

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**VARIABILIDADE ESPACIAL E CORRELAÇÃO DE
MICRONUTRIENTES CATIÔNICOS DO SOLO E NDRE DA
SOJA**

KARINA MARASCHI PEREIRA

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2020**

VARIABILIDADE ESPACIAL E CORRELAÇÃO DE MICRONUTRIENTES CATIÔNICOS DO SOLO E NDRE DA SOJA

KARINA MARASCHI PEREIRA

Engenheira Agrônoma

ORIENTADOR: Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2020

**VARIABILIDADE ESPACIAL E CORRELAÇÃO DE MICRONUTRIENTES
CATIÔNICOS DO SOLO E NDRE DA SOJA**

por

Karina Maraschi Pereira

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovado em __/__/2020

Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez
Orientador – UFGD/FCA

Profa. Dra. Alessandra Mayumi Tokura Alovisi
UFGD/FCA

Prof. Dr. Mateus Luiz Secretti
UNIGRAN

AGRADECIMENTOS

O atual trabalho não poderia ser elaborado sem o apoio de várias pessoas. Em primeiro lugar, agradeço a UFGD pela oportunidade de ingressar neste programa de pós-graduação.

Gostaria de agradecer ao professor Jorge Wilson Cortez, pela sua orientação e paciência ao longo deste período.

Agradeço a todos os colegas de mestrado, especialmente ao Realdo Felix Cervi que forneceu a área para eu realizar o projeto na prática, ao Hermano Rodrigues que teve paciência em me ensinar os pontos importantes do trabalho e explicar sobre os softwares necessários para a elaboração do mesmo e gratificar minha amiga Isabella Ribeiro desde a graduação, cujo apoio e amizade estiveram presentes em todos os momentos.

Desejo agradecer igualmente minhas amigas Letícia Pereira, Rosimeire Fabrini e Juliana Lino pelo apoio incondicional, não apenas em minha carreira acadêmica, mas também na minha vida pessoal, pois foi de grande valia durante anos e em todo esse processo.

E, por último, quero agradecer aos meus pais Marilda e Zélio em companhia de minha irmã Bianca, que me deram todo suporte e disseram incansavelmente para eu não desistir e ser forte, acreditando na minha capacidade e me motivando em todos meus passos.

SUMARIO

PÁGINA

RESUMO	4
ABSTRACT	6
<u>1</u> INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1 Agricultura de precisão	9
2.2 Análise espacial	10
2.3 Micronutrientes do solo	11
2.4 Índice de vegetação por diferença normalizada.....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Local	14
3.2 Área experimental.....	15
3.3 Avaliações.....	18
3.4 Análise dos dados	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 Estatística descritiva	20
4.2 Cartas de controle	24
4.3 Correlação de Pearson	26
4.4 Dependência Espacial (IDE).....	27
4.5 Variabilidade espacial do pH e micronutrientes	28
4.6 Índice de vegetação por diferença normalizada da borda do vermelho (NDRE) ..	30
5 CONCLUSÕES.....	32
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

PEREIRA, K. M. **Variabilidade espacial e correlação de micronutrientes catiônicos do solo e NDRE da soja.** 35f. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

RESUMO

A análise espacial de atributos químicos do solo permite o acompanhamento da variabilidade destes ao longo do tempo, servindo como informação para o manejo da fertilidade em níveis satisfatórios às culturas agrícolas. Com isso, normalmente, são realizadas intervenções de maneira localizada por meio da aplicação de insumos à taxa variável. Portanto, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial e disponibilidade de micronutrientes do solo e pH ao longo da área, tendo como critério a cultura da soja safra 2018/19. O experimento foi conduzido em uma área de aproximadamente 100 ha localizada no município de Maracaju, MS, durante a safra de milho 2018/2019. Realizou-se a correção do solo por meio da aplicação à taxa variável de calcário calcítico e magnésiano, seguido de incorporação destes por grade aradora. Posteriormente foram realizadas amostragens georreferenciadas em grade com espaçamento regular para coleta de solo. Foram alocados 50 pontos amostrais, com grid de 2 ha, coletando-se 12 subamostras por ponto na camada de 0,00-0,20 m para determinação de pH em CaCl_2 , Fe, Cu, Mn e Zn. Efetuou-se a análise descritiva clássica e um teste de normalidade dos dados. Por fim, foram confeccionados mapas de espacialização usando o método Krigagem Ordinária. Houve predomínio dos teores de Fe, Cu, Mn e Zn no solo enquanto ocorre predominância de teores médio para pH ao longo da área. O Zn apresentou maior variabilidade espacial e o NDRE não se correlacionou com os micronutrientes do solo e pH.

Palavras-chave: Fertilidade do solo, Latossolo, Krigagem Ordinária.

PEREIRA, K. M. **spatial variability and correlation of micronutrientes of soil and NDRE of glycine max.** 35f. 2020. Dissertation (MSc in Agronomy), Federal University of Grande Dourados, Dourados-MS.

ABSTRACT

The spatial analysis of chemical attributes of the soil allows the monitoring of their variability over time, serving as information for the management of fertility at levels satisfactory to agricultural crops. As a result, interventions are usually carried out in a localized manner through the application of inputs at a variable rate. Therefore, the objective was to evaluate the spatial variability and availability of soil micronutrients and pH throughout the area, using the 2018/19 soybean crop as a criterion. The experiment was conducted in an area of approximately 100 ha located in the municipality of Maracajú, MS, during the 2018/2019 corn harvest. Soil correction was carried out by applying a variable rate of calcitic and magnesium limestone, followed by incorporation of these by a plow harrow. Subsequently, georeferenced samplings were carried out in a grid with regular spacing for soil collection. 50 sample points were allocated, with a 2 ha grid, collecting 12 sub-samples per point in the 0.00-0.20 m layer, for pH determination in CaCl₂, Fe, Cu, Mn and Zn. A classic descriptive analysis and a normality test of the data were performed. Finally, spatialization maps were made using the Ordinary Kriging method. There was a predominance of Fe, Cu, Mn and Zn contents in the soil, with a predominance of them throughout the area, while in the same there is a predominance of medium contents for pH throughout the area. Zn and Fe showed greater spatial variability and RENDI showed uniformity in the production unit, pointing to a normal development of the soybean crop.

Keywords: soil fertility, latosol (oxisol), ordinary kriging.

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é uma cultura de grande importância socioeconômica para o Brasil (DALCHIAVON et al., 2012). A área de soja na safra 2018/2019 em Mato Grosso do Sul alcançou a marca de 2.979.345 hectares, com produção de 8.800.295 toneladas (FAMASUL, 2019). O adequado manejo da fertilidade do solo é condição essencial para as culturas, sendo assim, diagnosticar a capacidade dos solos em fornecer os nutrientes às plantas e planejar as adequadas estratégias de manejo das adubações constituem importantes desafios para a obtenção de altas produtividades e rentabilidades (GITTI et al., 2019).

