponibilidade de nutrientes no solo é um indicador amplamente empregado para se avaliar a sua fertilidade, com uma ampla rede de laboratórios aptos a realizá-los de forma confiável e acessível, mas não reflete a interação com as demais propriedades do solo e a real fertilidade, deficiência esta que pode ser atenuada analisando-se a distribuição destes elementos químicos com outro enfoque.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial de atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico após 32 anos sob SPD e PS em 4 cultivos consecutivos, 100 pontos amostrais por cultivo e manejo, a distância de 5 metros entre os pontos verificando se o tempo de consolidação do SPD favorece a variabilidade dos atributos químicos do solo, e as informações pontuais geradas pela variabilidade espacial, contribuem para a tomada de decisão e aplicabilidade na agricultura de precisão (AP), contribuindo na eficiência e economia de fertilizantes e redução do impacto ambiental.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 QUALIDADE DO SOLO (QS)

A conscientização da qualidade do solo se deu pela sua importância para a qualidade ambiental, degradação dos recursos naturais e sustentabilidade agrícola (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Segundo Lal e Pierce (1991) e o Serviço de Conservação dos Recursos Naturais do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (2016), a ênfase está em otimizar suas funções no momento atual e preservá-las para uso futuro.

Ações voltadas à habilidade de regular e compartimentalizar o fluxo de água e elementos químicos; promover e sustentar o desenvolvimento de raízes; manter um habitat biológico adequado; e responder ao manejo, resistindo à degradação (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009), consistem em um conjunto de indicadores de ordem física, química e biológica para a qualidade do solo.

Adicionalmente Stenberg (1999), enfatiza que individualmente os indicadores da qualidade do solo não permitem descrever e quantificar todos os seus aspectos. Segundo Sojka, Upchurch e Borlaug (2003), as práticas de manejo são mais impactantes que as propriedades intrínsecas do solo, desde que sejam integradas (FLIEBBACH et al.; 2007).

Fontana et al. (2001) mencionam que a sensibilidade às perturbações causadas pelos sistemas de manejo e a concentração de húmus encontradas nos solos servem como indicadores da qualidade do solo por haver interação destes com o material mineral presente em sua composição. A camada enriquecida de resíduos orgânicos alterna a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) e a liberação de nutrientes (SÁ, 1993), favorecendo a distribuição no perfil do solo.

O SPD focaliza em suas primícias a qualidade do solo e por isso é considerado um manejo de referência não apenas para garantir alta produtividade, mas também sua constância.

De qualquer forma Sun, Zhou e Zhao (2003), afirmam que os métodos de indicadores da qualidade do solo assistidos pela geoestatística permitem uma visão de mudanças nas propriedades do solo entre amostragens no tempo, espaço e nos modelos de uso da terra.

## 2.2 FERTILIDADE DO SOLO E SEUS ATRIBUTOS

Solo fértil é aquele que contém, em quantidades suficientes e balanceadas, todos os nutrientes essenciais em formas assimiláveis pelas plantas, que seja razoavelmente livre de materiais tóxicos e tenha propriedades físicas e químicas satisfatórias (MELLO et al., 1983). Essas características estão intimamente ligadas às reações que o solo sofre de acordo com a sua composição, clima e precipitação da região a qual pertencem e estado de conservação.

Para Meurer (2007), a começar pela rocha-mãe cuja composição mineralógica determina a maior ou menor disponibilidade de elementos essenciais, a formação do solo vem da ação de vários processos e diversos manejos que influenciam na grande variação de suas características, tanto no sentido vertical quanto horizontal do perfil do solo.

O pH é um importante fator que interfere na disponibilidade dos nutrientes pelas plantas. Os macronutrientes se apresentam em maior disponibilidade em pH na faixa de 6,0 a 6,5 e, dentre eles, o fósforo (P) é o que tem efeito preponderante, principalmente pelas reações de adsorção e precipitação, muito dependentes do pH (MEURER, 2007).

Outra indispensável referência para a fertilidade do solo é a matéria orgânica que exerce importante função na manutenção ou aumento da sua qualidade, uma vez que intervém nos processos químicos, físicos e biológicos (MIELNICKZUK, 1999; GLATZELA et al., 2003; PILLON et al., 2007).

A MOS influencia na capacidade de troca de cátions, formação de complexos e quelatos com numerosos íons, retenção de umidade, ciclagem e disponibilidade de nutrientes, solubilização de fertilizantes, complexação de metais tóxicos, poder tampão e fluxo de gases para a atmosfera (STEVENSON, 1994; SOARES et al., 2008). Além disso, a ação cimentante influencia a agregação, porosidade, densidade, potencial de infiltração e lixiviação e resistência à erosão (SIX et al., 2002).

Os diferentes sistemas de uso e manejo do solo podem influenciar no acúmulo das frações de MOS em função da estabilidade química dos seus atributos. Porém, é importante ressaltar que o possível aumento natural no teor de matéria orgânica não está relacionado apenas à quantidade de resíduos vegetais que retornam ao solo, mas também à sua textura. Solos arenosos, mesmo sob

sistema de plantio direto, não apresentam aumentos significativos no teor de matéria orgânica como os solos argilosos (SÁ et al., 2008).

O nitrogênio (N), em função das diversas reações que sofre no solo, é o nutriente que possui as maiores interações com o ambiente, propiciando várias rotas de perdas com impactos econômico e ambiental, dependendo do tipo de solo, clima, manejo e fertilizantes. O N está presente no sistema solo-planta em ampla diversidade de formas químicas, mas é na MOS que possui seu maior estoque, cerca de 95%. (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010).

No caso do P, além de ser um nutriente que apresenta baixa disponibilidade na maioria dos solos brasileiros, é exportado entre 5 kg a 10 kg de  $P_2O_5$  por tonelada de grãos, dependendo da cultura. Possui baixa mobilidade e é altamente dependente da acidez e umidade, já que é um nutriente pouco solúvel e pode ser retido facilmente no solo. É disponibilizado às plantas ao ser mineralizado pela matéria orgânica ou adsorvido através de trocas iônicas com as raízes e ao se encontrar diluído na solução do solo. (VILAR; VILAR, 2013).

Para o potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), a ênfase é dada pelo complexo de troca entre a solução do solo e a superfície dos colóides na forma de íons catiônicos trocáveis. De acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), os teores de cátions trocáveis estão em equilíbrio com os teores de cátions na solução do solo e conforme eles são removidos da solução como pela absorção das plantas, pode ocorrer a reposição dos teores trocáveis pela troca com outros cátions da solução.

Na maior parte dos solos, o enxofre (S) predomina na forma orgânica, mas é no íon  $SO_4^{2-}$ , bastante móvel no solo, a forma química preferencialmente absorvida pelas plantas. Mais uma vez, a mineralização da MOS é que controla o fornecimento de S para os vegetais, mas este também pode acumular-se, principalmente nos horizontes subsuperficiais (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010).

Os micronutrientes ocorrem em teores muito baixos no solo e a quantidade total varia com o material de origem e o grau de intemperização dos solos (RAIJ, 1991). Solos originários de rochas basálticas são mais ricos em micronutrientes em relação aos derivados de granitos, gnaisses, arenitos e silicatos (FADIGAS et al., 2002).

Micronutrientes totais têm uma relação bastante complexa quanto a disponibilidade para as plantas e difere para cada elemento (HARMSSEN; VLEK, 1985), assim como quanto a textura e mineralogia do solo, teor de MOS, umidade, pH, condições de oxi-redução e interação entre nutrientes.

O pH é o atributo que promove maior influência na disponibilidade dos micronutrientes. Em solos ácidos com condições de pH baixo, os micronutrientes catiônicos são mais móveis principalmente em solos com elevado grau de intemperização (CAMPOS, 2010). Entretanto, valores de pH acima de 6, reduz a biodisponibilidade destes elementos ao contribuírem para a dissociação de hidrogênio de grupos hidroxilas da matéria orgânica e dos óxidos de alumínio (Al) e ferro (Fe), aumentando a adsorção dos metais e subsequente precipitação (OLIVEIRA et al., 2002).

Mesmo com a especificidade de cada elemento, os sistemas de manejo podem alterar as propriedades química e física do solo, a fertilidade e a disponibilidade dos nutrientes às plantas e neste contexto a atmosfera edáfica tem um importante papel já que a maior parte das reações se processam na interface entre as fases sólida e líquida, ou seja, matriz e solução do solo respectivamente, nos macroporos.

Segundo Jenny (1994), as variáveis ambientais além de serem determinantes no processo de pedogênese do solo, condicionam suas características espaciais, qualitativas e quantitativas.

A temperatura tem efeito direto sobre a velocidade das reações químicas, processos de evapotranspiração, atividade biológica e decomposição da MOS. A umidade pode interferir na falta de oxigênio e processos de oxidação-redução (PORTA; LÓPEZ-ACEVEDO; POCH, 2013) e todas essas ocorrências promovem uma troca contínua com o ar exterior, dependendo do tipo de gás e porosidade do solo.

### 2.3 MANEJO DE ADUBAÇÃO DO SOLO

O modo como se realiza as adubações podem interferir na disponibilidade dos nutrientes às plantas pelas reações entre fertilizantes e o solo.

A dinâmica dos elementos no solo é complexa e possuem especificidades em relação a fatores como tipo e manejo do solo, pH, umidade,

concentração de matéria orgânica e cultura que fazem com que eles estejam facilmente assimiláveis pelas plantas ou não.

Neste sentido, a variabilidade dos nutrientes levada ao solo com adubação no sulco de semeadura ou a lanço é tão importante quanto as doses recomendadas a fim de garantir melhor acessibilidade pelas raízes.

A adubação a lanço geralmente é utilizada como forma de reduzir a quantidade de adubo na semeadora, aumentando o rendimento e eficiência das operações (CASTOLDI et al., 2012) o que diminui tempo de plantio e custo da operação quando comparada a adubação no sulco de semeadura.

Wiethölter, Ben e Pöttker (1998) consideram viável a realização de adubação a lanço em solos com altos níveis de fertilidade e autores como Howard et al. (2002) e Pauletti et al. (2005) mencionam que em áreas sob SPD a aplicação dos adubos em sulcos aumenta as variabilidades horizontal e vertical dos atributos químicos do solo intensificadas pela concentração de nutrientes e matéria orgânica nas camadas superficiais.

Os efeitos da adubação com P e K em soja a lanço e no sulco de semeadura não mostraram diferença na pesquisa de Guareschi et al. (2008), porém a viabilidade dessas adubações está relacionada a níveis desses elementos no solo, distribuição de chuvas e pH do solo. Pavinato e Ceretta (2004) relatam também que adubação em superfícies em áreas com maior declividade pode ter efeitos negativos sobre o ambiente por aumentar as chances de perda por escoamento superficial.

Segundo Malavolta (2006), a salinidade no sulco de semeadura pela alta solubilidade do cloreto de potássio (KCl) pode prejudicar a germinação das sementes ou o desenvolvimento das plântulas. Borkert et al. (2005) sugere aplicação de K a lanço antes da semeadura, em solos de textura argilosa e teores médios e altos assim como a aplicação de fertilizantes fosfatados a lanço em SPD se mostra viável em solos com teores médio a altos de P e como adubação de manutenção (SÁ, 2004).

Muitos fatores estão relacionados ao modo de adubação das culturas. A complexidade que envolve a fertilidade do solo, potencial produtivo das plantas e qualidade ambiental, é decisiva nas práticas agrícolas.

## 2.4 VARIABILIDADE DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO

Segundo Carvalho, Takeda e Freddi (2003), a variabilidade dos atributos químicos do solo é consequência de complexas interações dos processos de sua formação e de práticas de manejo do solo e da cultura, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo.

Os sistemas de preparo do solo possuem características específicas que alteram suas propriedades físicas e conseqüentemente a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas já que estas possuem uma relação muito estreita entre si e o perfil do solo (ROSOLEM, 1987; SILVEIRA; STONE, 2001).

Um projeto nacional de banco de dados do solo realizado na Irlanda no período de 2003 – 2006 constatou não haver semivariância para P, K e Mg disponíveis (ZHANG et al., 2008a). O motivo, segundo Zhang et al. (2008b), está relacionado mais às atividades agrícolas que a fatores naturais como geologia e tipo de solo.

De acordo com Carvalho et al. (1998) e Carvalho, Silveira e Vieira (2002), conhecer o comportamento dos nutrientes em áreas onde o solo está submetido a diferentes manejos é uma importante contribuição para construção de novas práticas de atuação e direcionamento agrícola, além de alguns nutrientes necessitarem ser analisados conjuntamente pois métodos estatísticos univariados elevam a dimensão do problema e são mais onerosos (SILVA et al., 2010).

Introduzido no sul do Brasil no início da década de 70 com o objetivo de controlar a erosão hídrica, o SPD realmente só foi adotado nos anos 90, após serem contornadas as dificuldades iniciais, ocupando hoje grandes áreas agrícolas brasileiras (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012). Representa um sistema de alto nível de complexidade com importante variabilidade espacial, tanto para os atributos físicos quanto químicos do solo, em proporção semelhante (GREGO et al., 2006). Por conseguinte, assim como nos demais métodos de cultivo, o conhecimento dessa variação é determinante para o manejo do solo e gerenciamento de práticas agrícolas (SILVA et al., 2010).

Muzilli (1983) menciona que a fertilidade do solo é diretamente influenciada pela qualidade do material de cobertura produzido pelos vários sistemas de sucessões e rotações de culturas adotadas e pelo manejo dos fertilizantes e

corretivos realizados em superfície, a lanço ou nas linhas de cultivo (ACQUA et al., 2013).

Através da característica de priorizar a mobilização mínima do solo o SPD tem se mostrado muito mais que um sistema de cultivo. O solo coberto com resíduos culturais, e a maior concentração de matéria orgânica nas camadas superficiais, promove mineralização mais lenta desse material devido ao menor contato com o solo, retardando a ação dos microrganismos e contribuindo para o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC). Além disso, beneficia as características químicas, físicas e biológicas, causando alterações no movimento e na redistribuição de compostos mais solúveis (KOCHHANN; SELLES, 1991).

Na rotação de culturas, condição básica para o sucesso e sustentabilidade do SPD, a utilização de plantas com diferentes espaçamentos cultivadas em uma mesma área, e as linhas de adubação que quase sempre não coincidem permitem, segundo Anghinoni e Salet (1998), formular a hipótese de que o sistema plantio direto consolidado (> 5 anos) apresente variabilidade menor do que a fase inicial de implantação. Também, as estratificações de alguns nutrientes coletados pela raiz em profundidade pela variação das diferentes espécies, contribuem igualmente para mobilidade dos nutrientes (NOLLA; ANGHINONI, 2006).

No SPD, a cobertura do solo acarreta modificações marcantes em alguns atributos químicos, especialmente no valor de pH e saturação por alumínio. É fato que o sistema apresenta menor valor de saturação por alumínio na camada superficial do solo (SIDIRAS; PAVAN, 1985) e dentre as explicações, a hipótese de que os compostos solúveis liberados pelas plantas ao ligarem-se a cátions básicos carregando-os para a subsuperfície, interfira no potencial de complexação do alumínio com ácidos orgânicos solúveis presentes nos restos culturais, contribuindo para a correção da acidez e aumento dos teores de Ca e Mg (MIYAZAWA; PAVAN; CALEGARI, 1993; FRANCHINI et al., 1999; SUMNER; PAVAN, 2000).

Apesar de haver aumento significativo de pH no SPD, a sua variabilidade é dependente das dosagens de calcário recebida no solo. Mesmo assim, Schlindwein e Anghinioni (2000) e Nolla e Anghinioni (2006), afirmam que em ambos os sistemas, com preparo do solo e plantio direto, a variabilidade horizontal desse atributo é baixa.

O K tem sua distribuição muito dependente das características do solo. Solos argilosos possuem maiores concentrações de K na superfície que os de

textura média. Em solos arenosos, devido à alta mobilidade do K, em condições de boa drenagem e/ou menor capacidade de retenção de cátions, permite que ele seja transportado para camadas inferiores do perfil (CASTRO, 1988).

Além do tipo de solo, o comportamento do K difere por manejo, regime de drenagem e quantidade adicionada na adubação, mas de modo geral são as diferentes sucessões e rotações de culturas que afetam o teor de nutrientes frente as diferentes exigências nutricionais, profundidade de raízes e quantidade de material que se mantém no solo (SILVEIRA; STONE, 2001).

Assim como o K, a distribuição do Ca e Mg nos solos sob SPD mostram tendência de diminuição gradativa de disponibilidade com a profundidade (MUZILLI, 1983; SIDIRAS; PAVAN, 1985; SÁ, 1993). O incremento da MOS favorece a formação de complexos organominerais que são mais solúveis e por isso auxiliam na maior mobilidade do Ca e Mg no perfil do solo e a maior quantidade de água infiltrada promove deslocamento vertical de partículas do calcário pelo movimento descendente, através de canais e espaços existentes no solo (AMARAL; ANGHINONI, 2001). Em geral, essas rotas aumentam com o decorrer do tempo sob SPD, causados pela ação contínua de raízes e alta atividade da meso e macrofauna (GASSEN; KOCCHANN, 1998).

O P no plantio direto tem sua maior disponibilidade especialmente nas camadas superficiais do solo, sobretudo nos primeiros 5 ou 10 cm de profundidade (MUZILLI, 1983; SIDIRAS; PAVAN, 1985) em função da sua baixa mobilidade e solubilidade de seus compostos, principalmente em solos de natureza ácida com altos teores de argila e sesquióxidos de Fe e Al (THOMAS; BLEVINS, 1981; RAIJ, 1991). Tal comportamento é decorrente das aplicações anuais de fertilizantes fosfatados, da liberação durante a decomposição dos resíduos vegetais pelo incremento de MOS e da redução da fixação pelo menor contato desse nutriente com os constituintes inorgânicos do solo (SIDIRAS; PAVAN, 1985).

Segundo Santos e Vasconcellos (1987), Souza (1992), Couto (1997), Schlindwein e Anghinoni (2000), no sentido horizontal, o P e o K são os nutrientes que apresentam as maiores variações espaciais; as menores variações concentram-se no pH e no teor de matéria orgânica.

Em relação aos índices de coeficiente de variação dos elementos químicos (estatística clássica) Saraiva (1989) relatou que, para argila e P total, a variação é da ordem de 10 %, sendo pouco influenciados pelo manejo; MOS e CTC,

variação de 25 % e para P e K disponível e Ca e Mg trocáveis atingem valores entre 35 e 50 %.

No PS, o revolvimento do solo nas camadas superficiais visa reduzir sua compactação, incorporar corretivos e fertilizantes, aumentar os espaços porosos, elevando a permeabilidade e o armazenamento de ar e água do solo, e com isso facilitar o crescimento das raízes das plantas (BRAUNAK; DEXTER, 1980). Além disso, promove a incorporação dos resíduos vegetais e homogeneização na camada arável, proporcionando distribuição mais uniforme da matéria orgânica até camadas mais profundas do solo (SANTOS; TOMM; LHAMBY, 1995; SISTI et al., 2004, SCHERER; NESI, 2009).

Por essas premissas, menores acúmulos de nutrientes e matéria orgânica são observados no solo quando comparado ao plantio direto (ANDRADE et al., 2012) em função da rápida mineralização da MOS. Como consequência se observa maior degradação do solo pela redução de cobertura, estoque de matéria orgânica e estabilidade dos agregados (MENDES, et al., 2003).