Nesse cenário, o sistema de produção de grãos no Brasil vem experimentando profunda transformação com a adoção de tecnologias e ferramentas envolvidas no gerenciamento da propriedade rural (TRENTIN et al., 2018). Sendo assim, o estudo da variabilidade espacial da fertilidade do solo de uma propriedade agrícola é uma excelente ferramenta, pois gera informações importantes para o estabelecimento de estratégias de manejo de fertilizantes e corretivos (BURROUGH et al., 1996).

Uma das opções de manejo utilizadas para minimizar os efeitos da variabilidade na produtividade das culturas é a adoção da agricultura de precisão (AP), que representa um conjunto de técnicas e procedimentos utilizados para que os sistemas de produção agrícola sejam otimizados, tendo como objetivo principal o gerenciamento da variabilidade espacial (MOLIN, 2000).

A variabilidade espacial do solo é uma consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação, sendo influenciada pelas práticas de manejo e pelas culturas (LI et al., 2007; ZANÃO JUNIOR et al., 2007; CHAVES e FARIA, 2009; GONTIJO et al., 2012; RUTKOWSKA et al., 2014). Estas influenciam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, causando alterações no movimento e na redistribuição de compostos mais solúveis e, portanto, na variabilidade dos índices de pH do solo e dos seus de micronutrientes (ZANÃO JUNIOR et al., 2007).

Apesar dos benefícios destas tecnologias de AP, estas ainda são pouco utilizadas em algumas regiões do Brasil, tendo como principais motivos da baixa utilização, a amostragem de solo em grade e a adubação a taxa variada a lanço. Esse tipo de amostragem

pressupõe que há dependência espacial dos parâmetros de solo analisados, dentro da área trabalhada (SOARES FILHO e CUNHA, 2015).

Os solos de cerrado se caracterizam pela baixa fertilidade natural e necessitam da aplicação de altas doses de corretivos e de fertilizantes para garantir a obtenção de boa produtividade. Nesse contexto, a utilização correta de micronutrientes é imprescindível para a maximização dos macronutrientes, resultando em nutrição mineral adequada (VITTI e GRANDO JUNIOR, 2005). Contudo, poucas informações são disponíveis sobre a variabilidade espacial de micronutrientes (GONTIJO et al., 2012).

Além de melhorias nos manejos de solo, investimentos têm sido realizados em tecnologias que facilitem o monitoramento das culturas. Dentre as várias tecnologias disponíveis destacam-se as técnicas de sensoriamento remoto, que permitem a obtenção de informações sobre um determinado objeto, área ou fenômeno sem que haja contato direto, não interferindo, portanto, em seu desenvolvimento (NEIVERTH et al., 2013).

Dentro das técnicas de sensoriamento remoto, que se correlacionam com a vegetação, tem se utilizado a Diferença Normalizada do Vermelho Limítrofe (NDRE), que é um índice utilizado como indicativo nutricional, podendo ser utilizado para avaliar o teor de clorofila e assimilação de nitrogênio, dentre outras possibilidades, esse índice é calculado utilizando as bandas do Vermelho Limítrofe (RedEdge 735 nm) e do NIR (infravermelho próximo) (BARNES, 2000; RIBEIRO, 2016). Está é uma ferramenta disponível para o monitoramento da vegetação, com capacidade de indicação da evolução da biomassa da cultura ao longo do ciclo (RODRIGUES et al., 2013). Além deste índice de vegetação relacionar diretamente o acúmulo de biomassa com a produtividade da cultura (KLERING et al., 2016).

Portanto, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial e disponibilidade de micronutrientes do solo (Fe, Cu, Mn, Zn) e pH em CaCl₂ ao longo da área de estudo por meio de mapas bidimensionais e do NDRE da soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Agricultura de precisão

A Agricultura de Precisão (AP) surgiu nos Estados Unidos, na década de 1920. No Brasil sua adoção ocorreu somente na segunda metade da década de 1990. Inicialmente, era vista como um conjunto de ferramentas para o manejo localizado da lavoura, posteriormente, passou a ser considerado um sistema de gerenciamento da produção agrícola, visando principalmente a gestão da variabilidade espacial da produção (MOLIN, 2001).

Aliado à popularização dos equipamentos GPS (“*Global Positioning System*”) e o desenvolvimento de diversos equipamentos, a disponibilização de colhedoras equipadas com GPS e sensores de produtividade em 2000 contribuiu para alavancar a AP (RESENDE et al., 2010).

Segundo Molin (2004) a AP pode ser definida como uma estratégia de manejo do solo e das culturas, capaz de melhorar o nível de gerenciamento agrícola e oferecendo melhor suporte para a tomada de decisão. Isto só é possível, porque a AP traz consigo a possibilidade de identificar, quantificar e mapear, com acurácia, a variabilidade das lavouras (SARAIVA et al., 2000). E, assim, estabelecer zonas específicas de manejo visando a conservação do solo, tendo como principal tecnologia a aplicação de insumo em taxa variável (DALCHIAVON et al., 2012).

A AP também consiste em uma ferramenta que visa a sustentabilidade da atividade agrícola por meio da análise espacial, sendo caracterizada pelas etapas de coletas de dados, gerenciamento da informação, aplicação de insumos à taxa variada e, por fim, a avaliação econômica e ambiental dos resultados (SOARES FILHO e CUNHA, 2015). Apesar da vasta literatura envolvendo a AP, ressalta-se, ainda, o baixo emprego de tecnologias de AP em algumas regiões do Brasil, destacando-se como principal ferramenta a amostragem de solo em grade e a adubação a taxa variada a lanço. No entanto, tecnologias mais recentes, como os sistemas sensores, ainda são um obstáculo devido aos altos custos e falta de mão de obra especializada (SOARES FILHO e CUNHA, 2015).

De acordo com Vian et al. (2016), além da produção agrícola, a AP deve considerar também a variabilidade dos fatores condicionantes como as condições edafoclimáticas da planta e do solo. Nesse sentido, trabalhos de pesquisa têm demonstrado

que o estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo constitui um importante instrumento no processo da escolha da área experimental, locação das unidades experimentais, coleta de amostras e análise de produtividade (SILVA e CHAVES, 2006; SANTOS et al., 2012; DALCHIAVON et al., 2012).

2.2 Análise espacial

A geoestatística dedica-se ao estudo de variáveis regionalizadas, ou seja, o estudo de uma função espacial numérica, que varia de um local para outro, com continuidade aparente e cujos valores são relacionados com a posição espacial que ocupam. Contempla técnicas para elaboração de mapas do comportamento de variáveis georreferenciadas, utilizando o método de interpolação de informações a partir de dados obtidos em locais convenientemente amostrados e modelados em um semivariograma experimental (FARACO et al., 2008). Espera-se que os valores medidos em um determinado local estejam, de alguma forma, em concordância com a sua distribuição espacial, sendo que, na média, as amostras mais próximas no tempo e espaço, devem ser mais semelhantes entre si do que aquelas tomadas a distâncias maiores. Para isto, a geoestatística teve como base os conceitos de função aleatória e estacionariedade de segunda ordem (MATHERON, 1963; ISAACS e SRIVASTAVA, 1989; VIEIRA et al., 2000).

De acordo com Yamamoto e Landim (2013), a interpolação ou estimativa de um ponto não amostrado é feita por meio do ajuste de funções matemáticas. Estas são usadas para gerar os mapas de distribuição espacial por métodos de interpolação, ou seja, estimam-se valores para locais não amostrados (SOUZA et al., 2010). No entanto, a estimativa é diferente em função do método de interpolação usado, o que exige comparação destes, visto que pode subestimar ou superestimar o valor do atributo em estudo (COUTO et al., 2002).

Um dos métodos de interpolação linear não enviesado, com maior destaque, é a krigagem, na qual apresenta menor variância nas estimativas (OLIVER, 2010). Esse método compreende um conjunto de técnicas de estimação e predição de superfícies baseada na modelagem da estrutura de correlação espacial (dependência espacial) por meio de semivariogramas (MOLIN, 2015). Outra característica interessante da krigagem é que é possível conhecer a variância da estimativa, ou seja, a krigagem fornece a incerteza associada a cada valor predito (VIEIRA, 2000).

Para efetuar a krigagem, os parâmetros, como efeito pepita, contribuição, patamar e alcance, precisam ser estimados com precisão e, dessa forma, se o modelo for ajustado de forma inapropriada, a krigagem conterà erros de estimação que fornecerão informações distorcidas do fenômeno em questão. Portanto o ajuste de semivariograma é uma fase crucial na análise geoestatística e deve receber uma atenção especial (VILELA, 2004).

2.3 Micronutrientes do solo

Os solos variam quanto ao teor de micronutrientes que são elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas, mas requeridos em quantidades menores do que os macronutrientes (ALMEIDA e GUIMARÃES, 2017).

O pH do solo afeta consideravelmente a disponibilidade dos micronutrientes, onde em geral, a disponibilidade diminui à medida que o pH aumenta, com exceção do molibdênio e do cloro (LOPES, 1998). Contudo, Lopes (1999), Coelho (2005) e Giracca e Nunes (2014) citam que além do pH, a quantidade e disponibilidade dos micronutrientes no solo também varia de acordo com as características como textura e mineralogia, teor de matéria orgânica, umidade, condições de oxirredução e interação entre os nutrientes.

Independentemente do sistema de cultivo, há um limiar estreito entre toxidez e deficiência para os micronutrientes e uma análise detalhada da área otimizaria o processo de fertilização (ZECH et al., 1997). Trabalhos de pesquisas, avaliaram a distribuição espacial dos micronutrientes do solo (boro, cobre, ferro, manganês e zinco solúveis) em um Latossolo Vermelho e verificaram ineficiência do preparo do solo para distribuir e homogeneizar os fertilizantes aplicados (COUTO et al., 1999; SILVEIRA et al., 2002).

White e Zasoski (1999) concluem que os solos variam amplamente no teor de micronutrientes e na sua capacidade de fornecê-los em quantidades adequadas para as culturas, assim sendo, justifica-se a importância em determinar e modelar a sua distribuição espacial no solo. Essa variabilidade é consequência de interações complexas em processos de sua formação e de práticas de manejo do solo e da cultura, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo (DALCHIAVON et al., 2012).

Diante da importância dos micronutrientes para o crescimento e desenvolvimento de plantas, torna-se fundamental o conhecimento da sua distribuição espacial nas áreas

cultivadas, podendo assim, fornecer subsídios para a tomada de decisão de estratégias de manejo. Para elucidar tal variabilidade, utilizam-se técnicas da AP baseadas na amostragem de solo em malhas regulares georreferenciadas (VIAN et al., 2012).

A variabilidade espacial dos teores de nutrientes no solo pode não ser igual entre si, ou seja, alguns nutrientes necessitam de número maior de amostras que outros para que se possa descrever o seu comportamento numa determinada área, assim como a distância dos pontos de amostragens, principalmente em relação aos micronutrientes, os quais tendem a ser menores que os macronutrientes (MALVEZI, 2015). Uma das utilidades do coeficiente de variação, do número do grau de liberdade, do quadrado médio residual e da diferença permitida em torno da média, em estudos de variabilidade espacial de nutrientes do solo, é permitir calcular o número mínimo de subamostras para estimar o valor de uma característica de uma determinada área, com exatidão pré-estabelecida (SOUZA, 1992). Silveira et al. (2000), estudando amostragem e variabilidade de características químicas de um Latossolo, verificaram que, para uma variação máxima de 5 % em torno da média, os valores de pH podem ser obtidos utilizando-se de baixo número de subamostras.

Silveira e Cunha (2002) concluíram que, para utilizar o procedimento de coletar 20 subamostras para formar uma amostra composta, os teores de argila, matéria orgânica, B e Mn são estimados com erro em torno de 10 % do valor médio, e os de Cu e Zn, com erro superior a 25 %.

2.4 Índice de vegetação por diferença normalizada da borda do vermelho (NDRE)

Gitelson et al. (1996) ao modificar o índice de vegetação por diferença normalizada, afim de se obter um índice que apresenta maior sensibilidade a concentração de clorofila, tem-se o índice de vegetação com medidas de refletância ao longo da borda do vermelho. Esse índice utiliza as bandas do Red Edge (vermelho da borda) e NIR (infravermelho próximo) e, assim como o NDVI, tem seus valores entre -1 e 1, além do mais, o intervalo comum para a vegetação verde é de 0,2 a 0,9 (EXELIS, 2013).

O Red Edge, ou vermelho limítrofe, se refere à borda do vermelho, que é responsável pela captura da parte exponencial do espectro de luz, ou seja, nota a reação abrupta na mudança do comprimento de onda, caracterizando a sensibilidade do início do

estresse na cultura. Em plantas de porte maior, em estágios mais avançados de desenvolvimento, pois a banda Red Edge consegue penetrar no dossel, trazendo informações de reflectância de toda a planta, o NIR não consegue ser detectado em camadas inferiores das folhas. Já o Red Edge consegue penetrar nessas camadas mais baixas (MICHELON et al., 2018).

O intervalo espectral entre 680 e 800nm, denominado Borda do Vermelho (Red Edge, RE, originando a sigla NDRE), é caracterizado pela mudança abrupta do comportamento na curva espectral de um vegetal, decorrente de uma série de fatores relacionados à absorção pela clorofila e espalhamento interno da Radiação Eletromagnética (JENSEN, 2009). Dependendo do tipo de cultura, a radiação solar na faixa do infravermelho próximo – NIR (750 a 1300 nm), é refletida entre 30 e 80% dos raios incidentes (SHIRATSUCHI et al., 2014).