Sidras e Pavan, (1985) verificaram que o valor de pH diminui da superfície do solo (0-10cm) para a subsuperfície (10-20cm) e isso pode ser confirmado por outros autores que estudaram este atributo em relação a diferentes tipos de manejo do solo (SANTOS; TOMM, 2003; SILVEIRA; STONE, 2001).

Com o P, apesar da sua baixa mobilidade, a aração a 30 cm de profundidade no preparo do solo promove com o tempo, aumento no teor de fósforo extraível na camada de 20-30 cm de profundidade (SILVEIRA et al., 1994). Em preparo com menor mobilização, a concentração desse nutriente fica limitada apenas a camada superficial (BAYER; BERTOL, 1999; SILVEIRA; STONE, 2001; CIOTTA et al., 2002).

Klepker e Anghinoni (1995) e Matowo et al. (1999) verificaram que os teores de Al, Ca, Mg trocáveis e pH não são afetados pelos sistemas de manejo do solo, mas o K demonstra maiores concentrações principalmente nas camadas superiores da semeadura direta e cultivo mínimo quando comparados ao plantio com preparo do solo (MARIA; NHABUDE; CASTRO, 1999; SANTOS; TOMM, 2003).

Em busca de aperfeiçoar o comportamento dos nutrientes do solo é fundamental que tanto nas atividades de pesquisa como nas de manejo de culturas comerciais sejam dadas maior importância à variabilidade espacial dos atributos do solo.

## 2.5 ESTATÍSTICA E VARIABILIDADE ESPACIAL

As formas de variabilidade que estão sendo estudadas e manejadas na AP estão classificadas em variabilidade espacial, temporal e induzida pelo manejo. O exemplo da variabilidade espacial pode ser dado pela variação da concentração de um nutriente no solo; variabilidade temporal quando ocorre ao longo do tempo, como a disponibilidade de água no solo em função da sazonalidade da precipitação pluvial; e variabilidade induzida pelo manejo, criada pelas decisões de manejo adotadas na área de cultivo como alocação de culturas e regulação de máquinas (PIRES et al., 2004).

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo permite aperfeiçoar o gerenciamento do manejo do solo, considerando informações pontuais desses e das culturas (SILVA et al., 2003; AMADO et al., 2009), aplicar em experimentos para estudos investigatórios, melhorar a interpretação da fertilidade da área através dos mapas de fertilidade de solos, possibilitar estabelecer estratégias de aplicação de fertilizantes para utilização racional dos insumos e ainda, a combinação dessas informações para serem gerenciadas em uma propriedade (BURROUGH; VAREKAMP; SKIDMORE, 1996). Além disso, a determinação do alcance permite evitar esforços em retirar mais de uma amostra em área com dependência espacial e consequente oneração dos custos de análises (SOUZA, 1992).

A teoria de considerar que a variabilidade do solo ocorre de forma inteiramente aleatória ou ao acaso está relacionada aos padrões da estatística clássica a qual admite-se que os atributos apresentem distribuição de frequência normal (SANTOS e VASCONCELOS, 1987). Entretanto, vários estudos mostraram que os atributos do solo apresentam intensa dependência espacial, verificada por análises geoestatística (BEKELE; HUDNALL, 2006; MOTOMIYA; CORÁ; PEREIRA, 2006; SOUZA et al., 2006; CAVALCANTE et al., 2007; ZANÃO JÚNIOR; LANA; GUIMARÃES, 2007; MACHADO et al., 2007; CAMPOS et al., 2008; FU; TUNNEY; ZHANG, 2010; DALCHIAVON et al., 2012; NEGREIROS NETO et al., 2014; BROWN et al., 2018) cujos valores medidos em uma determinada área estão de alguma forma em concordância com a sua distribuição espacial (VIEIRA et al., 2002).

De acordo com Wollenhaupt e Wolkowski (1994) os três métodos pedométricos quantitativos usados para descrever, classificar e estudar os modelos

de distribuição espacial do solo são:

1 - Métodos clássicos – baseados em modelos empíricos e determinados através de fatores de formação dos solos, segundo a função matemática definida por Hans Jenny (1994):

$$S = f(\text{cl}, o, r, p, t)$$

em que S se refere a um tipo de solo como função decorrente do clima (cl), organismos (o), relevo (r), material de origem (p) e tempo (t). Desta maneira a variabilidade espacial do solo é influenciada pelos fatores de formação do mesmo, no entanto, estes modelos clássicos se preocupam apenas com os fatores que os determinam e não com a auto correlação espacial das propriedades do solo. A partir daí os princípios da geoestatística começam a ser aplicados.

2 - Métodos geoestatísticos - métodos que, baseados nas teorias de variáveis regionalizadas, permitem estimar propriedades do solo em locais não amostrados, usando a relação espacial entre locais amostrados. Sua maior limitação é a grande quantidade de amostras necessárias para definir as auto correlações espaciais.

3 - Métodos híbridos - são métodos baseados na combinação dos métodos geoestatísticos e clássicos. Neste caso, um vetor de dados descrevendo a propriedade do solo como sendo uma variável aleatória Z, determinada nos locais da região  $X = X_1, \dots, X_N$ , constitui três componentes:

$$Z = m + Z_1 + e$$

em que  $m$  é a média local da região e pode variar e depender de algum fator componente do método clássico, ou seja, é relacionado com algum fator causal de formação do solo;  $Z_1$  é o componente espacialmente dependente e  $e$  o erro residual espacialmente independente. Submetendo a variável aleatória Z do solo de um determinado ponto X aos métodos de krigagem, seus resultados conduzem a muitas aplicações, como desenho de rede, mapas de isolinhas, simulações, dentre outros.

Para Vieira et al. (1983), a geoestatística é a técnica fundamental para determinar a variabilidade espacial. Caracteriza-se como uma importante ferramenta pois permite, através dos modelos matemáticos, estabelecer o alcance que separa a dependência espacial entre as amostras (FU; TUNNEY; ZHANG, 2010), todavia só é empregada em casos de amostragens com distâncias

conhecidas, o que torna possível estabelecer a variabilidade das características médias, por meio de semivariogramas.

Um semivariograma é a representação gráfica entre a semivariância  $\gamma(h)$  representada no eixo das ordenadas “Y”, em função de uma determinada distância ( $h$ ) representada no eixo das abcissas “X”. É estimado pela seguinte equação:

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

em que:

$N(h)$  representa o número de pares de valores medidos;

$Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$ , separados por uma determinada distância ( $h$ );

$Z$  valores do parâmetro estudado;

$x_i$  e  $x_i + h$ , valores definidos de acordo com as posições dos pontos amostrais no campo.

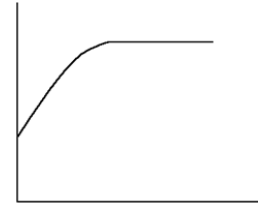
Após o cálculo do semivariograma, os valores de semivariância  $\gamma(h)$  e da distância ( $h$ ) são dispostos em gráficos de dispersão, tendo como valores no eixo das ordenadas Y, as semivariâncias, e no eixo das abcissas X, as distâncias. Neste gráfico são ajustadas funções matemáticas, utilizando alguns parâmetros, a saber: efeito pepita ( $C_0$ ), valor da semivariância, quando a distância é igual a 0 (zero); patamar ( $C_0 + C_1$ ), à medida que a distância aumenta, também aumenta o valor da semivariância até a um valor máximo no qual ela se estabiliza; e alcance, distância na qual a semivariância se estabiliza, ou seja, distância limite de dependência espacial, que representa o raio de um círculo, no qual os valores são tão semelhantes que se tornam correlacionados (Vieira, 1997).

Uma vez designado o modelo matemático que define as semivariâncias, é estipulado o grau de dependência no espaço de cada amostragem realizada (REICHARDT; VIEIRA; LIBARDI, 1986), e a determinação de espaçamentos entre pontos de amostragem para os quais as médias de uma característica do solo sejam realmente independentes entre si.

A seleção dos modelos estudados é realizada com base na validação cruzada, maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e na menor soma de quadrados do resíduo (SQR), sendo os mais comumente utilizados os definidos, determinados e representados como:

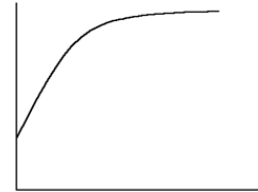
i) esférico

$$\begin{cases} \gamma(h) = C_0 + C \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right] & h < a \\ \gamma(h) = C_0 + C & h \geq a \end{cases}$$



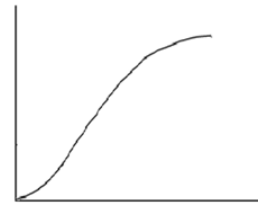
ii) exponencial

$$\gamma(h) = C_0 + C [1 - e^{(-h/a)}]$$



iii) gaussiano

$$\gamma(h) = C_0 + C [1 - e^{(-h/a)^2}]$$



Quando há dependência espacial, ou seja, quando a função  $\gamma(h)$  for dependente da distância ( $h$ ), os valores vizinhos são semelhantes possibilitando estimar valores para locais onde os atributos não foram medidos. A estimativa em uma determinada posição geográfica,  $X_0$ , pode ser obtida por:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i)$$

Onde,  $N$  é o número de vizinhos utilizados na estimativa, e  $\lambda_i$  é o peso associado ao valor medido na posição  $x_i$ .

Submetendo-se a equação acima às condições de que a estimativa seja sem tendenciosidade e com variância mínima, chega-se ao sistema de equações de “krigagem”:

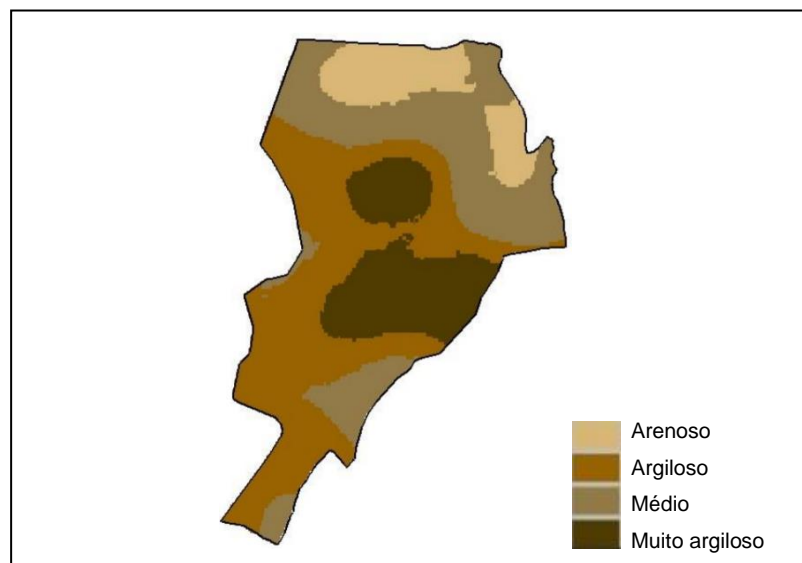
$$\sum_{i=1}^N \lambda_i y(x_i, x_j) + \mu = y(x_i, x_0), i = 1, N$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

em que,  $y(x_i, x_j)$  é a semivariância estimada.

Uma das maneiras mais utilizadas para representar a variabilidade espacial é através de mapas de isolinhas (BURGESS; WEBSTER, 1980). Nesta etapa, após o processo de krigagem, pontos com mesmo valor são unidos em uma linha e o conjunto dessas linhas denominadas isolinhas quando desenhadas sobre o mapa, demonstram o comportamento do atributo no espaço estudado conforme ilustração que segue.

**Mapa 1** - Teores de argila do solo



**Fonte:** Amanda Lopes Maciel

## 2.6 GEOESTATÍSTICA NO MANEJO DE SOLO

### 2.6.1 Amostragem de Solo

As recomendações de fertilizantes e corretivos são baseadas nos resultados analíticos de uma amostra de solo. Portanto, o sucesso dessas recomendações depende de uma amostragem representativa.

A intensidade e profundidade de amostragens de solo para fins de análise química devem respeitar o histórico do local, características químicas do solo, sistema de cultivo, cultura anterior e a que será implantada.

Segundo Orlando Filho e Rodella (1983), aproximadamente 80 a 85 % do erro total nos resultados usados na recomendação de fertilizantes e corretivos

são decorrentes da amostragem no campo, e o restante 15 a 20 % são atribuídos aos trabalhos de laboratório.

A amostragem de solo pode ser realizada pelo método ao acaso, direcionada à agricultura convencional onde se percorre toda a área em forma de zigue-zague, coletando amostras de forma aleatória, ou pelo método de amostragem em grade, feita geralmente com a sobreposição de uma malha quadrada sobre a área a ser amostrada, com distância que varia de acordo com fatores previsíveis ou de fácil percepção como topografia, histórico de produtividade, etc. Neste caso as coletas são realizadas em cada ponto específico da malha que devem obrigatoriamente ser georreferenciadas. Este segundo método é o recomendado para amostragem visando à aplicação de fertilizantes com técnicas de AP.

Embora as análises químicas do solo sejam um ponto de referência para recomendação de adubos, o enfoque em considerar grandes áreas como homogêneas impõe a aplicação de insumos de acordo com a necessidade média das amostras as quais são coletadas aleatoriamente. Esta prática promove aplicação de doses iguais de fertilizantes desconsiderando a variabilidade espaço-temporal, o que pode resultar em ineficiência no uso de nutrientes pelas plantas e custos desnecessários aos produtores. Esta condição pode ainda ocasionar queda na produção da área e maior impacto ambiental no uso do solo (MULLA et al., 1992; ZANÃO JÚNIOR; LANA; GUIMARÃES, 2007).

Wollenhaupt e Wolkowski (1994) afirmam que o custo de amostragem aumenta significativamente com densidades de amostragem superiores a duas por hectare, no entanto, a precisão dos mapas de disponibilidades gerados pela geoestatística é maior, à medida que se aumenta a concentração de amostras por área, ou seja, há uma relação diretamente proporcional entre o número de amostras e a precisão desejada nos mapas. Uma solução para este problema seria fazer um adensamento dos pontos amostrados em duas linhas do grid de amostragem ou utilizar um grid descompassado, ou seja, subtrair alguns pontos de amostragem em linhas alternadas.

A amostragem em grade não deve ser vista como uma inovação da amostragem tradicional, mas uma forma de gerenciar áreas agrícolas de maneira eficiente.

### 2.6.2 Agricultura de Precisão

As tecnologias destinadas a agricultura atingiram uma dimensão tão importante que atualmente é difícil permanecer no ramo sem considerá-las significativas.

De acordo com Pierce e Nowak (1999), AP é um conjunto de princípios e tecnologias aplicados no manejo da variabilidade espacial e temporal associada à produção agrícola, objetivando o aumento da produtividade das culturas e a qualidade ambiental. Na prática, ela consiste no levantamento e processamento de informações detalhadas e georreferenciadas sobre as áreas cultivadas, visando determinar estratégias de manejo eficientes que levem em consideração tal diversidade (PIRES et al., 2004).

Searcy (2000) complementa ainda que reconhecer as necessidades apropriadas para cada região em um campo, melhora a eficiência global da produção, resultando em lucros aumentados e menor degradação dos recursos naturais.

Para que esse sistema possa ser praticado na produção agrícola, três subsistemas devem ser adotados: sensoriamento (levantamento dos dados), gerenciamento (tomada de decisão) e controle (manipulação dos dados). Embora todos sejam imprescindíveis, para Shueller (2000), o sensoriamento constitui o mais importante deles.

A AP pode ser utilizada para diferentes procedimentos agrícolas (semeadura, aplicação de fungicidas, inseticidas e herbicidas), é no manejo da fertilidade do solo que essa ferramenta tem grande utilidade. O grande desafio engloba a aplicação adequada de fertilizantes, redução das perdas de nutrientes e diminuição do impacto ambiental associado ao excesso de doses aplicadas (MALZER, 1996).

A aplicação da tecnologia pode ser feita através de dois enfoques: mapas e sensores. Na geração de mapas emprega-se o uso de GPS para realizar as amostragens e posteriormente elaboração dos mapas de prescrição. Os sensores são utilizados diretamente no solo ou cultura com aplicação imediata dos insumos de forma variável. Neste caso, os insumos são aplicados com base em informações obtidas em tempo real e as operações de campo controladas eletronicamente. (PIRES et al., 2004).

O aspecto econômico envolvido nesta tecnologia é o que mais impede os avanços pelos produtores. Apesar dos benefícios do manejo georreferenciado na fertilidade do solo conferindo aumento da produtividade e ganhos financeiros, a relação custo benefício é bastante complexa quando comparadas culturas de baixo valor agregado a culturas de maior interesse econômico.

Apesar disso, agricultores que adotaram a técnica e se empenharam em adquirir conhecimento a seu respeito mencionam que poucos investimentos na área agrícola geram tanta economia e melhoria no sistema produtivo. Assim também, análises comparativas baseadas em levantamentos elaborados por especialistas em economia rural demonstram que é possível obter relação custo-benefício favorável a usuários interessados em adotar essa tecnologia (BERNARDI et al., 2014).

De qualquer forma, de acordo com os seus fundamentos, a AP não está relacionada somente a utilização de tecnologia de ponta, mas pode sim ser aplicada na rotina das propriedades rurais pelo emprego da organização e controle das atividades, gastos e produtividade das áreas, divididas em talhões ou demais necessidades e características que diferem do padrão geral.

Neste sentido, a AP demonstra sua viabilidade principalmente para a agricultura brasileira, a qual ainda é carente de ajustes. Logo, estudos que agregam informações a essa tecnologia, contribuem com importante colaboração para a sua eficiência.

### 3 ARTIGO A: VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO APÓS TRÊS DÉCADAS DE MANEJO COM PREPARO DO SOLO E PLANTIO DIRETO

#### 3.1 RESUMO

O emprego do Sistema Plantio Direto como manejo do solo confere benefícios às culturas e ao ambiente, porém, se praticado segundo seus princípios. Apesar de adotado em grande parte das áreas brasileiras, no sul do país a exploração do solo está cada vez mais focada no retorno econômico imediato das culturas. Com a adoção parcial do sistema, queda na produtividade e compactação do solo estão justificando de forma equivocada, o retrocesso ao revolvimento do solo dada pelo manejo com preparo do solo. Nesse sentido, a hipótese que o maior tempo de consolidação do Sistema Plantio Direto praticado conforme seus preceitos, beneficia a variabilidade dos atributos químicos do solo direcionou este trabalho ao objetivo de avaliar essa variabilidade em áreas sob este sistema comparado com o preparo do solo adotados há mais de três décadas. A área estudada está localizada no município de Ponta Grossa, PR, sob LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico de textura argilosa e as amostras foram coletadas na profundidade de 0 – 20 cm, com 5 m de distância entre os pontos de coleta, totalizando 100 pontos amostrados por manejo, iniciadas em setembro de 2013 após a colheita de inverno e repetidas após os três cultivos posteriores, até fevereiro de 2015. Dois sistemas de adubação nas culturas de verão também foram avaliadas: em sulco de semeadura e a lanço. Os atributos analisados foram P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, S, MOS, pH, V%, e os micronutrientes B, Fe, Cu, Mn e Zn. Após análise química, os resultados foram submetidos à análise estatística descritiva e a geoestatística, pelo estudo de semivariogramas e krigagem que possibilitaram a geração dos mapas de isolinhas. As áreas apresentaram alta fertilidade nos dois manejos estudados com elevado teor de MOS e não houve diferença entre os sistemas de adubação. O Sistema Plantio Direto manejado por longo período conferiu correlação espacial beneficiada para MOS, S, e os micronutrientes B, Cu e Mn. O P, pH, Al, Ca, Mg, K, V%, Fe e Zn tiveram maiores alcances no plantio com preparo do solo. A declividade da área sob plantio com preparo do solo e ocorrências de seca e precipitação acima da média durante o período das avaliações podem ter influenciado os resultados da pesquisa.