O NDRE é um índice utilizado como indicativo nutricional e também é uma ferramenta disponível para o monitoramento da vegetação, com capacidade de indicação da evolução da biomassa da cultura ao longo do ciclo. Além deste índice de vegetação relacionar diretamente o acúmulo de biomassa com a produtividade da cultura (KLERING et al., 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O trabalho foi realizado na Fazenda Água Santa, localizada no município de Maracaju - MS, Brasil. Na latitude de $-21^{\circ} 25' S$ e longitude de $-55^{\circ} 49' W$, fuso horário 21S, e altitude de 380 m acima do nível do mar. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Am (tropical de monções), com precipitações médias anuais de 1200 mm; temperaturas máximas e mínimas de $33^{\circ}C$ e $19,6^{\circ}C$, respectivamente. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (Santos et al., 2013), textura argilosa, com sua caracterização física na camada de 0,00 a 0,20 m composta por 56,8% de argila, 16,3% de Silte e 26,9% de Areia.

Os dados meteorológicos durante o período de condução do experimento, entre o mês de abril de 2018 a fevereiro de 2019, são provenientes do Centro de Monitoramento do Tempo, do Clima, e dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul – CEMET do ano de 2018 e 2019 (Figuras 1 e 2, respectivamente).

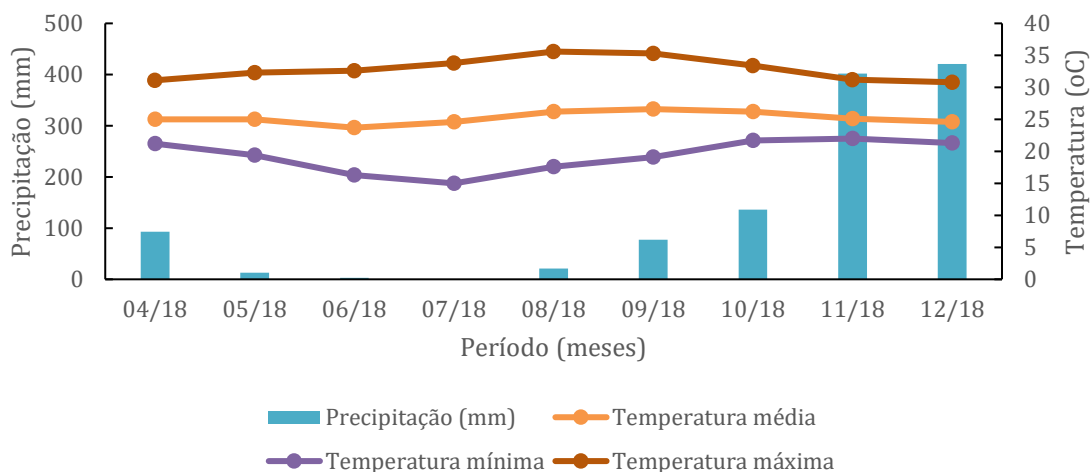


FIGURA 1. Dados meteorológicos mensais obtidos do Centro de Monitoramento do Tempo, do Clima, e dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul – CEMTEC do ano de 2018.

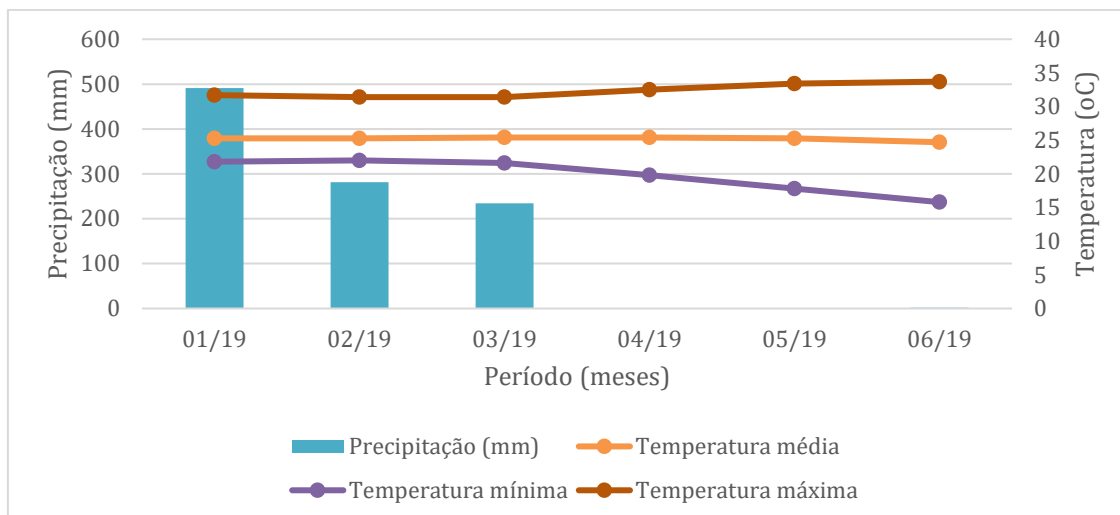


FIGURA 2. Dados meteorológicos mensais obtidos do Centro de Monitoramento do Tempo, do Clima, e dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul – CEMTEC do ano de 2019.

3.2 Área experimental

A área experimental vinha sendo explorada com pecuária, com bovinocultura de corte por mais de 40 anos. Com vegetação pastagem predominante a *Brachiaria humidicola*. O experimento foi baseado nos princípios da agricultura de precisão.

Selecionou-se uma área de aproximadamente 100 ha, sendo alocados (20) pontos amostrais compostos, com grid de 5 ha (Figura 2). A coleta foi realizada no dia 10/04/2018, com amostrador de rosca acoplado a veículo motorizado, sendo ao redor de cada ponto amostral retiradas 12 subamostras na profundidade de 0,00-0,20 m, cujos dados médios estão no Quadro 1.

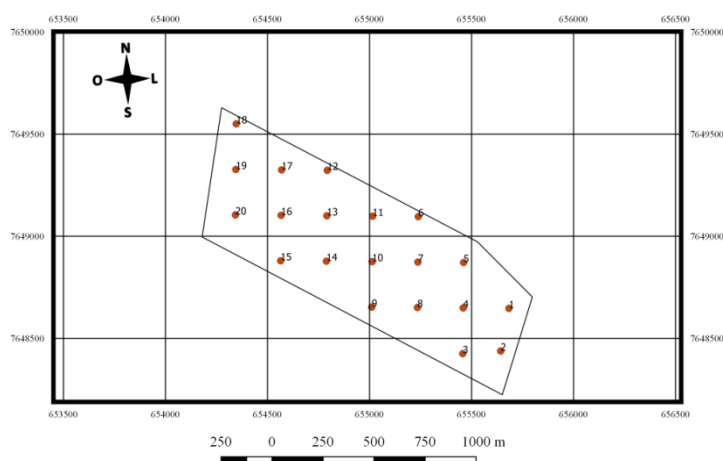


FIGURA 3. Área e grade amostral inicial.