**Palavras-chave:** Fertilidade. Manejo do solo. Geoestatística.

## SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL ATTRIBUTES OF THE SOIL AFTER THREE DECADES OF CONVENTIONAL MANAGEMENT AND NO-TILLAGE

### 3.2 ABSTRACT

The use of no-tillage as soil management confers benefits to crops and the environment, but if practiced according to its principles. Although adopted in most of the Brazilian areas, in the south of the country soil exploration is increasingly focused on the immediate economic return of crops. With the partial adoption of the system, lower productivity and soil compaction are justifying in a wrong way, the regression to the soil rotation given by conventional management. In this sense, the hypothesis that the longer time of consolidation of no-till practiced according to its precepts, benefits the variability of soil chemical attributes directed this studied to the goal of evaluating this variability in areas under no-tillage and soil tillage adopted more than three decades ago. The areas studied is located in the municipality of Ponta Grossa, PR, under a clayey dystrophic Red Latosol, and the samples were collected at depth of 0 - 20 cm, with a distance of 5 m between the collection points, totaling 100 points sampled by management, initiated in September 2013 after the winter harvest and repeated after the three subsequent harvest, until February 2015. Two fertilizer systems in summer crops were also evaluated: in the throwing and seeding line. The attributes analyzed were P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, S, MOS, pH, V%, and the micronutrients B, Fe, Cu, Mn and Zn. After chemical analysis, the results were submitted to descriptive statistical analysis and geostatistics, by the study of semivariograms and kriging that enabled the generation of the isolines maps. The area showed high fertility in two managements studied with high MOS and there was no difference between the fertilization systems. The no-tillage over long period provided beneficial spatial correlation for MOS, S and micronutrients B, Cu and Mn. The P, pH, Al, Ca, Mg, K, V%, Fe e Zn had higher reach in tillage conventional. The declivity of the area under tillage conventional and above average occurrences of drought and precipitation during the evaluation period may have influenced the search results.

**Key words:** Fertility. Soil management. Geostatistics.

### 3.3 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural essencial à sobrevivência dos seres vivos. Por ser finito, de alta vulnerabilidade à degradação e não renovável, seu uso adequado é a principal forma de garantir sustentabilidade do planeta.

Um bom manejo é o que propicia a exploração racional do solo com aplicação de técnicas que visem conservá-lo e melhorar a produtividade das culturas. O Sistema Plantio Direto (SPD) tem por objetivo exercer esses princípios através do não revolvimento do solo, cobertura permanente e rotação de culturas (WEIRICH NETO et al., 2006; CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012). Como efeito, benefícios às estruturas químicas e físicas do solo são constatadas em diversos trabalhos (ALMEIDA et al., 2005; ANDRADE et al., 2010; BROWN et al., 2018).

A distribuição dos nutrientes no solo é influenciada por diversos fatores, a destacar o manejo e umidade do solo e o modo de aplicação de fertilizantes (COSTA et al., 2009).

No SPD, o maior acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo promove proteção e aumento da fertilidade pela ciclagem dos nutrientes e redução das perdas por lixiviação e erosão (CASSOL, 1984; BAYER; MIELNICZUK, 1999) além da manutenção da umidade do solo. Assim, considera-se que a variabilidade dos atributos químicos do solo se beneficie com o tempo, favorecendo a distribuição dos nutrientes nos vários anos de rotação e sucessão de culturas nas diferentes linhas de semeadura (ANGHINONI; SALET, 1998).

Apesar das comprovações técnicas satisfatórias, há tempos os princípios básicos do SPD têm sido negligenciados e a exploração exaustiva do solo gera controvérsias de como este vem sendo preservado e mantido (DENARDIN; FAGANELLO; SANTI, 2008). Em 2013, estudos concluíram que o abandono das boas práticas de uso, manejo e conservação do solo e água foi o principal agravante do problema de erosão nos últimos anos com perdas de solo e água (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, 2013; DIDONÉ et al., 2014), o que reflete diretamente na fertilidade do solo.

É comum campos da região sul do Brasil apresentarem cultivos apenas tidos como econômicos (soja, milho, trigo) ou abandono daqueles com mercado mais instável, plantando sucessivas culturas com comercialização mais

regular. Técnicas de rotação de culturas, cobertura do solo no vazio outonal e condições ideais de umidade do solo para o tráfego de máquinas, deixaram de ser praticadas (CIGANA, 2018).

A consequência dessas ações se reflete na baixa qualidade do solo e consequente queda na produtividade, o que tem motivado o retorno às práticas do plantio com preparo do solo como falsa ilusão de que o não revolvimento do solo permite a compactação e distribuição restrita dos nutrientes às plantas.

Dessa forma, através de avaliações de experimento realizado a mais de 30 anos no sul do Brasil comparando SPD e plantio com preparo do solo (PS), o objetivo desse estudo foi avaliar a diferença de variabilidade dos atributos químicos do solo de ambos os manejos, assegurando a hipótese de que a distribuição dos atributos do solo no SPD seja beneficiada em função do tempo de estabelecimento.

Aliada à essa vertente, dois sistemas de adubação, à lanço e no sulco de semeadura também foram analisados a fim de melhor avaliar o efeito da variabilidade das adubações dos manejos estudados.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental está situada no município de Ponta Grossa, PR, latitude 25° 09' S e longitude 50° 09' W e segundo Köppen (1948), possui clima do tipo Cfb, subtropical úmido, caracterizado por temperaturas anuais médias inferiores a 21°C e precipitação pluvial total anual entre 1.300 a 1.800 mm, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, 2000).

De acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos, a área é formada por LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico (SANTOS et al., 2013) com aproximadamente 680 g kg<sup>-1</sup> de argila sendo manejado desde 1981 com SPD e PS. O SPD é mecanizado e o manejo com preparo do solo é realizado com arado de disco reversível (Ø 0,60 m), após a colheita do cultivo de verão e outra após o manejo de inverno, a 0,20 m de profundidade, seguido por duas gradagens leves (Ø 0,40 m).

As áreas são submetidas à rotação de culturas envolvendo soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e milho (*Zea mays* L.) alternados no verão e aveia (*Avena strigosa*) e ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth) no inverno desde 1995. A rotação anterior a esse período também correspondeu às culturas de soja ou milho no verão,

porém no inverno o manejo se deu com aveia, trigo (*Triticum* spp) ou tremoço (*Lupinus angustifolius*).

Adubações foram realizadas de forma distinta entre as culturas durante o experimento. O milho recebeu 300 kg ha<sup>-1</sup> de NPK (4-30-10) no sulco de semeadura e 100 kg ha<sup>-1</sup> de ureia a lanço e a soja, 300 kg ha<sup>-1</sup> de NPK (0-16-12) a lanço. Para o cultivo de aveia e ervilha não houve adubação.

As áreas experimentais possuíam dimensão de 100 m x 50 m para o PS e 100 m x 100 m para o SPD, com declividades sentido oeste-leste de 6,9 e 8,1 %, respectivamente. O grid de amostragens do solo em cada manejo correspondeu a 45 m x 45 m, dividida em malha com espaçamento de 5 m entre os pontos, totalizando 100 pontos georreferenciados por manejo em cada cultivo.

As amostras simples foram coletadas a profundidade de 0 – 20 cm com auxílio de trado em setembro de 2013 após o cultivo da cultura de inverno e se estendeu até fevereiro de 2015, sempre após as colheitas (apêndice B) e nas mesmas localizações.

Os atributos químicos analisados foram pH (CaCl<sub>2</sub>); P e K (Mehlich-1); Ca, Mg e Al trocáveis (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); S [Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 500 mg L<sup>-1</sup> de P em HOAc 2 mol L<sup>-1</sup>]; MOS (Walkley Black) e saturação por bases (V %), todos de acordo com metodologia descrita por Pavan et al. (1992). Os micronutrientes B (água quente); Fe, Cu, Mn e Zn (Mehlich-1) seguiram a metodologia descrita por Silva (1999). Com os resultados das análises química analisaram-se os valores extremos e *outliers* e, quando ocorridos, foram excluídos do banco de dados a fim de não influenciarem as inferências estatísticas.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa GS+ (Gamma Design Software, 2000), obtendo-se os resultados descritivos de média, desvio padrão, valor máximo, valor mínimo, coeficientes de variação, assimetria e curtose assim como os resultados da geoestatística, a qual possibilitou avaliar a variabilidade espacial dos atributos estudados, conforme metodologia proposta por Vieira et al. (1983).

A dependência espacial entre as amostras foi determinada por meio de ajuste das semivariâncias experimentais ao melhor modelo matemático, com base no maior coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), menor soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e na validação cruzada. Foram testados os modelos esférico, exponencial e gaussiano.

Os semivariogramas correspondem a gráficos que associam distâncias com semivariâncias para descrição da dependência espacial, dados pela tendência de que o valor de uma variável associada a determinada localização, se assemelha mais ao valor de suas amostras vizinhas mais próximas que ao restante das localizações do conjunto amostral (CARNEIRO et al., 2016). Com eles se determina:  $C_0$ : efeito pepita;  $C_1$ : variância estrutural e  $a$ : alcance.

Ao haver tendência nos dados da variável em análise, constatada pela dificuldade de ajuste do semivariograma e pelo gráfico de dispersão, procedeu-se a retirada de tendência conforme sugerido por Vieira et al. (1983), trabalhando com o semivariograma dos resíduos. Dessa forma, foi possível obter melhores ajustes do semivariograma com tendência a estacionariedade.

Silva, Guimarães e Tavares (2008), mencionam que uma variável com tendência pode induzir ajustes de modelos de dependência espacial diferente do modelo real. Assim, após sua remoção, foi realizada nova análise geoestatística e posteriormente adicionadas aos dados interpolados, para a confecção dos mapas.

A razão de dependência espacial entre as amostras dada pelo efeito pepita e o patamar ( $C_0 + C_1$ ) foi classificada segundo Cambardella et al., (1994) cujo valor menor que 0,25 expressa dependência espacial forte, entre 0,25 e 0,75 dependência moderada e valores maiores que 0,75 dependência fraca.

Com base no modelo de dependência espacial, descrito pelo semivariograma, estimou-se valores para locais não amostrados considerando que a área que compreende o alcance estipulado pelo semivariograma possui valores semelhantes. Com isso, foram construídos mapas de isolinhas utilizando a técnica de interpolação por krigagem e níveis de interpretação dos atributos propostos por Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999) e Pauletti e Motta (2017).

Para variáveis que não apresentaram dependência espacial, foi utilizado o método Inverso do Quadrado da Distância (IDW) para interpolação dos dados.

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise descritiva apresentados nas tabelas 3.1 e 3.2 demonstraram que as áreas têm alta fertilidade nos dois manejos estudados, mesmo com médias de pH e saturação por bases baixa, típica para o solo da região.

As condições climáticas da região favorecem a manutenção da MOS, melhorando significativamente as condições física, química e biológica do solo com o passar do tempo (RONQUIM, 2010), que, por sua vez, influencia positivamente a redução da erosão, agregação e perdas de nutrientes do solo.

A alta concentração de MOS demonstrada nas análises é continuamente decomposta pelos microrganismos em ácidos orgânicos, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água, formando ácido carbônico que propicia acidez ao solo (INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO, 1998). No entanto, a dissociação das hidroxilas gera cargas negativas que possibilita ligações com os cátions básicos Ca, Mg e K, além da própria composição do solo cujo alto teor de argila beneficia a disponibilidade desses nutrientes às plantas (RAIJ, 2011).

Model e Anghinoni (1991) e Mallarino e Borges (2006) mencionam que a distribuição do K no perfil do solo parece não ser influenciada pelo manejo e, ou modo de adubação, mas sim pela distribuição do sistema radicular das plantas (KLEPKER; ANGHINONI, 1995) e umidade do solo, já que a distribuição do K é dada predominantemente por difusão (BARBER, 1995). Essas informações corroboram com os resultados das tabelas 3.1 e 3.2 que demonstram pouca diferença entre os teores médio desse nutriente em relação às adubações no sulco de semeadura e a lanço entre PS e SPD.

A uniformidade média no teor de K entre os cultivos do SPD mostra que a mineralização da MOS proveniente do acúmulo de resíduos no solo proporciona aumento na ciclagem do K (MIELNICZUK, 2005) e um constante equilíbrio no solo. No PS a variação de teores pode estar relacionada ao próprio revolvimento do solo, o qual também contribui para acelerar a decomposição dessa MOS e conseqüente degradação da sua estrutura, promovendo a lixiviação desse elemento.

O P apresentou teor baixo no PS em todos os cultivos e no SPD apenas no segundo e médio nos demais segundo Pauletti e Motta (2017). Sousa e Volkeiss (1987) citam que o revolvimento do solo destrói as regiões com altos teores de P ao redor dos grânulos de adubação, o que reduz sua disponibilidade pela mistura com o restante do solo, diminuindo seu efeito residual.

Já no SPD a imobilização do solo e grande concentração de MOS favorecem grupos funcionais carregados negativamente como ácidos carboxílicos e fenólicos interagirem com minerais carregados positivamente como óxidos de Fe,

que podem afetar a adsorção de fosfatos (LIU; HE; COLOMBO, 1999; HINSINGER et al., 2011) e influenciar a energia de ligação com que o P é adsorvido.

Apesar da concentração de P na superfície do solo aumentar a possibilidade de contato deste com o calcário, tornando-o menos solúvel (CHIEN et al., 2011) e dificultando sua difusão pela baixa umidade presente na superfície, as adubações à lanço e no sulco de semeadura não diferiram em ambos os manejos. Todavia é importante considerar as características do clima e regime hídrico da região satisfatórios para manutenção da umidade do solo, mesmo no PS.

O S apresentou médias semelhantes entre manejos sendo o quarto cultivo com teores médio, primeiro e terceiro alto e segundo muito alto. Raij (1991) explica que a maior ocorrência de MOS na camada superficial diminui a adsorção de íons de ferro e alumínio, aumentando a CTC do solo e conseqüentemente repelindo ânions como  $\text{SO}_4^{2-}$  o que justifica a queda do quarto cultivo no qual a adubação foi realizada a lanço.

Não houve detrimento de manejo nos teores dos micronutrientes B, Fe e Zn. O B demonstrou valores muito alto, Zn alto e Fe muito alto no primeiro, segundo e quarto cultivos, e alto no terceiro.

Cu e Mn não diferiram entre cultivos no PS, apresentando teores altos. No SPD o teor de Cu do terceiro cultivo também foi alto e os demais muito altos. Para Mn, alto no primeiro e segundo cultivos e médio no terceiro e quarto (Tabelas 3.1 e 3.2).

A variação dos resultados dos atributos em relação à média dada pelo coeficiente de variação mostrou que para ambos os manejos P, Al, Ca, Mg, K e V%, apresentaram variação média em todos os cultivos e baixa para pH e B segundo classificação de Warrick e Nielsen, (1980). O S também não diferenciou entre manejo, porém para o primeiro e segundo cultivos demonstrou variação média e no terceiro e quarto baixa.

Em relação a MOS, Fe, Cu e Zn, houve pequenas diferenças de variações entre cultivos e manejos. A única exceção da MOS foi o segundo cultivo do PS que apresentou variação média diferenciando da baixa das demais; Fe baixa no quarto cultivo do SPD e média para o restante; Cu baixa em todos os cultivos do PS e no quarto do SPD e média nos outros; e Zn alta no terceiro cultivo do PS e média nos demais.

O Mn não diferenciou no PS cujos coeficientes de variação foram baixos, mas no SPD o primeiro cultivo teve variação alta e nos três últimos médias. Bottega et al., (2013) afirmam que tais variações são consequências de interações dos processos de formação do solo e práticas de manejo e cultura.

Com poucas exceções, os valores de assimetria foram próximos a zero indicando que a distribuição de frequência é perto da simétrica assim como o coeficiente de curtose que demonstrou que as distribuições dos atributos seguiram próximas a normal de acordo com os valores propostos por Negreiros Neto et al., (2014).

**Tabela 3.1.** Estatística descritiva dos atributos químicos de LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, profundidade 0 – 20 cm em áreas sob plantio com preparo do solo, após quatro cultivos consecutivos e dois sistemas de adubação.

Atributo	Cultivo	Adubação	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	CV%	Assimetria	Curtose
<b>Plantio com Preparo do Solo</b>									
P <sup>(1)</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	4,23	1,25	1,90	7,20	30	0,52	-0,37
	2	Sulco	4,08	1,67	0,60	8,60	41	0,47	0,37
	3	Ausente	6,56	2,39	3,20	11,50	36	0,54	-0,71
	4	Laço	6,66	2,24	3,10	13,00	34	0,83	0,09
MOS <sup>(2)</sup> , g dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	46,16	2,39	41,63	51,03	5	0,03	-0,52
	2	Sulco	45,35	5,44	33,58	60,44	12	0,19	-0,16
	3	Ausente	45,23	2,41	40,29	49,70	5	-0,15	-0,56
	4	Laço	41,57	3,30	33,58	49,70	8	-0,25	0,04
pH <sup>(3)</sup>	1	Ausente	4,15	0,13	3,90	4,40	3	0,03	-0,79
	2	Sulco	4,13	0,14	3,80	4,40	3	-0,44	-0,44
	3	Ausente	4,11	0,16	3,70	4,40	4	-0,07	-0,63
	4	Laço	4,07	0,13	3,80	4,40	3	0,16	-0,71
Al <sup>(4)</sup> , cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,92	0,38	0,24	1,83	41	0,26	-0,81
	2	Sulco	0,96	0,45	0,25	2,13	47	0,61	-0,34
	3	Ausente	0,93	0,42	0,30	1,91	45	0,45	-0,85
	4	Laço	1,22	0,44	0,31	2,40	36	0,32	-0,66
Ca <sup>(4)</sup> , cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	2,50	0,54	1,33	3,52	22	-0,32	-0,81
	2	Sulco	2,41	0,61	1,10	3,76	25	-0,42	-0,42
	3	Ausente	2,08	0,56	0,83	3,25	27	-0,08	-0,87
	4	Laço	2,18	0,58	1,00	3,60	27	0,34	-0,45
Mg <sup>(4)</sup> , cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	1,26	0,29	0,67	1,88	23	-0,18	-0,76
	2	Sulco	1,29	0,41	0,35	2,43	32	-0,04	-0,50
	3	Ausente	1,00	0,31	0,30	1,90	31	0,07	-0,20
	4	Laço	1,02	0,34	0,40	1,95	33	0,50	0,01
K <sup>(1)</sup> , cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,12	0,03	0,07	0,17	25	0,30	-0,39
	2	Sulco	0,17	0,06	0,09	0,36	35	1,24	0,86
	3	Ausente	0,26	0,11	0,09	0,52	42	0,42	-0,65
	4	Laço	0,19	0,08	0,07	0,40	42	0,69	-0,26
V, %	1	Ausente	26,03	5,37	13,85	35,29	21	-0,47	-0,82
	2	Sulco	25,67	6,74	10,07	38,90	26	-0,44	-0,62
	3	Ausente	23,23	6,18	10,49	38,64	27	-0,17	-0,72
	4	Laço	22,83	5,10	12,12	34,15	22	-0,03	-0,94
S <sup>(5)</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	5,84	2,46	1,18	12,34	42	0,23	-0,57
	2	Sulco	6,19	1,86	2,15	10,81	30	0,26	-0,58
	3	Ausente	3,19	0,18	2,79	3,65	6	-0,25	-0,67
	4	Laço	3,06	0,07	2,92	3,24	2	0,38	-0,37
B <sup>(6)</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,87	0,08	0,70	1,09	9	0,27	-0,49
	2	Sulco	0,87	0,06	0,75	0,99	7	-0,10	-0,62
	3	Ausente	0,91	0,05	0,80	1,04	5	-0,23	-0,77
	4	Laço	0,92	0,05	0,81	1,06	5	0,10	-0,63
Fe <sup>(1)</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	67,00	10,49	44,98	89,61	16	0,30	-0,92
	2	Sulco	71,52	29,65	20,52	162,60	41	0,43	-0,20
	3	Ausente	45,28	6,38	32,10	63,55	14	0,61	-0,13
	4	Laço	59,71	9,13	44,43	81,43	15	0,59	-0,51
Cu <sup>(1)</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	2,63	0,16	2,23	2,95	6	-0,44	0,07
	2	Sulco	2,52	0,23	1,92	3,11	9	-0,13	0,12
	3	Ausente	2,82	0,32	2,19	3,55	11	0,01	-0,46
	4	Laço	2,81	0,17	2,52	3,26	6	0,72	-0,39
Mn <sup>(1)</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	39,47	2,25	34,79	45,22	6	0,53	0,32
	2	Sulco	36,15	3,50	27,40	44,89	10	0,04	0,32
	3	Ausente	32,96	4,50	23,89	43,61	14	-0,08	-0,70
	4	Laço	33,59	3,49	25,84	42,66	10	0,47	0,11
Zn <sup>(1)</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	1,39	0,28	0,81	2,21	20	0,42	0,26
	2	Sulco	1,38	0,48	0,34	3,00	35	0,96	1,08
	3	Ausente	8,65	7,80	1,08	35,06	90	0,89	0,21
	4	Laço	1,95	0,29	1,32	2,78	15	0,53	0,08

Extratores: <sup>(1)</sup>Mehlich-1; <sup>(2)</sup>Walkey Black; <sup>(3)</sup>CaCl<sub>2</sub>; <sup>(4)</sup>KCL 1 mol L<sup>-1</sup>; <sup>(5)</sup>Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 500 mol L<sup>-1</sup> de P em HOAc 2 mol L<sup>-1</sup>; <sup>(6)</sup>Água quente.

**Tabela 3.2.** Estatística descritiva dos atributos químicos de LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, profundidade 0 – 20 cm em áreas sob sistema plantio direto, após quatro cultivos consecutivos e dois sistemas de adubação.

Atributo	Cultivo	Adubação	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	CV%	Assimetria	Curtose
<b>Sistema Plantio Direto</b>									
P <sup>(1)</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	7,71	4,28	2,30	21,80	55	1,16	0,80
	2	Sulco	5,04	2,65	2,00	13,06	52	1,11	0,58
	3	Ausente	12,37	6,58	4,30	32,70	53	0,92	0,05
	4	Laço	9,41	4,60	3,10	20,50	49	0,71	-0,47
MOS <sup>(2)</sup> , g dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	48,94	3,12	41,63	56,41	6	-0,01	-0,04
	2	Sulco	46,55	4,53	34,91	56,41	10	-0,23	-0,52
	3	Ausente	49,36	2,94	41,63	55,06	6	-0,36	-0,34
	4	Laço	40,99	4,05	32,24	51,03	10	-0,13	-0,52
pH <sup>(3)</sup>	1	Ausente	4,04	0,18	3,70	4,60	4	0,88	0,42
	2	Sulco	3,99	0,16	3,70	4,60	4	0,86	1,34
	3	Ausente	4,07	0,18	3,70	4,60	4	0,60	0,26
	4	Laço	3,98	0,15	3,70	4,30	4	0,38	-0,64
Al <sup>(4)</sup> , cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	1,02	0,51	0,04	2,31	50	0,09	-0,46
	2	Sulco	1,07	0,49	0,00	1,92	46	-0,15	-0,87
	3	Ausente	1,16	0,49	0,03	2,12	42	-0,18	-0,66
	4	Laço	1,22	0,47	0,15	1,95	38	-0,38	-0,93
Ca <sup>(4)</sup> , cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	2,46	0,74	1,04	4,52	30	0,62	-0,19
	2	Sulco	2,64	0,83	1,14	4,91	31	0,48	-0,07
	3	Ausente	1,96	0,77	0,70	3,80	39	0,44	-0,67
	4	Laço	2,31	0,76	0,90	3,90	33	0,44	-0,83
Mg <sup>(4)</sup> , cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	1,12	0,35	0,29	1,98	31	0,40	-0,10
	2	Sulco	1,23	0,43	0,51	2,43	35	0,64	-0,12
	3	Ausente	0,84	0,25	0,30	1,52	30	0,27	-0,13
	4	Laço	1,09	0,40	0,30	1,91	37	0,12	-0,96
K <sup>(1)</sup> , cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,14	0,03	0,09	0,24	21	0,57	0,02
	2	Sulco	0,14	0,05	0,07	0,29	36	0,81	0,58
	3	Ausente	0,16	0,07	0,07	0,33	44	0,87	-0,23
	4	Laço	0,20	0,07	0,11	0,40	35	0,70	-0,23
V, %	1	Ausente	21,93	6,20	9,43	36,80	28	0,60	-0,34
	2	Sulco	23,76	6,47	13,42	43,00	27	0,58	-0,09
	3	Ausente	18,63	6,52	6,95	33,52	35	0,40	-0,57
	4	Laço	22,39	6,95	11,30	42,05	31	0,62	-0,40
S <sup>(5)</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	5,48	2,71	0,69	13,12	49	0,34	-0,28
	2	Sulco	6,29	2,53	1,02	11,03	40	-0,14	-0,85
	3	Ausente	3,12	0,14	2,81	3,44	4	-0,25	-0,48
	4	Laço	2,93	0,07	2,74	3,06	2	-0,42	-0,23
B <sup>(6)</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,90	0,06	0,77	1,06	7	0,23	-0,32
	2	Sulco	0,86	0,06	0,75	0,99	7	0,24	-0,41
	3	Ausente	0,97	0,04	0,88	1,08	4	-0,24	-0,43
	4	Laço	0,97	0,05	0,84	1,11	5	-0,24	-0,60
Fe <sup>(1)</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	70,66	28,29	18,81	128,35	40	0,34	-0,78
	2	Sulco	69,98	27,29	22,68	143,28	39	0,36	-0,39
	3	Ausente	37,65	6,90	24,32	60,12	18	0,76	0,45
	4	Laço	99,88	11,14	67,41	126,60	11	-0,26	-0,17
Cu <sup>(1)</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	4,25	1,20	2,09	7,21	28	0,28	-0,63
	2	Sulco	3,80	1,46	1,26	7,62	38	0,35	-0,48
	3	Ausente	2,36	0,37	1,61	3,33	16	0,04	-0,99
	4	Laço	4,14	0,35	3,53	5,22	8	0,66	0,09
Mn <sup>(1)</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	81,90	77,41	14,79	319,35	94	1,14	0,16
	2	Sulco	58,71	22,62	13,42	98,01	39	-0,01	-0,97
	3	Ausente	26,89	5,85	16,09	41,67	22	0,58	-0,20
	4	Laço	28,88	3,97	19,27	39,00	14	0,08	-0,28
Zn <sup>(1)</sup> , mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	1,62	0,63	0,54	4,90	39	1,78	7,01
	2	Sulco	3,53	1,41	0,94	6,42	40	0,34	-0,78
	3	Ausente	2,60	1,09	0,96	6,05	42	0,85	0,22
	4	Laço	1,92	0,68	0,64	3,67	35	0,32	-0,27

Extratores: <sup>(1)</sup>Mehlich-1; <sup>(2)</sup>Walkey Black; <sup>(3)</sup>CaCl<sub>2</sub>; <sup>(4)</sup>KCL 1 mol L<sup>-1</sup>; <sup>(5)</sup>Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 500 mol L<sup>-1</sup> de P em HOAc 2 mol L<sup>-1</sup>; <sup>(6)</sup>Água quente.

Os mapas de isolinhas (Figuras 1 a 5) são a representação da variabilidade espacial, mesmo para variáveis que apresentaram independência como primeiro e segundo cultivos do S e B, segundo do Ca e Fe e primeiro do Cu do PS. No SPD não apresentaram dependência: P no primeiro, segundo e quarto cultivos; terceiro cultivo do Mg, segundo do S; primeiro do Fe; segundo do Mn e primeiro e segundo do Zn. Para esses casos utilizou-se o interpolador não espacial IDW que atribui pesos ponderados aos pontos amostrais, de modo que a influência de um ponto sobre outro diminui com a distância do novo ponto a ser estimado (MITAS, MITASOVA; 1999).

A declividade das áreas de 6,9% no plantio com preparo do solo e 8,1 % no sistema plantio direto sentido oeste-leste foram importantes na avaliação dos resultados. No PS muitos atributos demonstraram tendência dos dados nos gráficos de dispersão, principalmente em relação à longitude, o que não ocorreu no SPD, comprovando a vulnerabilidade da fertilidade do solo nesse sistema de manejo.

Ao contemplar a pesquisa sobre erosão no estado do Paraná em que uma das áreas estudadas correspondeu à mesma desse estudo, verificou-se redução de 75% de perda de solo no SPD em relação ao PS (MERTEN, ARAÚJO, BARBOSA; 2016). Segundo os autores, quando o SPD é manejado de acordo com seus fundamentos básicos, tem capacidade de evitar erosão, mesmo em eventos extremos de precipitação de grande magnitude.

Os resultados dos parâmetros dos semivariogramas estão nas tabelas 3.3 e 3.4 e a comparação entre os manejos só foi possível para atributos que apresentaram variabilidade espacial no mesmo cultivo, em ambos os manejos.

Para o P a diferença da variabilidade pôde ser comparada apenas por um cultivo, pela ocorrência de Efeito pepita puro (Epp) em três cultivos do SPD. Esse, apresentou 29 m de alcance no PS e 11 m no SPD, porém para ambos o grau de dependência espacial foi moderado. Maiores alcances correspondem a maior correlação espacial e, portanto, distribuição espacial mais homogênea na área.

**Tabela 3.3.** Componentes de semivariância e classificação de dependência espacial ajustados aos atributos químicos do LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, profundidade de 0 – 20 cm em áreas sob plantio com preparo do solo, após quatro cultivos consecutivos e dois sistemas de adubação.

Atributo	Cultivo	Adubação	C <sub>0</sub> <sup>(1)</sup>	C <sub>1</sub> + C <sub>0</sub> <sup>(2)</sup>	A <sup>(3)</sup> (m)	Modelo	RD <sup>(4)</sup> (%)	Classificação da dependência
<b>Plantio com Preparo do Solo</b>								
P, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,1414	0,366	15	Exponencial	39	Moderada
	2	Sulco	0,7888	2,144	21	Exponencial	37	Moderada
	3	Ausente	1,6486	5,189	29	Gaussiano	32	Moderada
	4	Lanço	1,6402	2,302	20	Gaussiano	71	Moderada
MOS, g dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	1,8086	5,204	8	Esférico	35	Moderada
	2	Sulco	7,3686	14,949	14	Gaussiano	49	Moderada
	3	Ausente	2,6999	5,700	7	Esférico	47	Moderada
	4	Lanço	5,9700	11,950	16	Gaussiano	16	Forte
pH	1	Ausente	0,0035	0,007	23	Gaussiano	50	Moderada
	2	Sulco	0,0063	0,009	16	Exponencial	70	Moderada
	3	Ausente	0,0023	0,009	9	Gaussiano	25	Forte
	4	Lanço	0,0042	0,008	25	Exponencial	52	Moderada
Al, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0154	0,051	25	Gaussiano	30	Moderada
	2	Sulco	0,0453	0,075	17	Esférico	60	Moderada
	3	Ausente	0,0376	0,070	26	Gaussiano	54	Moderada
	4	Lanço	0,0612	0,094	22	Gaussiano	65	Moderada
Ca, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0337	0,100	17	Gaussiano	34	Moderada
	2	Sulco	0,1330	0,133	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	3	Ausente	0,0671	0,131	14	Gaussiano	51	Moderada
	4	Lanço	0,0544	0,161	20	Exponencial	34	Moderada
Mg, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0129	0,040	8	Gaussiano	32	Moderada
	2	Sulco	0,0505	0,107	12	Esférico	47	Moderada
	3	Ausente	0,0169	0,042	8	Gaussiano	40	Moderada
	4	Lanço	0,0552	0,127	19	Esférico	43	Moderada
K, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0001	0,001	10	Gaussiano	10	Forte
	2	Sulco	0,0022	0,004	18	Esférico	55	Moderada
	3	Ausente	0,0027	0,013	17	Exponencial	21	Forte
	4	Lanço	0,0028	0,006	15	Gaussiano	47	Moderada
V, %	1	Ausente	2,5600	8,435	21	Esférico	30	Moderada
	2	Sulco	7,0326	20,450	8	Esférico	34	Moderada
	3	Ausente	6,9009	15,370	16	Gaussiano	45	Moderada
	4	Lanço	8,1310	13,431	28	Gaussiano	60	Moderada
S, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	6,2454	6,245	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	2	Sulco	3,4516	3,452	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	3	Ausente	0,0053	0,010	12	Esférico	53	Moderada
	4	Lanço	0,0030	0,004	13	Exponencial	75	Moderada
B, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0065	0,006	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	2	Sulco	0,0031	0,003	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	3	Ausente	0,0004	0,001	11	Esférico	40	Moderada
	4	Lanço	0,0008	0,002	25	Exponencial	40	Moderada
Fe, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	37,6768	81,190	18	Exponencial	46	Moderada
	2	Sulco	858,5281	858,528	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	3	Ausente	5,6981	37,697	22	Exponencial	15	Forte
	4	Lanço	14,8838	30,737	20	Gaussiano	48	Moderada
Cu, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0161	0,016	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	2	Sulco	0,0203	0,053	29	Gaussiano	38	Moderada
	3	Ausente	0,0413	0,077	27	Exponencial	54	Moderada
	4	Lanço	0,0062	0,011	26	Gaussiano	56	Moderada
Mn, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	1,6137	3,529	12	Esférico	46	Moderada
	2	Sulco	6,2046	12,890	29	Exponencial	48	Moderada
	3	Ausente	2,4880	19,000	11	Gaussiano	13	Forte
	4	Lanço	2,0474	6,388	9	Esférico	32	Moderada
Zn, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0381	0,060	19	Exponencial	63	Moderada
	2	Sulco	0,0619	0,212	10	Exponencial	29	Moderada
	3	Ausente	9,1625	62,930	14	Gaussiano	14	Forte
	4	Lanço	0,0617	0,079	32	Exponencial	78	Fraca

<sup>(1)</sup>C<sub>0</sub>: efeito pepita; <sup>(2)</sup>C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>: patamar; <sup>(3)</sup>A:alcance; <sup>(4)</sup>RD: razão de dependência espacial (C<sub>0</sub>/C<sub>0</sub>+C) 100; <sup>(5)</sup>Epp: efeito pepita puro.

**Tabela 3.4.** Componentes de semivariância e classificação de dependência espacial ajustados aos atributos químicos do LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, profundidade de 0 – 20 cm em áreas sob sistema plantio direto, após quatro cultivos consecutivos e dois sistemas de adubação.

Atributo	Cultivo	Adubação	C <sub>0</sub> <sup>(1)</sup>	C <sub>1</sub> + C <sub>0</sub> <sup>(2)</sup>	A <sup>(3)</sup> (m)	Modelo	RD <sup>(4)</sup> (%)	Classificação da dependência
<b>Sistema Plantio Direto</b>								
P, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	18,8831	18,883	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	2	Sulco	7,0738	7,074	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	3	Ausente	26,6128	42,753	11	Exponencial	62	Moderada
	4	Lanço	21,7817	21,782	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
MOS, g dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	3,0286	7,964	11	Exponencial	38	Moderada
	2	Sulco	6,8242	11,080	16	Esférico	61	Moderada
	3	Ausente	3,7000	9,472	26	Exponencial	39	Moderada
	4	Lanço	2,0000	17,000	23	Exponencial	12	Forte
pH	1	Ausente	0,0119	0,029	11	Exponencial	41	Moderada
	2	Sulco	0,0113	0,023	11	Exponencial	49	Moderada
	3	Ausente	0,0093	0,031	7	Exponencial	30	Moderada
	4	Lanço	0,0156	0,021	12	Esférico	74	Moderada
Al, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,1322	0,225	27	Exponencial	59	Moderada
	2	Sulco	0,1082	0,211	13	Exponencial	51	Moderada
	3	Ausente	0,1585	0,240	20	Exponencial	66	Moderada
	4	Lanço	0,1408	0,219	11	Exponencial	64	Moderada
Ca, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,3405	0,490	15	Exponencial	69	Moderada
	2	Sulco	0,2023	0,541	8	Esférico	37	Moderada
	3	Ausente	0,2635	0,579	14	Exponencial	45	Moderada
	4	Lanço	0,3490	0,612	12	Gaussiano	57	Moderada
Mg, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0895	0,117	15	Exponencial	76	Fraca
	2	Sulco	0,0926	0,167	9	Exponencial	55	Moderada
	3	Ausente	0,0646	0,065	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	4	Lanço	0,0820	0,158	14	Exponencial	52	Moderada
K, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0006	0,001	13	Gaussiano	60	Moderada
	2	Sulco	0,0013	0,002	10	Exponencial	65	Moderada
	3	Ausente	0,0017	0,005	13	Gaussiano	34	Moderada
	4	Lanço	0,0038	0,005	13	Gaussiano	76	Fraca
V, %	1	Ausente	20,9355	36,406	16	Exponencial	57	Moderada
	2	Sulco	27,1889	36,359	20	Exponencial	75	Moderada
	3	Ausente	12,0000	41,847	11	Exponencial	29	Moderada
	4	Lanço	31,4933	48,526	11	Gaussiano	65	Moderada
S, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	4,4266	7,232	7	Esférico	61	Moderada
	2	Sulco	6,5582	6,558	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	3	Ausente	0,0123	0,020	28	Gaussiano	61	Moderada
	4	Lanço	0,0029	0,005	22	Exponencial	58	Moderada
B, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0021	0,004	15	Esférico	52	Moderada
	2	Sulco	0,0027	0,003	13	Exponencial	90	Fraca
	3	Ausente	0,0012	0,002	28	Gaussiano	60	Moderada
	4	Lanço	0,0006	0,002	26	Esférico	30	Moderada
Fe, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	828,1306	828,131	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	2	Sulco	553,7924	743,037	12	Exponencial	75	Moderada
	3	Ausente	27,0359	50,602	15	Exponencial	53	Moderada
	4	Lanço	58,5918	114,430	16	Gaussiano	51	Moderada
Cu, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	1,0172	1,508	8	Gaussiano	67	Moderada
	2	Sulco	1,4145	2,005	9	Exponencial	70	Moderada
	3	Ausente	0,0825	0,142	28	Exponencial	58	Moderada
	4	Lanço	0,0883	0,115	31	Exponencial	77	Fraca
Mn, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	3997,3925	6470,276	22	Esférico	62	Moderada
	2	Sulco	502,6514	502,651	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	3	Ausente	16,2439	33,500	15	Exponencial	48	Moderada
	4	Lanço	6,6441	14,929	20	Exponencial	44	Moderada
Zn, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,3973	0,397	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	2	Sulco	2,1361	2,136	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	3	Ausente	0,5676	1,198	28	Gaussiano	47	Moderada
	4	Lanço	0,1959	0,4700	16	Exponencial	42	Moderada

<sup>(1)</sup>C<sub>0</sub>: efeito pepita; <sup>(2)</sup>C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>: patamar; <sup>(3)</sup>A:alcance; <sup>(4)</sup>RD: razão de dependência espacial (C<sub>0</sub>/C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>) 100; <sup>(5)</sup>Epp: efeito pepita puro.