QUADRO 1. Análise química do solo em 10/04/2018 e 01/11/2018 (Média).

pH em CaCl ₂	M.O (g dm ⁻³)	SB %	CTC (mmolc dm ⁻³)	V %	H+Al	Fe	Cu	Mn	Zn
					-----mg dm ⁻³ -----				
10/04/2018									
5,01	40,15	51,05	109,03	46	52,95	78,33	8,91	98,48	1,08
01/11/2018									
5,32	42,4	51,13	114,4	44	55,89	104,52	14,10	98,49	1,09

pH: Acidez; M.O: Matéria Orgânica; CTC: Capacidade de troca de cátions; V: Saturação por Bases; H+Al: Acidez Potencial; Fe: Ferro; Cu: Cobre; Mn: Manganês; Zn: Zinco.

Com os dados da análise foram elaborados por meio de interpolação os mapas de recomendação de calagem tendo como critério a recomendação pela Fundação MS em que deve-se elevar saturação por bases a 70% em solos argilosos, com CTC entre 8 e 11 cmol dm⁻³, nível bom de matéria orgânica e níveis altos de Zn, Cu e Mn, considerando-se a PRNT do calcário magnesiano e calcítico em taxa variável (Quadro 2), provenientes da região de Bonito, MS, incorporado ao solo juntamente com a brachiaria, com a utilização de grade aradora e grade niveladora (Quadro 2) entre os dias 02/05/2018 a 05/05/2018. Posteriormente, no dia 28/10/2018 foi aplicado doses de taxa fixa de cloreto de potássio a lanço (Quadro 2).

Realizou-se nova coleta (01/11/2018) na área, com grade amostral de 2 ha, tendo 50 pontos (Figura 3) com 12 subamostras por ponto na camada de 0,00-0,20 m, com a utilização de amostrador de rosca acoplado a veículo motorizado.

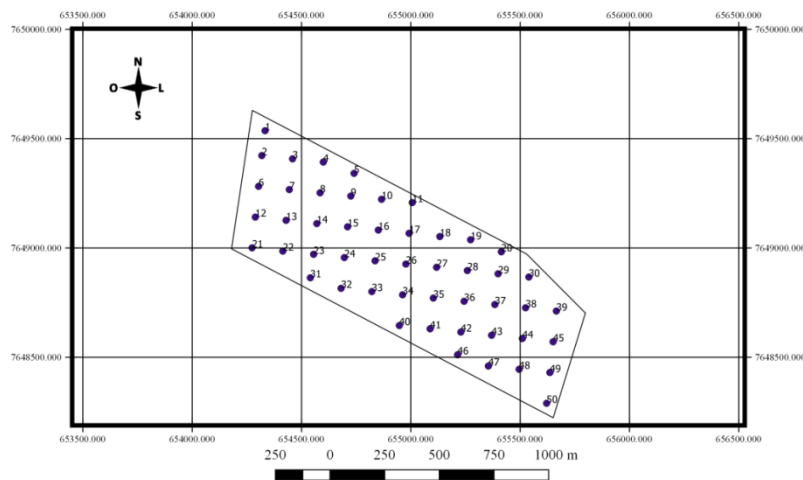


FIGURA 4. Área e grade amostral após a aplicação de calcário, grid a cada 2 ha.

Em seguida, foi semeado a cultura da soja de variedade AS 3730 IPRO e utilizou-se a semeadora própria para a obtenção da densidade de 280.000 plantas por hectare.

QUADRO 2. Descrição dos insumos agrícolas utilizados para correção da área

Calcário	Magnésiano (Região de Bonito - MS) Composição CaO 45 - 48% MgO 6 - 10% PN 98 - 102 % PRNT 85 - 90 %
Dose media (kg ha ⁻¹)	3605 kg ha ⁻¹
Datas de aplicação	02/05/2018 a 05/05/2018
Calcário	Calcítico (Região de Bonito MS) Composição CaO 50 - 53% e MgO 00 - 03% PN 98 - 102% PRNT 85 - 90%
Dose media (kg ha ⁻¹)	1808 kg ha ⁻¹
Datas de aplicação	02/05/2018 a 05/05/2018
KCl Dose (kg ha ⁻¹)	100 kg ha ⁻¹
Data da aplicação	28/10/2018

3.3 Avaliações

Após a coleta das amostras, em 01/11/2018, o solo foi encaminhado para um laboratório comercial, onde foram analisados os atributos pH, Fe, Cu, Mn e Zn. A obtenção dos micronutrientes foi pelo método de extração via Mehlich 1 e o pH em CaCl₂ (SILVA et al. 1999).

A interpretação dos micronutrientes no solo foi baseada em Embrapa (2013), descrito no Quadro 4 e do pH em CaCl₂ baseada em Souza e Lobato (2004).

QUADRO 3. Limites e interpretação dos teores de pH e micronutrientes do solo (Soja).

Faixas	pH em CaCl ₂	M.O	SB	CTC	Fe	Cu	Mn	Zn
		g dm ⁻³	%	mmol cdm ⁻³			mg dm ⁻³	
Baixo	<5,0	<15	<40	<50	<18	<0,7	<5,0	<0,9
Médio	5,1-5,5	15-25	40-60	50-150	19-30	0,8-1,2	6,0-8,0	1,0-1,5
Alto	5,6-5,9	>25	60-80	>150	31-45	1,3-1,8	9,0-12	1,6-2,2
MA	>6,0	-	>80	-	>45	> 1,8	>12	>2,2

pH - acidez, M.O- Matéria orgânica, SB- Soma de bases, CTC- Capacidade de trocas de cátions; Fe – ferro, Cu – cobre, Mn – manganês e Zn – Zinco. MA: muito alto.

Foi avaliado também o índice de vegetação por diferença normalizada, utilizando o Red Edge (vermelho próximo) – NDRE, com a seguinte equação matemática 1 (BARNES, 2000; RIBEIRO, 2016).

$$NDRE = \frac{(B8-B5)}{(B8+B5)} \quad (1)$$

Em que,

B5: Reflectância na banda do *Red-Edge*.

B8: Reflectância na banda do infravermelho próximo.

3.4 Análise dos dados

Os dados dos micronutrientes do solo e do pH foram inicialmente submetidos a análise descritiva para obtenção de medidas de tendência central e dispersão. Posteriormente, foi aplicado o controle estatístico de processo a fim de verificar o comportamento e estabilidade do conjunto de dados com base em três vezes o desvio padrão e os limites específicos de qualidade, utilizando o teste de normalidade Ryan- Joiner.