Dezembro de 2013 foi um mês mais seco em relação à média da região (95 mm a menos de precipitação) e interferências nos resultados da adubação realizada no sulco de semeadura de novembro do mesmo ano, no plantio do milho, podem ter ocorrido principalmente em relação ao P, cuja relação de disponibilidade e umidade do solo já foi discutida.

De modo geral, os alcances não apresentaram uniformidade de valores entre cultivos e manejos. Apenas o K indicou maior aproximação apesar das variações quanto ao grau de dependência espacial. O SPD atingiu 10 e 13 m e dependência moderada nos três primeiros cultivos e fraca no último enquanto o PS atingiu de 10 a 18 m e dependências forte nos cultivos que não receberam adubações e moderada nos adubados.

Apesar das características de variabilidade superiores do K no PS, é importante destacar que esse nutriente não se movimenta muito no solo e tende a permanecer onde é colocado pela adubação e ou revolvimento da sua área de permanência.

Alcances semelhantes foram obtidos pelo Ca no terceiro cultivo com 14 m de distância. O SPD demonstrou menor variação entre cultivos, apesar de alcances inferiores ao PS e, assim como o Al e V%, esse elemento indicou dependência moderada em todos as avaliações.

Para Al e V% também foram atribuídos maiores alcances em três cultivos do PS, mas para esses as adubações parecem ter sido responsivas nos resultados do SPD onde o Al diminuiu a área de correlação no espaço com as duas adubações e a V% aumentou em sulco de semeadura.

O Mg variou entre 8 a 19 m no PS e 9 a 15 m no SPD e o único cultivo cujo alcance foi maior no SPD teve grau de dependência fraco e, para os demais, moderado. Quanto maior a razão de dependência espacial menor a força de relação entre as observações.

Em relação a MOS maiores alcances foram atribuídos ao SPD cuja classificação de dependência foi moderada nos três primeiros cultivos e forte no último para os dois manejos. Já para as análises de pH, os resultados indicaram alcances bem superiores no PS variando de 9 a 25 m quando comparados aos de 7 a 12 m no SPD, apesar de esse ter atingido maior uniformidade entre os cultivos. A única classificação de dependência forte desse atributo foi no terceiro cultivo do PS e moderada para os outros.

Quanto ao Fe, apesar da melhor resposta de alcance ter sido no PS, seus resultados foram equilibrados entre os cultivos nos dois manejos, ao contrário do Zn que apontou 14 e 32 m no PS e 28 e 16 m no SPD. Dependências moderadas foram atribuídas ao Fe no SPD e quarto cultivo do PS, e ao Zn no terceiro e quarto cultivos do SPD, forte para o Zn no terceiro cultivo do PS e fraca também para o Zn no quarto cultivo do PS.

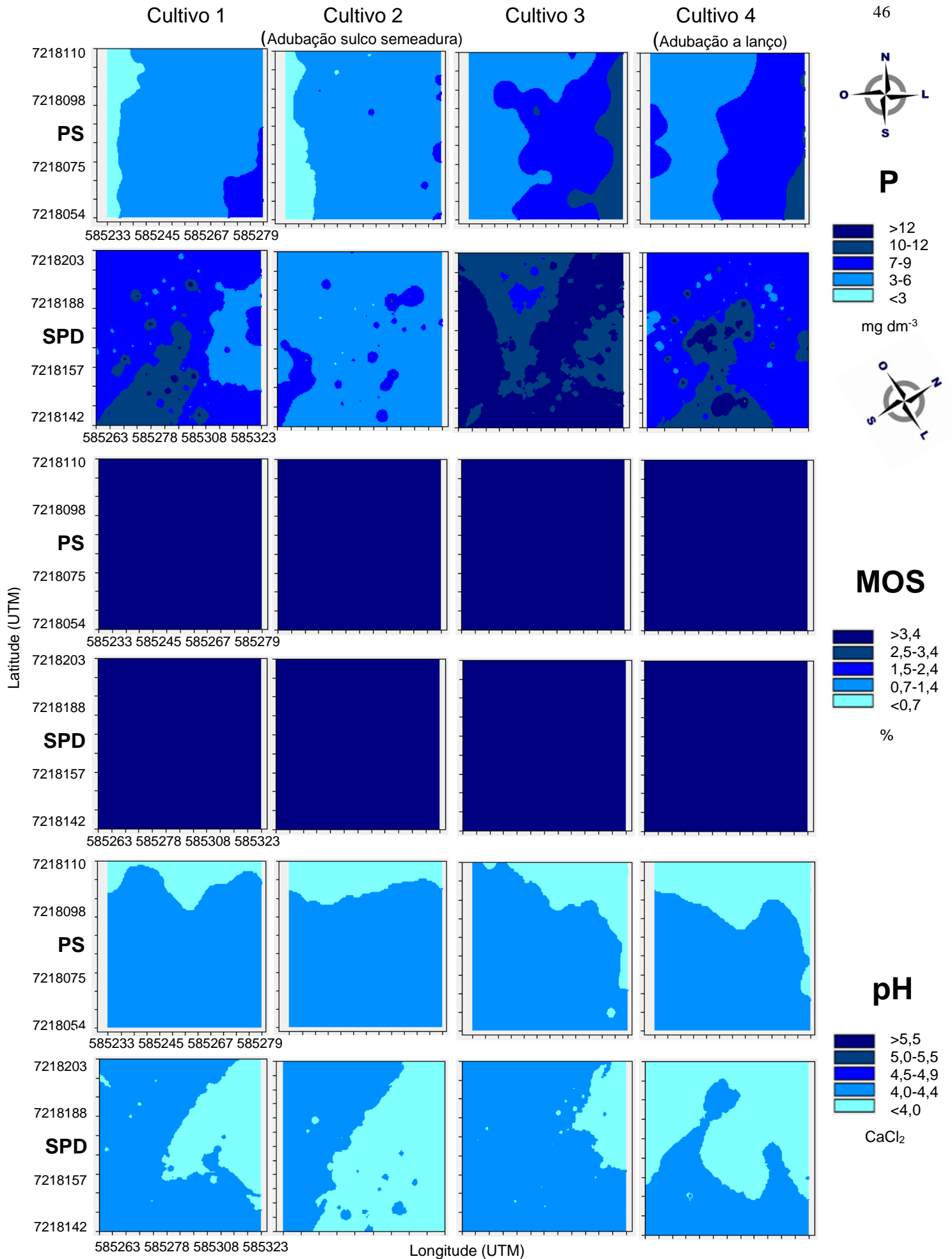
Os teores do B, Cu e Mn e o S demonstraram maiores alcances no SPD e apenas no quarto cultivo do Cu o grau de dependência foi fraco. Para todos os outros a classificação moderada prevaleceu.

Cabe destacar que em novembro de 2014, mês que foi realizada adubação a lanço, a precipitação de 50 mm acima da média pode ter influenciado o comportamento dos elementos que se movimentam por fluxo de massa, como o S e os micronutrientes (Malavolta, 1980), por favorecer que atingissem camadas mais profundas do solo cujas análises não foram exploradas e, pela própria perda por lixiviação no PS pela desproteção do solo.

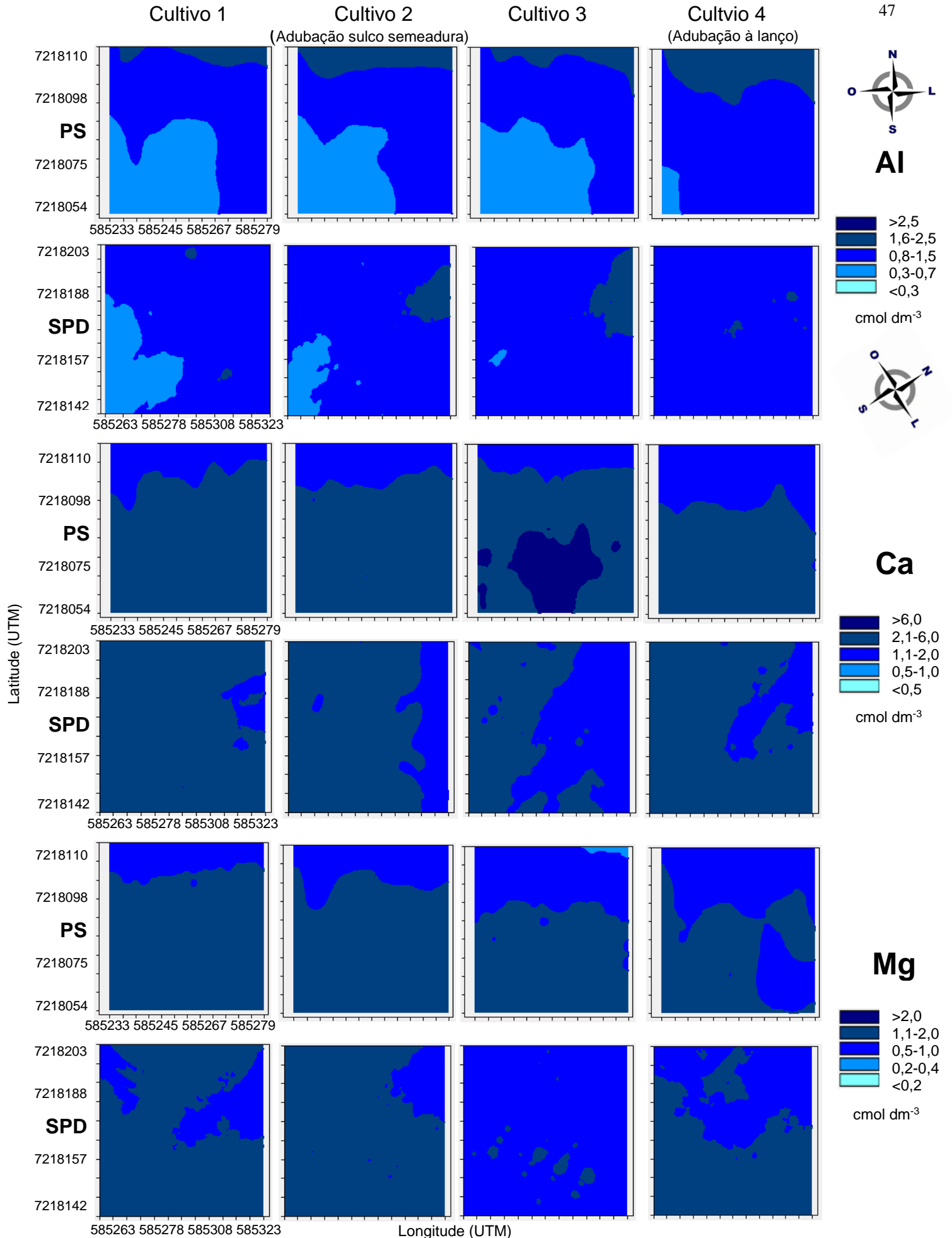
Tão importante quanto conhecer essa diferença é determinar através dos mapas, áreas específicas de concentração de cada atributo que possibilitem otimizar a adubação através da aplicação a taxas variáveis dada pela agricultura de precisão.

A estreita relação do pH com a saturação por bases e sítios de concentração dos atributos do solo exibidos nos mapas são informações seguras e concretas geradas pela geoestatística, mas é no efeito da declividade da área sob PS, aliada a alta fertilidade das áreas estudadas, condições climáticas favoráveis a manutenção da MOS e períodos atípicos de seca e precipitação ocorridos durante as avaliações que pode haver interferências no comportamento dos atributos e mascarar possíveis efeitos dos resultados.

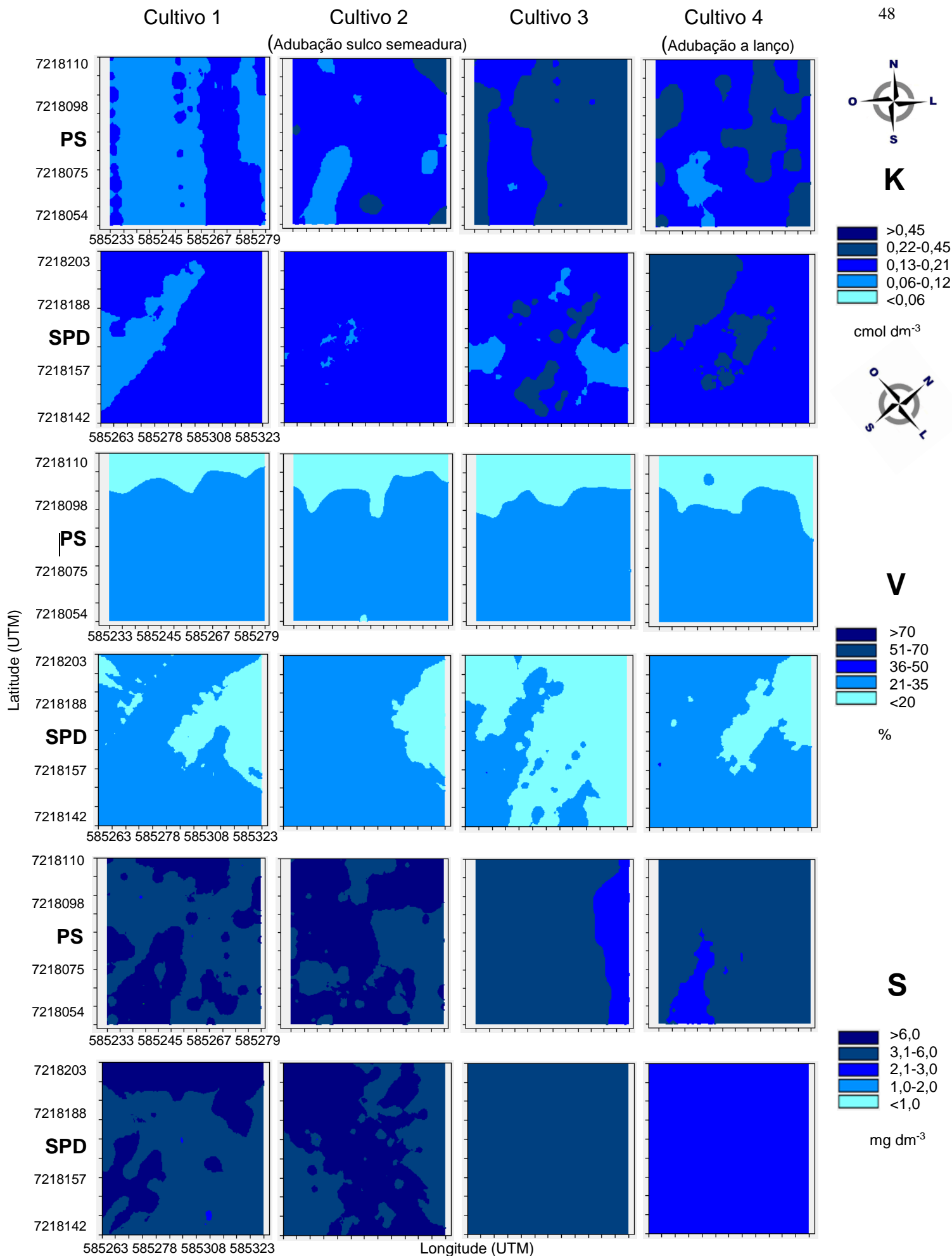
Assim, mesmo com a predominância da variabilidade espacial beneficiada no PS pesquisas adicionais que levem em consideração condições diversas a essas, são importantes para novas respostas. É através do complexo conjunto de informações que se torna possível alcançar os propósitos de produção, conservação e economia necessários ao processo agrícola.



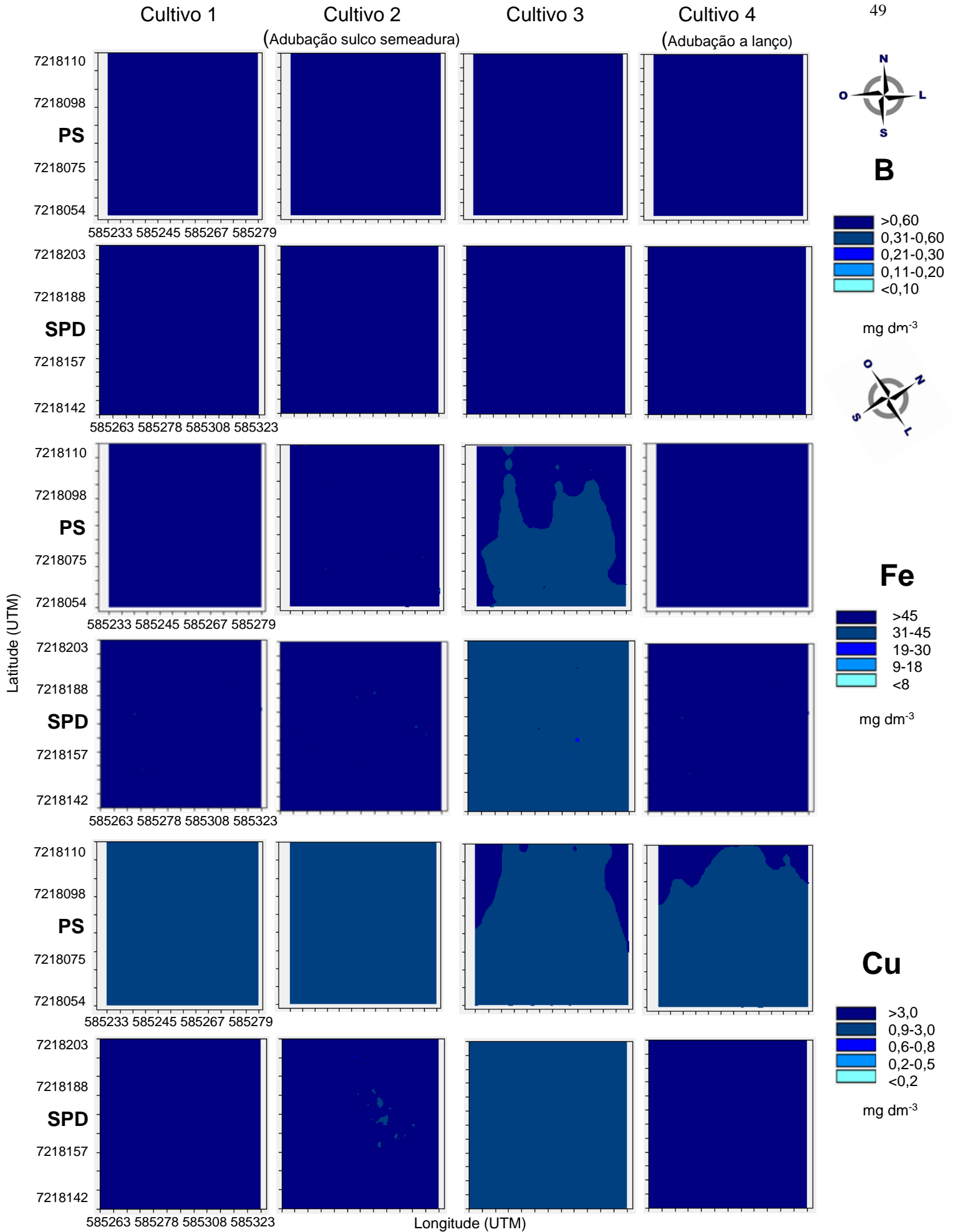
**Figura 1.** Mapas de isolinhas baseados nos teores de P, MOS e pH no solo, camada 0 – 20 cm, em áreas de Ponta Grossa, PR, sob plantio com preparo do solo (PS) e direto (SPD) manejados por longo período, em quatro amostragens pós cultivos e dois sistemas de adubação.



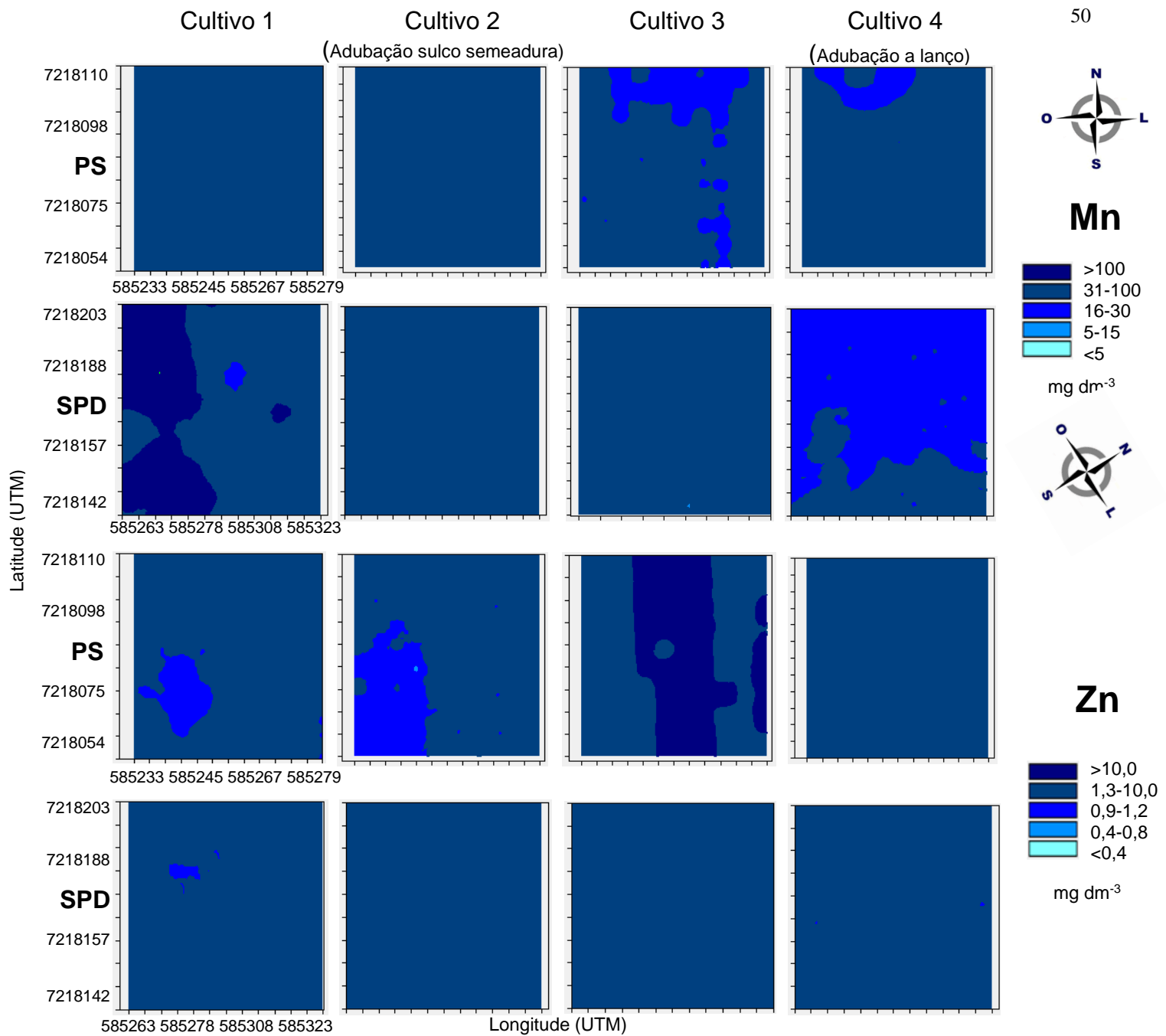
**Figura 2.** Mapas de isolinhas baseados nos de teores de Al, Ca e Mg no solo, camada de 0 – 20 cm, em áreas de Ponta Grossa, PR, sob plantio com preparo do solo (PS) e direto (SPD) manejados por longo período, em quatro amostragens pós cultivos e dois sistemas de adubação.



**Figura 3.** Mapas de isolinhas baseados nos teores de K, V% e S no solo, camada de 0 – 20 cm, em áreas de Ponta Grossa, PR, sob plantio com preparo do solo (PS) e direto (SPD) manejados por longo período, em quatro amostragens pós cultivos e dois sistemas de adubação.



**Figura 4.** Mapas de isolinhas baseados nos de teores de B, Fe e Cu no solo, camada de 0 – 20 cm, em áreas de Ponta Grossa, PR, sob plantio com preparo do solo (PS) e direto (SPD) manejados por longo período, em quatro amostragens pós cultivos e dois sistemas de adubação.



**Figura 5.** Mapas de isolinhas baseados nos de teores de Mn e Zn no solo, camada de 0 – 20 cm, em áreas de Ponta Grossa, PR, sob plantio com preparo do solo (PS) e direto (SPD) manejados por longo período, em quatro amostragens pós cultivos e dois sistemas de adubação.

### 3.6 CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que SPD manejado em áreas sob LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico por longo período possui maior correlação espacial para MOS, S e os micronutrientes B, Cu e Mn. Os demais atributos, P, pH, Al, Ca, Mg, K, V%, Fe e Zn tiveram maiores alcances atribuídos ao PS.

As áreas apresentaram alta fertilidade em ambos os manejos e não houve respostas para os dois sistemas de adubações testados, a lanço e sulco de semeadura.

Situações específicas e relevantes podem ter interferido no resultado das avaliações a saber: condições climáticas da região favoráveis a manutenção da MOS e fertilidade, interferência da declividade da área sob PS e ocorrência de seca e precipitação acima da média durante as avaliações. Assim, novas pesquisas que compensem essas essas adversidades são necessárias para melhor definição dos resultados.

## **4 ARTIGO B: VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO E PREPARO DO SOLO PARA DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANEJO E PESQUISA CIENTÍFICA.**

### **4.1 RESUMO**

Os avanços tecnológicos e científicos que visem a preservação dos recursos naturais e aumento da produtividade no setor agrícola necessitam ser sempre continuado em função dos desafios recorrentes da evolução. O objetivo desse trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo nos Sistemas Plantio Direto e com preparo do solo para fins de manejo, pesquisa e aplicação na agricultura de precisão. Para isso foram coletadas amostras na profundidade de 0 – 20 cm, com 5 m de distância entre os pontos, totalizando 100 pontos amostrados por manejo, iniciadas em setembro de 2013 após a colheita de inverno e mantidas após os três cultivos sob LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico de textura argilosa e adubações a lanço e em linha de semeadura. Os atributos estudados foram P, K, Ca, Mg, Al, S, MO, pH, V%, e os micronutrientes B, Fe, Cu, Mn e Zn. Após análise química, os resultados foram submetidos à análise estatística descritiva e a geoestatística, através do estudo de semivariogramas e krigagem que possibilitaram a geração dos mapas de isolinhas. Os resultados demonstraram que não houve diferença entre as adubações e definição de alcances específicos dos atributos mas o sistema plantio direto mostrou maior homogeneidade entre cultivos e atributos. O grau de dependência espacial moderado prevaleceu em ambos os manejos. O sistema plantio direto teve maiores índices de efeito pepita puro e quando houve dependência espacial, o modelo de semivariograma exponencial predominou. As declividades do plantio com preparo do solo influenciaram o ajuste dos semivariogramas pela tendência dos dados.

**Palavras-chave:** Amostragem. Manejo do solo. Agricultura de precisão.

## **SPATIAL VARIABILITY OF SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES IN AREAS UNDER NO-TILLAGE AND SOIL TILLAGE FOR DEFINITION OF MANAGEMENT STRATEGIES AND SCIENTIFIC RESEARCH.**

### **4.2 ABSTRAT**

Technological and scientific advances aimed at the preservation of natural resources and increasing productivity in the agricultural sector need to be continually continued in the light of the recurrent challenges of evolution. The objective of this work was to evaluate the spatial variability of soil chemical attributes in no - tillage and conventional systems for management, research and application in precision agriculture. For this purpose, samples were collected at a depth of 0 - 20 cm, with a distance of 5 m between the points, totaling 100 points sampled by management, started in September 2013 after the winter harvest and maintained after the three crops under dystrophic Red Latosol of clayey texture and fertiizer the throwing and seeding line. The attributes studied were P, K, Ca, Mg, Al, S, MO, pH, V%, and the micronutrients B, Fe, Cu, Mn and Zn. After chemical analysis, the results were submitted to descriptive statistical analysis and to geostatistics, through the study of semivariograms and kriging that enabled the generation of the isoline maps. The results showed that there was no difference between the fertilizers and definition of specific ranges of attributes but the no-tillage system showed greater homogeneity between crops and attributes. The degree of moderate spatial dependence prevailed in both managements. The no-tillage system had higher rates of pure nugget effect and when there was spatial dependence, the exponential semivariogram model predominated. The declivities of conventional tillage influenced the adjustment of semivariograms by the trend of the data.

**Keywords:** Sampling. Soil management. Precision agriculture.

### 4.3 INTRODUÇÃO

O setor agrícola já alcançou muitos avanços científicos e tecnológicos, mas com desafios cada vez mais complexos é importante concentrar esforços mais abrangentes e integrados para soluções mais eficientes (ASSOCIAÇÃO MATO-GROSSENSE DOS PRODUTORES DE ALGODÃO; ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE SOJA E MILHO DE MATO GROSSO; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA, 2016).

Muitos estudos sobre as propriedades químicas do solo apresentarem dependência espacial já foram confirmados (CARVALHO; SILVEIRA; VIEIRA, 2002; CAVALCANTE et al., 2007; ZANÃO JÚNIOR et al., 2010; DALCHIAVON et al., 2012; NEGREIROS NETO et al., 2014; BROWN et al., 2018), mas a especificidade para estratégias de manejo e pesquisa são importantes para subsidiar a eficácia das aplicações.

Os diversos atributos químicos do solo se comportam de maneira diferenciada sob variadas formas de relevo, manejo agrícola, e pelos processos erosivos (SOUZA et al., 2008). Ainda, de acordo com Silva e Chaves (2001) e Carvalho et al. (1998), em uma área cultivada, os atributos químicos apresentam maior variação que as propriedades físicas e a utilização da média em amostragens aleatórias não é a forma mais adequada para caracterizar toda uma classe de solo.

A geoestatística estuda a variabilidade espacial pela descrição da continuidade de ocorrências que sofrem alterações no espaço, com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem. Com ela é possível estimar a presença do atributo em locais não amostrados, orientar futuras amostragens e modelagens de uso e manejo do solo e mapear áreas para propósitos afins (VIEIRA et al., 1983). Dessa forma consiste uma ferramenta fundamental para agricultura de precisão, possibilitando a interpretação de resultados inerentes à variação no espaço, para futuras ações de manejo.

O contexto da agricultura de precisão proporciona através de informações geográficas, espacialização e aumento da eficiência produtiva a partir da racionalização do uso de insumos, controle eficiente dos fatores de produção, preservação dos recursos naturais e a identificação de subáreas com limitações ou potencialidades para incremento de produtividade (MOLIN; AMARAL; COLAÇO,

2015). Souza et al. (2008), mencionam também a importância dessa tecnologia na identificação de fatores que podem afetar decisivamente os resultados de pesquisas.

O objetivo desse trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial dos atributos do solo em dois sistemas manejo, plantio com preparo do solo (PS) e Sistema Plantio Direto (SPD), consolidados há mais de três décadas sob adubação a lanço e no sulco de semeadura.

#### 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental está situada no município de Ponta Grossa, PR, latitude 25° 09' S e longitude 50° 09' W e segundo Köppen (1948), possui clima do tipo Cfb, subtropical úmido, caracterizado por temperaturas anuais médias inferiores a 21°C e precipitação pluvial total anual entre 1.300 a 1.800 mm, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, 2000).

De acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos, a área é formada por LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico (SANTOS et al., 2013) com aproximadamente 680 g kg<sup>-1</sup> de argila sendo manejado desde 1981 com SPD e PS. O SPD é mecanizado e o manejo com preparo do solo é realizado com arado de disco reversível (Ø 0,60 m), após a colheita do cultivo de verão e outra após o manejo de inverno, a 0,20 m de profundidade, seguido por duas gradagens leves (Ø 0,40 m).

As áreas são submetidas à rotação de culturas envolvendo soja (*Glycine max* (L.) Merril) e milho (*Zea mays* L.) alternados no verão e aveia (*Avena strigosa*) e ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth) no inverno desde 1995. A rotação anterior a esse período também correspondeu às culturas de soja ou milho no verão, porém no inverno o manejo se deu com aveia, trigo (*Triticum* spp) ou tremoço (*Lupinus angustifolius*).

Adubações foram realizadas de forma distinta entre as culturas durante o experimento. O milho recebeu 300 kg ha<sup>-1</sup> de NPK (4-30-10) no sulco de semeadura e 100 kg ha<sup>-1</sup> de ureia a lanço e a soja, 300 kg ha<sup>-1</sup> de NPK (0-16-12) a lanço. Para o cultivo de aveia e ervilha não houve adubação.

As áreas experimentais possuíam dimensão de 100 m x 50 m para o PS e 100 m x 100 m para o SPD, com declividades sentido oeste-leste de 6,9 e 8,1 %, respectivamente. O grid de amostragens do solo em cada manejo correspondeu

a 45 m x 45 m, dividida em malha com espaçamento de 5 m entre os pontos, totalizando 100 pontos georreferenciados por manejo em cada cultivo.

As amostras simples foram coletadas a profundidade de 0 – 20 cm com auxílio de trado em setembro de 2013 após o cultivo da cultura de inverno e se estendeu até fevereiro de 2015, sempre após as colheitas (apêndice B) e nas mesmas localizações.

Os atributos químicos analisados foram pH ( $\text{CaCl}_2$ ); P e K (Mehlich-1); Ca, Mg e Al trocáveis ( $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ ); S [ $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , 500 mg  $\text{L}^{-1}$  de P em HOAc 2 mol  $\text{L}^{-1}$ ]; MOS (Walkley Black) e saturação por bases (V %), todos de acordo com metodologia descrita por Pavan et al. (1992). Os micronutrientes B (água quente); Fe, Cu, Mn e Zn (Mehlich-1) seguiram a metodologia descrita por Silva (1999). Com os resultados das análises química analisaram-se os valores extremos e *outliers* e, quando ocorridos, foram excluídos do banco de dados a fim de não influenciarem as inferências estatísticas.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa GS+ (Gamma Design Software, 2000), obtendo-se os resultados descritivos de média, desvio padrão, valor máximo, valor mínimo, coeficientes de variação, assimetria e curtose assim como os resultados da geoestatística, a qual possibilitou avaliar a variabilidade espacial dos atributos estudados, conforme metodologia proposta por Vieira et al. (1983).

A dependência espacial entre as amostras foi determinada por meio de ajuste das semivariâncias experimentais ao melhor modelo matemático, com base no maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), menor soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e na validação cruzada. Foram testados os modelos esférico, exponencial e gaussiano.

Os semivariogramas correspondem a gráficos que associam distâncias com semivariâncias para descrição da dependência espacial, dados pela tendência de que o valor de uma variável associada a determinada localização, se assemelha mais ao valor de suas amostras vizinhas mais próximas que ao restante das localizações do conjunto amostral (CARNEIRO et al., 2016). Com eles se determina:  $C_0$ : efeito pepita;  $C_1$ : variância estrutural e  $a$ : alcance.

Ao haver tendência nos dados da variável em análise, constatada pela dificuldade de ajuste do semivariograma e pelo gráfico de dispersão, procedeu-se a retirada de tendência conforme sugerido por Vieira et al. (1983), trabalhando

com o semivariograma dos resíduos. Dessa forma, foi possível obter melhores ajustes do semivariograma com tendência a estacionariedade.

Silva, Guimarães e Tavares (2008), mencionam que uma variável com tendência pode induzir ajustes de modelos de dependência espacial diferente do modelo real. Assim, após sua remoção, foi realizada nova análise geoestatística e posteriormente adicionadas aos dados interpolados, para a confecção dos mapas.

A razão de dependência espacial entre as amostras dada pelo efeito pepita e o patamar ( $C_0 + C_1$ ) foi classificada segundo Cambardella et al., (1994) cujo valor menor que 0,25 expressa dependência espacial forte, entre 0,25 e 0,75 dependência moderada e valores maiores que 0,75 dependência fraca.

Com base no modelo de dependência espacial, descrito pelo semivariograma, estimou-se valores para locais não amostrados considerando que a área que compreende o alcance estipulado pelo semivariograma possui valores semelhantes. Com isso, foram construídos mapas de isolinhas utilizando a técnica de interpolação por krigagem e níveis de interpretação dos atributos propostos por Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999) e Pauletti e Motta (2017).

Para variáveis que não apresentaram dependência espacial, foi utilizado o método Inverso do Quadrado da Distância (IDW) para interpolação dos dados.

#### 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variabilidade de um atributo pode ser determinada pelo coeficiente de variação na estatística descritiva, voltada para a distribuição de frequência dos dados. Com ela, é possível obter uma visão geral do comportamento da variável, o qual auxilia nos parâmetros de avaliação na análise geoestatística, ao interpretar informações pontuais das variáveis no espaço, através da correlação espacial das amostras.