Posteriormente procedeu-se à análise geoestatística, utilizando-se a versão de demonstração do programa computacional SAGA versão 2.0.3. Obteve-se o semivariograma

e para ajustar uma função aos dados para as variáveis, foi utilizado o índice de dependência espacial entre as amostras.

Para medir esse grau de dependência espacial utilizou-se o índice proposto por Zimback (2001), equação 2.

$$IDE = \frac{C_0}{(C_0+C_1)} \times 100 \quad (2)$$

Em que C_0 é o efeito pepita e $C_0 + C_1$ é o patamar.

A dependência espacial (IDE) é classificada como fraca para o $IDE \leq 25\%$; IDE entre 25% e 75%, moderada e $IDE \geq 75\%$ dependência forte.

A confecção do semivariograma, foi com o modelo matemático melhor com a função quadrática.

A fim de analisar a variabilidade espacial dos micronutrientes e pH da área do estudo, foi realizada a confecção de mapas por meio do interpolador Krigagem Ordinária com o software QGis versão 3.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estatística descritiva

O pH estava baixo (5,01) (Quadro 1) e após a aplicação e reação do calcário, o pH do solo passou para 5,32 (Quadro 4), considerado um valor médio de acidez para o crescimento e desenvolvimento da cultura da soja (Quadro 3). Os Latossolos são provenientes de rochas eruptivas básicas, se caracterizam por ter uma baixa fertilidade natural, com baixa saturação por base e altos teores de ferro e manganês nos horizontes superficiais (SANTOS et al., 2009), corroborando com as características do solo de estudo. Apesar de ter aplicado dose de calcário magnesiano (3605 kg ha⁻¹) e calcário calcítico (1808 kg ha⁻¹), o pH não teve um aumento relevante pela alta aplicação desses corretivos. Isso se justifica devido ao poder tampão do solo, que é definido como a resistência do solo à alteração do pH, sendo necessário mais que uma correção.

QUADRO 4. Estatística descritiva dos micronutrientes do solo e pH.

Parâmetros	pH	Fe	Cu	Mn	Zn
	CaCl ₂	(mg dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)
Média	5,32	104,92	14,10	98,49	1,09
DP	0,34	29,96	1,41	13,76	0,42
Variância	0,12	897,67	1,99	189,42	0,17
CV (%)	6,40	28,56	10,01	13,97	38,26
Mínimo	4,60	58,00	10,20	52,90	0,40
Mediana	5,30	105,00	14,00	99,60	1,00
Máximo	6,50	174,00	17,60	141,30	2,10
Amplitude	1,90	116,00	7,40	88,40	1,70
As	0,76	0,43	-0,47	-0,75	0,50
Curtose (k)	1,82	-0,55	1,68	4,54	-0,46
RJ	0,98	0,97	0,98	0,92	0,99
P	0,081 ^{ns}	<0,010*	>0,10 ^{ns}	<0,010*	>0,10 ^{ns}

^{ns}: distribuição normal pelo teste de Ryan-Joiner (Similar a Shapiro-Wilk). *: distribuição significativa pelo teste de Ryan-Joiner (Similar a Shapiro-Wilk). CV.: coeficiente de variação. DP: desvio padrão. As: Assimetria. RJ: Ryan-Joiner. P: probabilidade.

Quanto mais elevado é o teor de matéria orgânica do solo e CTC, o teor de argila e o de óxidos, maior será o poder tampão, pois são fontes de H⁺ e Al³⁺ para a solução do solo (LOPES, 1998). Fato que se encontrou no presente trabalho.

No Quadro 4, observou-se que as concentrações de Fe, Cu e Mn, eram considerados altos para a cultura da soja, já o Zn apresentou-se médio. Após a aplicação de calcário, houve um aumento em valores absolutos de Fe (104,92 mg dm⁻³), Cu (14,10 mg dm⁻³), Mn (98,49 mg dm⁻³) e Zn (1,09 mg dm⁻³) na camada de solo influenciada pelo manejo (0,00-0,20 m), considerados altos com base nos critérios de Souza e Lobato (2004). Apesar do teor do pH da área experimental ter aumentado, segundo estudos realizados por Malavolta (1979), verifica-se que o pH nas faixas entre 4,5 e 5,5, são valores nos quais propõem uma maior disponibilidade de micronutriente catiônicos no solo. A medida em que o pH aumenta, os teores de Fe, Cu, Mn, e Zn diminuem devido ao aumento da CTC (maior fixação) e precipitação de cátions em solução, na forma de hidróxidos insolúveis. De maneira geral, a disponibilidade desses elementos depende do valor do pH e sua dinâmica é inversamente proporcional ao mesmo.

Diante os resultados encontrados no presente trabalho, os Latossolos Vermelhos Distroféricos, têm como principal limitação a baixa fertilidade do solo, porque são solos distróficos com baixa saturação por bases. De modo geral, são solos bem providos de micronutrientes. Além de conter teores elevados em óxidos de ferro (Fe₂O₃), óxido de manganês (MnO), com forte atração magnética (SANTOS et al., 2006). Ademais, outros fatores podem influenciar na disponibilidade de alguns micronutrientes, como a matéria orgânica, pois exerce um papel fundamental no solo, agindo em sua estrutura pelo fornecimento de substâncias agregantes no suprimento de macro e micronutrientes, na capacidade catiônica e tamponamento do pH (SILVA e PASCAL, 1999). Estudos realizados por Zanão Junior et al., (2007) confirmam que os maiores teores de Zn e Mn nos primeiros 10 cm de solo podem ser explicados pela maior quantidade de matéria orgânica na referida camada, uma vez que esta, é uma das principais fontes destes nutrientes no solo. A disponibilidade do Cobre também pode ser influenciada por esse componente, que é um dos principais reservatórios do elemento (COSTA, 2009). Condizente com este trabalho, no qual apresentou um alto índice de matéria orgânica (quadro 4).