A estatística descritiva dos resultados das análises química obtidas nas áreas avaliadas mostrou que, em geral, os valores médios apresentaram-se na maioria altos, exceto P no PS e pH em  $\text{CaCl}_2$  e saturação por bases (V%) que foram baixo em ambos os manejos (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999; PAULETTI; MOTTA, 2017).

De acordo com a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980) coeficientes de variação baixos no PS foram constatados para pH, B, Cu, Mn, primeiro, terceiro e quarto cultivos da MOS e terceiro e quarto do S. No SPD foram baixos para MOS, pH, B, terceiro e quarto cultivos do S e quarto cultivo do Fe e do Cu. As demais variações predominaram média.

Para os resultados de assimetria e curtose, com exceção do K no PS e P, Mn e Zn no SPD que apresentaram valores maiores que um para alguns cultivos, as distribuições de frequência dos atributos seguiram próximas a normal e simétricas.

Na análise geoestatística, o ajuste dos semivariogramas, a dependência espacial e os alcances atribuídos às variáveis estão descritos nas tabelas 4.1 e 4.2. Dada especificidade de cada atributo e manejo foi possível verificar comportamentos específicos das variáveis de acordo com suas características intrínsecas.

O PS demonstrou tendência dos dados para a maioria dos atributos, com exceção do K. Além da tendência no sentido oeste-leste cuja declividade é de 6,9%, verificou-se também tendências no sentido norte-sul, inclusive em maior ocorrência, mesmo com declividade inferior, 4%. Houve casos também que a tendência se deu em ambos os sentidos deixando evidente a vulnerabilidade dos atributos ao solo descoberto neste tipo de manejo.

Apesar de menor intensidade casos de tendência também foram encontrados no SPD impedindo o ajuste dos semivariogramas. Para estes casos foi necessário retirar as tendências para que houvesse estacionariedade dos mesmos.

O P, pela sua baixa mobilidade apresentou efeito pepita puro (Epp) nos cultivos 1, 2 e 4 do SPD cujo solo não é revolvido. Epp ocorrem quando não é possível determinar a variabilidade dos dados seja pelo alcance ser inferior à distância de coleta das amostras, seja pela invariabilidade natural atribuída a variável (Silva et al., 1989). Apesar dos trabalhos de Souza e Lobato (2004) demonstrarem baixa mobilidade e a concentração desse nutriente em adubações no sulco de semeadura quando comparadas à adubação à lanço, para este caso as adubações não interferiram na variabilidade na área sob PS.

Por ocorrerem em pequenas quantidades no solo, muitos micronutrientes também demonstraram Epp, mas não houve padrão entre os manejos e cultivos com exceção do S que manifestou Epp no cultivo 2 do PS e SPD.

Em relação aos semivariogramas o PS apresentou maior incidência do modelo gaussiano com 39%, seguido de 27% do exponencial, 22 % esférico e 13% Epp. Não houve atributo que apresentasse homogeneidade de semivariograma entre os cultivos, mas a MOS, pH, Mg, Cu e Zn apresentaram o mesmo modelo cujos cultivos receberam adubação.

No SPD a ocorrência de 54% do modelo exponencial caracteriza-o como principal tendência de semivariograma para esse tipo de manejo contra 18% do modelo gaussiano, 16% de Epp e 13% esférico e, assim como no PS em que os atributos não tiveram modelos característicos para os quatro cultivos, apenas o Al demonstrou uniformidade exponencial e o Mg e Cu mesmo modelo nos cultivos que receberam adubação.

O grau de dependência espacial representa a intensidade de dependência das variáveis. Nesse estudo a classificação de dependência moderada predominou em ambos os manejos com 41 e 42 ocorrências no PS e SPD, respectivamente. Outro parâmetro interessante foi apenas um caso de dependência fraca no PS e 1 forte no SPD representando o efeito da mobilidade do solo. Grau de dependência fraco e alcance curto, como Mg, K e B no SPD, caracterizaram dependência espacial baixa.

O alcance é o principal parâmetro para aplicação prática do estudo da variabilidade espacial. Indica a distância máxima em que o atributo está correlacionado espacialmente, delimitando a extensão da correlação espacial entre as amostras (DALCHIAVON et al., 2012) correspondentes ao raio das áreas consideradas homogêneas (LIMA et al., 2014).

Quanto a sua avaliação os resultados indicaram que o SPD apresentou maior uniformidade de alcance dos atributos quando comparados ao PS. O K teve alcance calculado de 13 m em 3 cultivos e 10 m quando a adubação foi realizada no sulco de semeadura. pH, Ca, Mg, Fe e Mn tiveram alcance variando de 4 a 7 m entre cultivos e a MOS, S, B e Cu com maiores alcances nos cultivos 3 e 4. O Zn obteve alcances de 16 e 28 m e o alcance calculado para o P foi 11 m, devido ao Epp dos outros cultivos.

No PS nota-se a falta de padronização das distâncias atingidas pelo P com variações de 15 a 29 m, pH de 9 a 25 m, K 10 a 18 m, V% 8 a 28 m, Mn, 9 a 29 m e Zn 10 a 32 m. O P parece ter respondido às adubações de maneira semelhante com alcances aproximados nos cultivos onde foram depositados os

adubos. Al teve sua concentração diminuída nos cultivos adubados e Ca, S, Fe e Cu demonstraram maior uniformidade apesar dos Epp apresentados. Em suma, não foi observado semelhança entre os manejos em relação aos alcances.

Em relação aos patamares pH, Al, Ca, K, e B apresentaram semelhanças entre os cultivos nos manejos específicos. Esse parâmetro indica a variância dos dados onde geralmente o semivariograma se estabiliza (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

A falta de uniformidade dos resultados dificulta a definição de estratégias de amostragem e adubação, principalmente em relação aos curtos alcances calculados para os atributos nos diferentes manejos. Todavia, são importantes para a aplicação prática na agricultura de precisão, a qual trata de forma pontual cada necessidade da área tentando uniformizar a fertilidade do solo, diminuir a variabilidade espacial e aumentar o alcance geoestatístico (CARNEIRO et al., 2016).

**Tabela 4.1.** Componentes de semivariância e classificação de dependência espacial ajustados aos atributos químicos do LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, profundidade de 0 – 20 cm em áreas sob plantio com preparo do solo, após quatro cultivos consecutivos e dois sistemas de adubação.

Atributo	Cultivo	Adubação	C <sub>0</sub> <sup>(1)</sup>	C <sub>1</sub> + C <sub>0</sub> <sup>(2)</sup>	A <sup>(3)</sup> (m)	Modelo	RD <sup>(4)</sup> (%)	Classificação da dependência
<b>Plantio com Preparo do Solo</b>								
P, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,1414	0,366	15	Exponencial	39	Moderada
	2	Sulco	0,7888	2,144	21	Exponencial	37	Moderada
	3	Ausente	1,6486	5,189	29	Gaussiano	32	Moderada
	4	Lanço	1,6402	2,302	20	Gaussiano	71	Moderada
MOS, g dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	1,8086	5,204	8	Esférico	35	Moderada
	2	Sulco	7,3686	14,949	14	Gaussiano	49	Moderada
	3	Ausente	2,6999	5,700	7	Esférico	47	Moderada
	4	Lanço	5,9700	11,950	16	Gaussiano	16	Forte
pH	1	Ausente	0,0035	0,007	23	Gaussiano	50	Moderada
	2	Sulco	0,0063	0,009	16	Exponencial	70	Moderada
	3	Ausente	0,0023	0,009	9	Gaussiano	25	Forte
	4	Lanço	0,0042	0,008	25	Exponencial	52	Moderada
Al, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0154	0,051	25	Gaussiano	30	Moderada
	2	Sulco	0,0453	0,075	17	Esférico	60	Moderada
	3	Ausente	0,0376	0,070	26	Gaussiano	54	Moderada
	4	Lanço	0,0612	0,094	22	Gaussiano	65	Moderada
Ca, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0337	0,100	17	Gaussiano	34	Moderada
	2	Sulco	0,1330	0,133	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	3	Ausente	0,0671	0,131	14	Gaussiano	51	Moderada
	4	Lanço	0,0544	0,161	20	Exponencial	34	Moderada
Mg, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0129	0,040	8	Gaussiano	32	Moderada
	2	Sulco	0,0505	0,107	12	Esférico	47	Moderada
	3	Ausente	0,0169	0,042	8	Gaussiano	40	Moderada
	4	Lanço	0,0552	0,127	19	Esférico	43	Moderada
K, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0001	0,001	10	Gaussiano	10	Forte
	2	Sulco	0,0022	0,004	18	Esférico	55	Moderada
	3	Ausente	0,0027	0,013	17	Exponencial	21	Forte
	4	Lanço	0,0028	0,006	15	Gaussiano	47	Moderada
V, %	1	Ausente	2,5600	8,435	21	Esférico	30	Moderada
	2	Sulco	7,0326	20,450	8	Esférico	34	Moderada
	3	Ausente	6,9009	15,370	16	Gaussiano	45	Moderada
	4	Lanço	8,1310	13,431	28	Gaussiano	60	Moderada
S, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	6,2454	6,245	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	2	Sulco	3,4516	3,452	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	3	Ausente	0,0053	0,010	12	Esférico	53	Moderada
	4	Lanço	0,0030	0,004	13	Exponencial	75	Moderada
B, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0065	0,006	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	2	Sulco	0,0031	0,003	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	3	Ausente	0,0004	0,001	11	Esférico	40	Moderada
	4	Lanço	0,0008	0,002	25	Exponencial	40	Moderada
Fe, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	37,6768	81,190	18	Exponencial	46	Moderada
	2	Sulco	858,5281	858,528	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	3	Ausente	5,6981	37,697	22	Exponencial	15	Forte
	4	Lanço	14,8838	30,737	20	Gaussiano	48	Moderada
Cu, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0161	0,016	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	2	Sulco	0,0203	0,053	29	Gaussiano	38	Moderada
	3	Ausente	0,0413	0,077	27	Exponencial	54	Moderada
	4	Lanço	0,0062	0,011	26	Gaussiano	56	Moderada
Mn, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	1,6137	3,529	12	Esférico	46	Moderada
	2	Sulco	6,2046	12,890	29	Exponencial	48	Moderada
	3	Ausente	2,4880	19,000	11	Gaussiano	13	Forte
	4	Lanço	2,0474	6,388	9	Esférico	32	Moderada
Zn, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0381	0,060	19	Exponencial	63	Moderada
	2	Sulco	0,0619	0,212	10	Exponencial	29	Moderada
	3	Ausente	9,1625	62,930	14	Gaussiano	14	Forte
	4	Lanço	0,0617	0,079	32	Exponencial	78	Fraca

<sup>(1)</sup>C<sub>0</sub>: efeito pepita; <sup>(2)</sup>C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>: patamar; <sup>(3)</sup>A:alcance; <sup>(4)</sup>RD: razão de dependência espacial (C<sub>0</sub>/C<sub>0</sub>+C) 100; <sup>(5)</sup>Epp: efeito pepita puro.

**Tabela 4.2.** Componentes de semivariância e classificação de dependência espacial ajustados aos atributos químicos do LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, profundidade de 0 – 20 cm em áreas sob sistema plantio direto, após quatro cultivos consecutivos e dois sistemas de adubação.

Atributo	Cultivo	Adubação	$C_0^{(1)}$	$C_1 + C_0^{(2)}$	$A^{(3)}$ (m)	Modelo	RD <sup>(4)</sup> (%)	Classificação da dependência
<b>Sistema Plantio Direto</b>								
P, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	18,8831	18,883	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	2	Sulco	7,0738	7,074	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	3	Ausente	26,6128	42,753	11	Exponencial	62	Moderada
	4	Lanço	21,7817	21,782	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
MOS, g dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	3,0286	7,964	11	Exponencial	38	Moderada
	2	Sulco	6,8242	11,080	16	Esférico	61	Moderada
	3	Ausente	3,7000	9,472	26	Exponencial	39	Moderada
	4	Lanço	2,0000	17,000	23	Exponencial	12	Forte
pH	1	Ausente	0,0119	0,029	11	Exponencial	41	Moderada
	2	Sulco	0,0113	0,023	11	Exponencial	49	Moderada
	3	Ausente	0,0093	0,031	7	Exponencial	30	Moderada
	4	Lanço	0,0156	0,021	12	Esférico	74	Moderada
Al, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,1322	0,225	27	Exponencial	59	Moderada
	2	Sulco	0,1082	0,211	13	Exponencial	51	Moderada
	3	Ausente	0,1585	0,240	20	Exponencial	66	Moderada
	4	Lanço	0,1408	0,219	11	Exponencial	64	Moderada
Ca, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,3405	0,490	15	Exponencial	69	Moderada
	2	Sulco	0,2023	0,541	8	Esférico	37	Moderada
	3	Ausente	0,2635	0,579	14	Exponencial	45	Moderada
	4	Lanço	0,3490	0,612	12	Gaussiano	57	Moderada
Mg, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0895	0,117	15	Exponencial	76	Fraca
	2	Sulco	0,0926	0,167	9	Exponencial	55	Moderada
	3	Ausente	0,0646	0,065	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	4	Lanço	0,0820	0,158	14	Exponencial	52	Moderada
K, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0006	0,001	13	Gaussiano	60	Moderada
	2	Sulco	0,0013	0,002	10	Exponencial	65	Moderada
	3	Ausente	0,0017	0,005	13	Gaussiano	34	Moderada
	4	Lanço	0,0038	0,005	13	Gaussiano	76	Fraca
V, %	1	Ausente	20,9355	36,406	16	Exponencial	57	Moderada
	2	Sulco	27,1889	36,359	20	Exponencial	75	Moderada
	3	Ausente	12,0000	41,847	11	Exponencial	29	Moderada
	4	Lanço	31,4933	48,526	11	Gaussiano	65	Moderada
S, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	4,4266	7,232	7	Esférico	61	Moderada
	2	Sulco	6,5582	6,558	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	3	Ausente	0,0123	0,020	28	Gaussiano	61	Moderada
	4	Lanço	0,0029	0,005	22	Exponencial	58	Moderada
B, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,0021	0,004	15	Esférico	52	Moderada
	2	Sulco	0,0027	0,003	13	Exponencial	90	Fraca
	3	Ausente	0,0012	0,002	28	Gaussiano	60	Moderada
	4	Lanço	0,0006	0,002	26	Esférico	30	Moderada
Fe, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	828,1306	828,131	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	2	Sulco	553,7924	743,037	12	Exponencial	75	Moderada
	3	Ausente	27,0359	50,602	15	Exponencial	53	Moderada
	4	Lanço	58,5918	114,430	16	Gaussiano	51	Moderada
Cu, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	1,0172	1,508	8	Gaussiano	67	Moderada
	2	Sulco	1,4145	2,005	9	Exponencial	70	Moderada
	3	Ausente	0,0825	0,142	28	Exponencial	58	Moderada
	4	Lanço	0,0883	0,115	31	Exponencial	77	Fraca
Mn, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	3997,3925	6470,276	22	Esférico	62	Moderada
	2	Sulco	502,6514	502,651	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	3	Ausente	16,2439	33,500	15	Exponencial	48	Moderada
	4	Lanço	6,6441	14,929	20	Exponencial	44	Moderada
Zn, mg dm <sup>-3</sup>	1	Ausente	0,3973	0,397	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	2	Sulco	2,1361	2,136	Ausente	Epp <sup>(5)</sup>	Ausente	Ausente
	3	Ausente	0,5676	1,198	28	Gaussiano	47	Moderada
	4	Lanço	0,1959	0,4700	16	Exponencial	42	Moderada

<sup>(1)</sup>C<sub>0</sub>: efeito pepita; <sup>(2)</sup>C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>:patamar; <sup>(3)</sup>A:alcance; <sup>(4)</sup>RD: razão de dependência espacial (C<sub>0</sub>/C<sub>0</sub>+C) 100; <sup>(5)</sup>Epp: efeito pepita puro.

#### 4.6 CONCLUSÃO

A pesquisa não demonstrou diferença entre os sistemas de adubação e não houve definição de alcances específicos dos atributos, mas o SPD mostrou maior homogeneidade entre cultivos e elementos químicos.

O grau de dependência espacial moderado prevaleceu em ambos os manejos.

O SPD apresentou maior índice de Epp e para os atributos que apresentaram dependência espacial, houve predominância do modelo de semivariograma exponencial.

As declividades do PS dificultaram o ajuste dos semivariogramas por contribuírem para a tendência dos dados à vulnerabilidade dos atributos ao solo descoberto.

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

O estudo demonstrou que a área de LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico sob SPD possui maior correlação espacial para MOS, S e os micronutrientes B, Cu e Mn. Este efeito pode ser devido a mineralização da MOS dada pelos sucessivos revolvimentos causados pelo PS e sua variabilidade. Os demais atributos, P, pH, Al, Ca, Mg, K, V%, Fe e Zn tiveram maiores alcances atribuídos ao PS.

As áreas apresentaram alta fertilidade e não houve diferença nas adubações realizadas a lanço e no sulco de semeadura.

Em SPD os valores de alcance foram similares entre cultivos e elementos químicos e maior ocorrência de Epp. Para os atributos que apresentaram dependência espacial, o modelo de semivariograma exponencial predominou.

Em ambos os manejos houve maior ocorrência de grau de dependência espacial moderado.

As declividades do PS dificultaram o ajuste dos semivariogramas por contribuírem para a tendência dos dados a vulnerabilidade dos atributos ao solo descoberto.

Condições específicas podem ter interferido no resultado das avaliações como condições climáticas da região favoráveis a manutenção da MOS e fertilidade e seca e precipitação acima da média durante as avaliações. Dessa forma, novas pesquisas que compensem essas adversidades são necessárias para melhor definição dos resultados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACQUA, N. H. D.; SILVA, G. P.; BENITES, V. M.; ASSIS, R. L. de; SIMON, G. A. Métodos de amostragem de solos em áreas sob plantio direto no Sudoeste Goiano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, p.117-122, 2013.

ALMEIDA, J. A.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 437-445, 2005.

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

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

ANDRADE, A. P.; MAFRA, A. L.; BALDO, G. R.; PICOLLA, C. D.; BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A. Physical properties of a Humic Cambisol under tillage and cropping systems after twelve years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 219-226, 2010.

ANDRADE, A. P.; MAFRA, A. L.; PICOLLA, C. D.; ALBUQUERQUE, J. A.; BERTOL, I. Atributos químicos de um Cambissolo Húmico após 12 anos sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 5, p. 814-821, 2012.

ANGHINONI, I.; SALET, R. L. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Núcleo Regional Sul/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p. 27-52.

ASSOCIAÇÃO MATO-GROSSENSE DOS PRODUTORES DE ALGODÃO – AMPA; ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE SOJA E MILHO DE MATO GROSSO – APROSOJA-MT; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Desafios do cerrado: como sustentar a expansão da produção com produtividade e competitividade. In: GOMES, M. P.; GRÜNDLING, R. D. P.; CONTINI, E.; VIEIRA JÚNIOR, P. A. **Agricultura mundial: evolução, avanços e novos desafios**. Cuiabá: AMPA, 2016. p. 11-44.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability**. New York: John Wiley & Sons, 1995. 414p.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 687-694, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.

BEKELE, A.; HUDNALL, W. H. Spatial variability of soil chemical properties of a prairie–forest transition in Louisiana. **Plant and Soil**, Cham, v. 280, p. 7-21, 2006.