O coeficiente de variação (CV) é calculado a fim de obter informações sobre a dispersão e a distribuição das variáveis em estudo. As variabilidades dos atributos foram classificadas com base nos critérios de Pimentel-Gomes (2009) para experimentos de campo com culturas agrícolas, que considera os valores de CV como baixos, quando são inferiores a 10%, médios, quando estão entre 10 e 20%, altos, quando estão entre 20 e 30%, e muito

altos quando são superiores a 30%. A análise mostrou o pH (Quadro 4) que foi considerado baixo (6,40%), tendo seus conjuntos de dados mais parecidos entre si, havendo um grupo de dados mais homogêneos, e conseqüentemente uma menor variabilidade. O CV de Cu (10,01%) e Mn (13,97%), foram classificados como médio, tendo um grupo de dados com menor homogeneidade e uma variabilidade moderada, comparado com o pH. Já o CV do Fe (28,26%) e Zn (38,26%) foram considerado altos e muito altos, respectivamente, tendo seus conjuntos de dados com os valores amostrais mais contrastantes entre si. Sugerindo alta heterogeneidade em torno da média entre os atributos químicos nos compartimentos do terreno. Isso evidencia que o Zn e o Fe são elementos que ocorrem segundo uma distribuição aleatória no espaço e apresenta grande variação ao redor da média, mostrando-se um elemento crítico para o adequado manejo do ponto de vista da AP. Referida heterogeneidade pode ter várias causas, dentre as quais merecem destaque: processos de formação do solo, acúmulo e distribuição das partículas do solo em função da forma do relevo e do fluxo de água na área (ARTUR et al., 2014). Assim, o tamanho de amostra é um fator importante para se determinar as características químicas de um solo e, quanto mais heterogêneo o solo, maior deve ser o número de amostras coletadas, para que se obtenha a precisão desejada na avaliação de suas características (SILVEIRA et al., 2000).

O desvio padrão (Quadro 4) determina o quanto os valores dos dados oscilaram em torno da média central. Quanto mais próximo a zero for o valor obtido, menos dispersos serão os valores. O pH, o Cu e o Zn obtiveram desvio padrão com os valores de 0,34; 1,41; e 0,42, respectivamente, apresentando uma baixa dispersão, oscilação em torno da média e amplitude dos dados e, conseqüentemente, uma distribuição normal pelo teste de Ryan-Joiner. Os valores de 29,96 e 13,76 correspondem ao Fe e Mn, respectivamente, onde apresentaram uma alta oscilação em torno da média, demonstrando uma maior amplitude, havendo uma alta dispersão dos dados. Além do mais, apresentaram uma distribuição significativa pelo teste de Ryan- Joiner. Esses resultados compreendem uma melhor visualização com a demonstração das imagens de box plot, onde o Fe e Mn apresentam maiores amplitudes e desvio padrão e, conseqüentemente, maior dispersão dos dados em comparação aos outros atributos (Figura 5). O mesmo, pode ser observado através das cartas de controle.

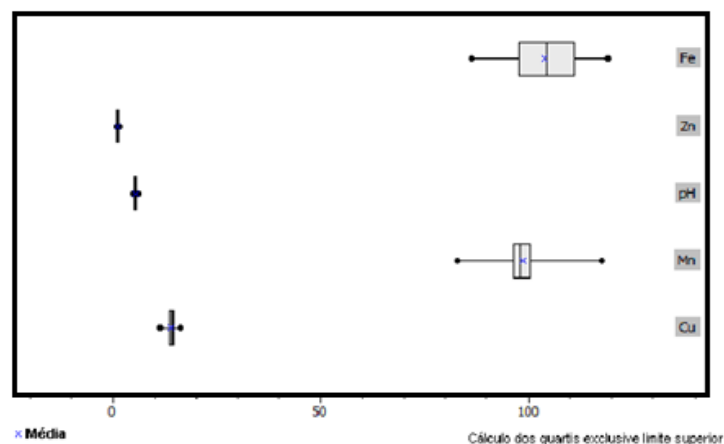


FIGURA 5: Box plot do pH e os micronutrientes catiônicos.

4.2 Cartas de controle

Os pontos amostrais encontrados entre os limites específicos de controle (LEC= 4,8 e LEC= 5,6) demonstram a normalidade de distribuição das variáveis para os limites agronômicos propostos para o atributo pH (Figura 6A). De acordo com a carta de controle, para a mesma variável, é encontrada uma única observação fora do controle do limite superior - UCL (observação n.^o 1), próximo ao trigésimo quinto ponto amostral, anômalo ao conjunto de distribuição de dados compreendidos entre o limite inferior de controle - LCL e o limite superior de controle - UCL. Fato possivelmente associado ao erro do receptor GNSS que gerou uma sobreposição na faixa de aplicação.

A carta de controle para a variável Fe (Figura 6B), posiciona duas observações fora do controle do UCL, compreendido entre o vigésimo e o vigésimo quinto ponto amostral, seguido de mais uma observação entre o intervalo do trigésimo ao trigésimo quinto ponto amostral, também anômalo ao conjunto de distribuição de dados entre o LCL e o UCL. Este fato é associado ao alto coeficiente de variação e desvio padrão (Quadro 4), posicionando uma distribuição anormal da frequência de dados pelo teste de Ryan- Joiner.