BERNARDI, A. C. C. de; NAIME, J. M. de; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. 596p.

BORKERT, C. M.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. O potássio na cultura da soja. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 671-722.

BOTTEGA, E. I.; 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 Agronômica**, Ceará, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.

BROWN, V.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; MAFRA, A. L.; MUZEKA, L. M. Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 13, n. 1, e5501, 2018.

BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. In: The semivariogram and punctual kriging. **Journal of Soil Science**, London, v. 31, p. 315-331, 1980.

BURROUGH, P. A.; VAREKAMP, C.; SKIDMORE, A. K. Using public domain geostatistical and GIS software for spatial interpolation. **Photogrammetric, Engineering & Remote Sensing**, Bethesda, v. 62, p. 845-854, 1996.

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

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M. Aplicação de adubo e corretivo após o corte da cana-planta utilizando técnicas Geoestatísticas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 974-980, 2008.

CAMPOS, M. C. C. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. **Ambiência**, Guarapuava, v. 6, n. 3, p. 547-565, 2010.

CANTARELLA H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e Enxofre. In: SIMPÓSIO SOBRE BOAS PRÁTICAS PARA O USO DE FERTILIZANTES, 2009, Piracicaba. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes; v. 2 **Anais...** edição de Luís Ignácio Prochnow, Valter Casarin e Sílvia Regina Stipp. Piracicaba: IPNI-Brasil, 2010.

CARNEIRO, J. S. S.; SANTOS, A. C. M.; FIDELIS, R. R.; SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; SILVA, R. R. Diagnóstico e manejo da variabilidade espacial da fertilidade do solo no cerrado do Piauí. **Revista de Ciências Agroambientais**, Pouso Alegre, v. 14, n. 2, p. 10-21, 2016.

CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. In: REES, B. C. BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A. **Sustainable management of soil organic**. (eds). Wallingford: CAB International, 2001. p. 9-22.

CARVALHO, O. S.; GASCÓ, J. M.; LOPÉZ, F. G.; REQUEJO, A. S. Variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas de um solo submetido a diferentes sucessões de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 497-503, 1998.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1151-1159, 2002.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 695-703, 2003.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; LLANILLO, R. F. **Plantio direto no Sul do Brasil**: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista. Londrina: IAPAR, 2012. 77p.

CASSOL, E. A. **Erosão do solo**: influência do uso agrícola, do manejo e preparo do solo. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Instituto de Pesquisa em Recursos Naturais Não Renováveis, 1984. 40 p. (Boletim Técnico, 15).

CASTOLDI, G.; FREIBERGER, M. B.; CASTOLDI, G.; COSTA, C. H. M. Manejo da adubação em sistema plantio direto. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 6, n. 1, p. 62-74, 2012.

CASTRO, O. M. **Sistemas de preparo do solo e rotação de cultura para milho e soja**. Relatório Técnico Anual. Campinas: Instituto Agrônomo, 1988.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, p. 394-400, 2007.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; TU, S.; SNYDER, C. S. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Heidelberg, v. 89, p. 229-255, 2011.

CIGANA, C. Plantio direto pede socorro no RS. **GaúchaZH**, Porto Alegre, 02 mar. 2018. Caderno Economia, Campo e lavoura, p. 23

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 1055-1064, 2002.

COUTO, E. G. **Variabilidade espacial de propriedades do solo influenciado pela agricultura em escala regional e local no sul do estado do Mato Grosso**. 1997. 183 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. de P. C.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agrônoma**, Ceará, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A. COGO, N. P. Agricultura conservacionista no Brasil: uma análise do conceito à adoção. In: LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. (Orgs.). **Agricultura conservacionista no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 23-41.

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. SANTI, A. Falhas na implementação do sistema plantio direto levam a degradação do solo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 108, p. 33-34, 2008.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle de Erosão no Paraná, Brasil**: Sistemas de Cobertura do Solo, Plantio Direto e Preparo Conservacionista do Solo. Londrina: Iapar, 1991. 272p.

DIDONÉ, E. J.; MINELLA, J. P. G.; REICHERT, J. M.; MERTEN, G. H.; DALBIANCO, L.; BARROS de, C. A. P.; RAMON, R. Impact of no-tillage agricultural systems on sediment yield in two large catchments in Southern Brazil. **Journal of Soil and Sediments**, Berlin, v. 14, n. 7, p. 1287-1297, 2014.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. p. 1-20.

FADIGAS, F. de S.; SOBRINHO, N. M. B. do A.; MAZUR, N.; DOS ANJOS, L. H. C.; FREIXO, A. A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 2, p. 151-159, 2002.

FLIEBBACH, A. OBERHOLZER, H-R.; GUNST, L.; MÄDER, P. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 118, p. 273-284, 2007.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; NASCIMENTO, G. B. do; EBELING, A. G. Matéria orgânica em solos de Tabuleiros na região norte fluminense-RJ. **Revista Floresta e Ambiente**. Seropédica, v. 8, n. 1, p. 114-119, 2001.

FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 533-542, 1999.

FREITAS, P. L. de; BERNARDI, A. C. C. Princípios e Critérios para Adotar o Sistema plantio direto. In: ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 7º, 2003, Sorriso. **Anais...** Cuiabá: EdUFMT, 2003. p. 58-64.

FU, W.; TUNNEY H.; ZHANG, C. Spatial variation of soil nutrients in a dairy farm and its implications for site-specific fertilizer application. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 106, p. 185- 93, 2010.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. **Geostatistics for the environmental sciences** (version 9.0 for Windows). Michigan, 2000.

GASSEN, D. N.; KOCHHANN, R. A. Benefícios da fauna do solo de plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 1998. p. 151-160.

GLATZELA, S.; KALBITZ, K.; DALVAC, M.; MOOREC, T. Dissolved organic matter properties and their relationship to carbon dioxide efflux from restored peat bogs. **Geoderma**, Amsterdam, v. 113, p. 397-411, 2003.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R.; ANTONIO, A. M.; ROSA, S. C. D. Geostatistical analysis for soil moisture content under the no tillage cropping system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, p. 341-350, 2006.

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; SOUCHIE, E. L.; ROCHA, A. C. Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 79-774, 2008.

HARMSSEN, K. VLEK, P. L. G. The chemistry of micronutrients in soil. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 7, n. 1-3, p. 1-42, 1985.

HOWARD, D. D.; ESSINGTON, M. E.; LOGAN, J. Long-term broadcast and banded phosphorus fertilization of corn produced using two tillage systems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 51-56, 2002.

HINSINGER, P.; BRAUMAN, A.; DEVAU, N.; GERARD, F.; JOUDAN, C.; LACLAU, J. P.; LE CADRE, E.; JAILLARD, B.; PLASSARD, C. Acquisition of phosphorus and other poorly mobile nutrients by roots. Where do plant nutrition models fail? **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 348, p. 29-61, 2011.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Situação da erosão no Paraná e definição de linhas de pesquisa**: relatório de viagem técnica. Londrina: IAPAR, mar. 2013. 12p. Não publicado.

INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO. **Manual internacional da fertilidade do solo**/ Tradução e adaptação de Alfredo Scheid Lopes. 2 ed., rev. e ampl. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177 p.

JENNY, H. **Factors of soil formation. A system of quantitative pedology**. Foreword by Ronald Amundson. New York: University of California, Berkeley, Dover Publications, Inc., 1994. 281p.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n. 1, p. 4-10, 1997.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p.395-401, 1995.

KOCHHANN, R. A.; SELLES, F. O Solo e o sistema de manejo conservacionista. In: FERNANDEZ, M. R.; KOCHHANN, R. A.; SELLES, F.; ZENTNER, R. P. **Manual de manejo conservacionista do solo para os Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. Passo Fundo, Embrapa - CNPT, 1991. p. 43-52.

KÖEPPEN, W. **Climatologia**. México: Fundo de Cultura Econômica, 1948. 478p.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, M. S.; CURTI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n. 5, p. 517-526, 2014.

LIU, F.; HE, J.; COLOMBO, C. Competitive adsorption of sulfate and oxalate on goethite in the absence or presence of phosphate. **Soil Science**, Baltimore, v. 164, p. 180-189, 1999.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 591-599, 2007.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631p.

MALZER, G. L. Corn yield response variability and potencial profitability of site-specific nitrogen management. **Better crops with plant food**, Peachtree Corners, v. 80, p. 6-8, 1996.

MARIA, I. C. de; NHABUDE, P. C.; CASTRO, O. M. de. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 51, n. 1, p. 71-79, 1999.

MATOWO, P. R., PIERZYNSKI, G. M.; WHITNEY, D.; LAMOND, R. E. Soil chemical properties as influenced by tillage and nitrogen source, placement, and rates after 10 years of continuous sorghum. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 50, n. 1, p. 11-19, 1999.

MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETTO, A.; KIEHL, J. C. **Fertilidade de Solos**. São Paulo: Nobel, 1983. 400p.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um latossolo vermelho-escuro sob plantio convencional e direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 2. p. 435-443, 2003.

MERTEN, G. H.; ARAÚJO, A. G.; BARBOSA, G. M. C. **Erosão no estado do Paraná**: fundamentos, estudos experimentais e desafios. Londrina: Iapar, 2016. 116p.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V, H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 65-90.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Ecosistemas tropicais e subtropicais. Eds. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 1-8.

MIELNICZUK, J. Manejo conservacionista da adubação potássica. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 165-178.

MITAS, L.; MITASOVA, H. Spatial Interpolation. In: LONGLEY, P.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. (eds.), **Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications**, New York: John Wiley and Sons, 1999. p. 481-492.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 411-416, 1993.

MODEL, N. S.; ANGHINONI, I. Respostas do milho a modos e técnicas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 55-59, 1992.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 240 p.

MOTOMIYA, A. V. A.; CORÁ, J. E.; PEREIRA, G. T. Uso da krigagem indicativa na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 485-496, 2006.

MULLA, D. J.; BHATTI, A. U.; HAMMOND, M. W.; BENSON, J. A. A. A comparison of winter wheat yield and quality under uniform versus spatially variable fertilizer management. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 8, n. 3, p. 301-11, 1992.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 95-102, 1983.

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

NOETZOLD, R.; SILVA, L. M.; SCHONINGER, E. L.; TOMÉ, P. C. D.; ALVES, M. C. Variabilidade espacial e temporal de atributos químicos do solo durante cinco safras. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v. 6, n. 4, p. 328-345, 2018.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Critérios de calagem para a soja no sistema plantio direto consolidado. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 475-483, 2006.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ABREU JUNIOR, C. H. Alterações em atributos químicos de um Latossolo pela aplicação de composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 529-538, 2002.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A análise química do solo e recomendação de adubação. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool/Planalsucar, 1983. p. 155-178.

PAULETTI, V.; LIMA, M. R.; BARCIK, C.; BITTENCOURT, A. Evolução nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes métodos de preparo do solo. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.6, n. 1-2, p. 9-14, 2005.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Estadual Paraná. 2017. 482 p.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. D.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992. 40 p.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. **Ciências Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1779-1784, 2004.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Advances in Agronomy**, Amsterdam, v. 67, p. 1-85, 1999.

PILLON, Y.; FAY, M. F.; HEDRÉN, M.; BATEMAN, R. M.; DEVEY, D. S.; SHIPUNOV, A. B.; BANK, M. van der.; CHASE, M. W. Evolution and temporal diversification of western European polyploid species complexes in *Dactylorhiza* (Orchidaceae). **Taxon**, Vienna, v. 56, p. 1185-1208, 2007.

PIRES, J. L. F.; CUNHA, G. R. da; PASINATO, A.; FRANÇA, S.; RAMBO, L. **Discutindo agricultura de precisão** – aspectos gerais. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 18 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online; 42). Disponível em: [http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do42.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm). Acesso em 17 fev. 2018.

PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M.; POCH, R.M. **Edafologia: Uso y protección de suelos**. Madrid: Mundi-Prensa, 2013. 608 p.

RAIJ, B. van. Geoquímica de micronutrientes. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. eds. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato/CNPq, 1991. p. 99-111.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 1-6, 1986.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 29-48, 2003.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P> T. G., ALVAREZ V, V. H. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais** – 5ª. aproximação. Viçosa: SBCS, 1999. 359 p.

RONQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p. (Boletim Técnico, 8).

ROSOLEM, C.A. **Nutrição e adubação do feijoeiro**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 93p. (Boletim Técnico, 8).

SÁ, J. C. M. **Manejo de fertilidade do solo no plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1993, 96 p.

SÁ, J. C. M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURABRASILEIRA, 1., Piracicaba, 2004. **Anais...** Piracicaba: Potafos, 2004. p. 201-222.

SÁ, J. C. M.; SÁ, M. F. M.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, A. O. Dinâmica da matéria orgânica nos Campos Gerais. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2 ed. Porto Alegre: Gênises, 2008. v. 1, p. 443-461.

SANTOS, H. L.; VASCONCELLOS, C. A. Determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, p. 97-100, 1987.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.; LHAMBY, J. C. B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos em rotação de culturas com cevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 449-454, 1995.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 477-486, 2003.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa - SPI, 2013. 353p.

SARAIVA, O. F. **Amostragem de solo para avaliação de sua fertilidade: curso de pecuária leiteira**. Coronel Pacheco: EMBRAPA – CNPGL, 1989 (Documento. 38).

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, p. 85-91, 2000.

SCHUELLER, J. K. O estado da arte da agricultura de precisão nos Estados Unidos. SIMPÓSIO SOBRE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., Piracicaba, 2000. **Anais...** Piracicaba, ESALQ/USP, 2000, p. 8-16.

SEARCY, S. W. Agricultura de precisão: Um desafio para extensão e educação continuada. SIMPÓSIO SOBRE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., Piracicaba, 2000. **Anais...** Piracicaba, ESALQ/USP, 2000, p. 17-24.

SCHERER, E. E.; NESI, C. N. Características químicas de um Latossolo sob diferentes sistemas de preparo e adubação orgânica. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 3, p. 715-721, 2009.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, p. 249-254, 1985.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1999. 370 p.

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 431-436, 2001.

SILVA, M. A. G.; MUNIZ, A. S.; MATA, J. de D. V. da; CEGANA, A. C. Amostragem e variabilidade nos atributos de fertilidade em um Latossolo sob plantio direto em São Miguel do Iguaçu, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, p. 243-248, 2003.

SILVA, A. R.; GUIMARÃES, E. D.; TAVARES, M. Efeito de tendência no ajuste de semivariogramas esféricos. **FAMAT em Revista**, Uberlândia, v. 10, p. 107-116, 2008.

SILVA, S. de A.; LIMA, J. S. de 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**, Viçosa, v. 34, p. 15-22, 2010.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da resistência a penetração de um Latossolo Vermelho-Escuro ao longo de uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 1-5, 1989.

SILVEIRA, P. M.; SILVA, S. C.; SILVA, O. F.; DAMACENO, M. A. Estudo de sistemas agrícolas irrigados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, p. 1243-1252, 1994.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Teores de nutrientes e da matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistema de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 387-394, 2001.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P. dos; KOHHANN, R. A.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.; SA, J. C. M. De; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effect of no-tillage. **Agronomie**, França, v. 22, p. 755-775, 2002.

SOARES, E. M. B.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O.; BETTIOL, W.; BELIZÁRIO, M. H. Frações da matéria orgânica de Latossolo sob influência de doses de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 1231-1240, 2008.

SOJKA, R. E.; UPCHURCH, D. R.; BORLAUG, N. E. Quality soil management or soil quality management: Performance versus semantics. **Advances in Agronomy**, Amsterdam, v. 79, p. 1-68, 2003.

SOUSA, D. M. G. ; VOLKSWEISS, S. J. Reações do superfosfato triplo em grânulos com solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, n. 2, p. 133-140, 1987.

SOUZA, L. S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. 1992. 162 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992.

SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: Yamada, T.; Abdalla, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafós, 2004. 726 p.

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

SOUZA, G. S.; LIMA, J. S. de S.; SILVA, S de A.; OLIVEIRA, R. B. de. Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 589-596, 2008.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science**, Escandinávia, v. 49, n. 1, p. 1-24, 1999.

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry: genesis, composition, reactions**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994. 496p.

SUMNER, M. E.; PAVAN, M. A. Alleviating soil acidity through organic matter management. In: SIMPÓSIO DE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 1. 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 2000.

SUN, B.; ZHOU, S.; ZHAO, Q. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. **Geoderma**, Amsterdam, v. 115, p. 85-99, 2003.

THOMAS, G. W.; BLEVINS, L. (ed). **No-tillage research: research reports and reviews**. University Kentucky, College of agriculture and agricultural experiment station: Lexington, 1981. p. 43-54.

USDA-NRCS. **Soil Quality Institute, Ames, IA**. Disponível em: <<http://soils.usda.gov/sqi/>>. Acesso em: 24 de junho 2016.

VEZZANI, M. F.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 743-755, 2009.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v. 51, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 56, p. 181-190, 1997.

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYBOLDS, W. D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, J. M. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p. 1-45, 2002.

VILAR, C. C.; VILAR, F. C. M. Comportamento do fósforo em solo e planta. **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, Campo Mourão, v. 8, n. 2, p. 37-44, dez. 2013.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in de field. In: HILLEL, D. (ed). **Aplicaions of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

WEIRICH NETO, P. H.; BORGHI, E.; SVERZUT, C. B.; MANTOVANI, E. C.; GOMIDE, R. L.; NEWES, W. L. de CASTRO. Análise multivariada da resistência do solo à penetração sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1186-1192, 2006.

WIETHÖLTER, S. J. R.; BEN, R. A.; PÖTTKER, D. Fósforo e potássio no SPD. In: NUERNBERG, N. **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 121-149, 1998.

WOLLENHAUPT, N. C.; WOLKOWSKI, R. P. **Grid soil sampling for precision and profit**. Unpublished manuscript. Department of Soil Science, University of Wisconsin, Madison. WI. Modified from paper prepared for 24<sup>th</sup> North Central Extension-Industry Soil Fertility Workshop, St. Louis, MO, october 26-27, 1994.

WOLSCHICK, N. H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; SANTOS, K. F.; WERNER, R. S.; BAGIO, B. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 15, n. 2, p. 134-143, 2016.

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

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; 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**, Santa Maria, v. 37, p. 1000-1007, 2007.

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

ZHANG, C. S.; FAY, D.; McGRATH, D.; GRENNAN, E.; CARTON, O. T. Use of trans-Gaussian kriging for national soil geochemical mapping in Ireland. **Geochemistry: Exploration, Environment, Analyses**, Londres, v. 8, p. 255-265, 2008a.

ZHANG, C. S.; FAY, D.; McGRATH, D.; GRENNAN, E.; CARTON, O. T. Statistical analyses of geochemical variables in soils of Ireland. **Geoderma**, Amsterdam, v. 146, p. 378-390, 2008b.

## APÊNDICE A – IMAGEM DE SATÉLITE DA ÁREA DO EXPERIMENTO



## APÊNDICE B – REPRESENTAÇÃO DOS PERÍODOS DE CULTIVOS E AMOSTRAGENS

	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
2013		CULTURA DE VERÃO							AVEIA			Coleta

	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
2013/2014		MILHO				Coleta			ERVILHACA			

	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
2014/2015	Coleta	SOJA					Coleta		CULTURA DE INVERNO			