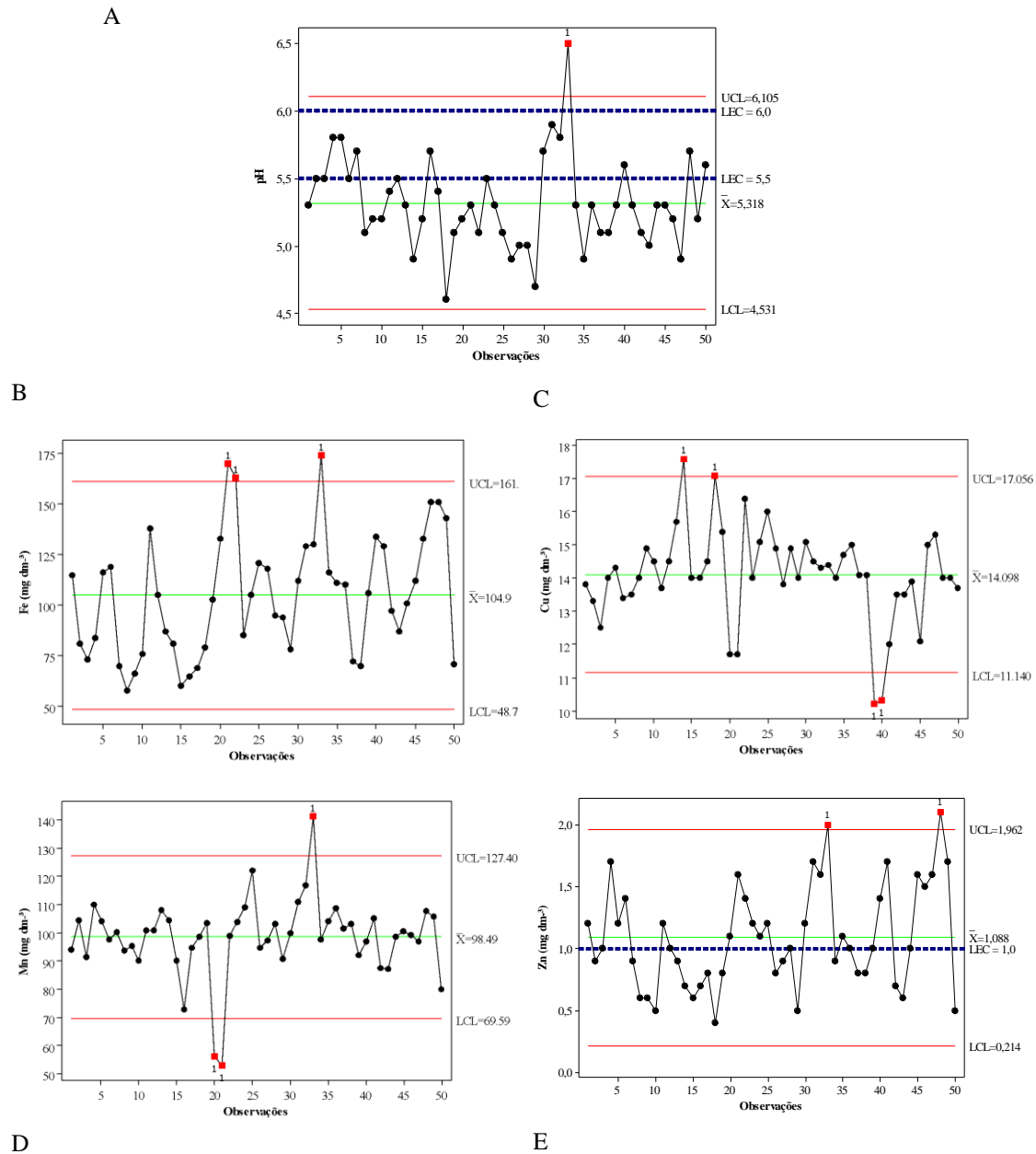


FIGURA 6. Cartas de controle para pH (A) e os micronutrientes Fe (B), Cu (C), Mn (D) e Zn (E). UCL – limite superior de controle; LCL – limite inferior de controle; \bar{X} – média; LEC – limite específico de controle.

A carta de controle para a variável Cu (Figura 6C), posiciona quatro observações fora do UCL (observações n.^o 1), onde dois pontos estão compreendidos entre o décimo e o vigésimo ponto amostral, seguido de mais duas observações próximas ao quadragésimo ponto amostral, também anômalos ao conjunto de distribuição de dados entre o LCL e o UCL. O baixo CV é devido ao agrupamento de dados, associado ao aumento do pH. De acordo com Ferreira e Cruz (1991), o Cu está associado aos valores de pH e aos teores de

matéria orgânica no solo, podendo formar complexos, desse modo, influenciando sua disponibilidade. Apesar de apresentar pontos de observações fora do limite de controle, a distribuição dos dados de Cu está dentro da normalidade pelo teste de Ryan- Joiner. (Quadro 4).

A carta de controle para a variável Mn (Figura 6D) posiciona três observações fora do UCL (observações n.º 1), compreendido entre o vigésimo e o vigésimo quinto ponto amostral, seguido de mais uma observação próxima ao trigésimo quinto ponto amostral, também anômalos ao conjunto de distribuição de dados entre o LCL e o UCL. A distribuição dos dados foi significativa pelo teste de Ryan- Joiner devido a sua amplitude e seu desvio padrão considerados altos (Quadro 4).

A carta de controle para a variável Zn (Figura 6E) pontua duas observações fora do UCL (observações n.º 1), também anômalas ao conjunto de distribuição de dados entre o LCL e o UCL. Este fato se associa, possivelmente, ao alto CV dos dados de Zn (Quadro 4), porém os valores de desvio padrão e amplitude foram baixos, havendo distribuição normal dos dados. Diferente de Silveira e Cunha (2002), que verificaram para o Zn maior variabilidade em diferentes sistemas de preparo do solo.

4.3 Correlação de Pearson

A interpretação da correlação de Pearson para dados estudados (Quadro 5), foram de acordo com Dancey e Reidy (2005), que apontam para uma classificação ligeiramente diferente: $r = 0,10$ até $0,30$ (fraco); $r = 0,40$ até $0,6$ (moderado); $r = 0,70$ até 1 (forte). Quanto mais perto de 1 (independente do sinal) maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis.

QUADRO 5: Correlação de Pearson entre as variáveis

	Cu	Mn	pH	Zn	Fe
Mn	0,115	-	-	-	-
pH	-0,273	0,519	-	-	-
Zn	-0,401	0,420	0,597	-	-
Fe	-0,285	0,280	0,075	0,736**	-
NDRE	0,267	0,183	0,127	-0,044	-0,032

** Correlação significativa a nível a nível de $p < 0,01$.

O Zn e o Fe tiveram um maior destaque, com um maior grau de correlação positivo. Han et al. (2011) em seus estudos, concluiu que os teores de micronutrientes no solo, principalmente aqueles que estão nas formas biodisponíveis, aumentam com a aplicação de Zn. Porém, com o tempo de contato do Zn com o solo, há aumento na ligação com os coloides do solo, reduzindo sua disponibilidade (LAIR et al., 2007; ACHIBA et al., 2010). Corroborando com Malavolta (1980), que aponta que maior parte do zinco em solos encontra-se retido na estrutura cristalina de os óxidos de ferro e manganês. Portanto, observa-se uma relação entre esses micronutrientes, porém, com o passar do tempo, essa correlação se torna inversamente proporcional.

4.4 Dependência Espacial

O índice de dependência espacial (IDE) dos atributos foram calculados e classificados com base em Zimback (2001) no Quadro 6.

QUADRO 6: Índice de dependência espacial do pH e micronutrientes da área estudada.

Atributo	pH	Fe	Cu	Mn	Zn
IDE (%)	96,30	5,43	84,99	64,22	67,14

IDE: Índice de dependência espacial dos atributos.

O pH e o Cu mostraram uma dependência espacial de seus dados, considerado forte, condizente com o semivariograma dos mesmos (Figura 7A e figura 7C), em que as curvas apresentaram um melhor ajuste ao modelo matemático de função quadrática dos dados para ambos. O Zn e o Mn apresentaram uma dependência espacial classificada como moderada, pois ambos apresentaram no semivariograma alguns pontos distantes da curva (Figura 7D e Figura 7E). Diferente do Fe que demonstrou uma dependência espacial considerada fraca e mostrou uma curva de semivariância com maior diferença em relação às demais (Figura 7B). A dependência espacial fraca pode ser devido à baixa densidade amostral em relação ao tamanho da área, resultando em vizinhos próximos com valores discrepantes, associada à variabilidade. Essa variabilidade do Fe pode ser explicada pelas áreas onde o solo apresentou maior umidade. Em condições anaeróbias, elevadas quantidades de Fe na forma reduzida (Fe^{2+}) são liberadas para a solução do solo e, conseqüentemente, aumentam a sua

possibilidade de absorção pelas plantas, podendo, em casos de excesso, atingir níveis de toxidez prejudiciais à cultura (SCHMIDT et al., 2013).

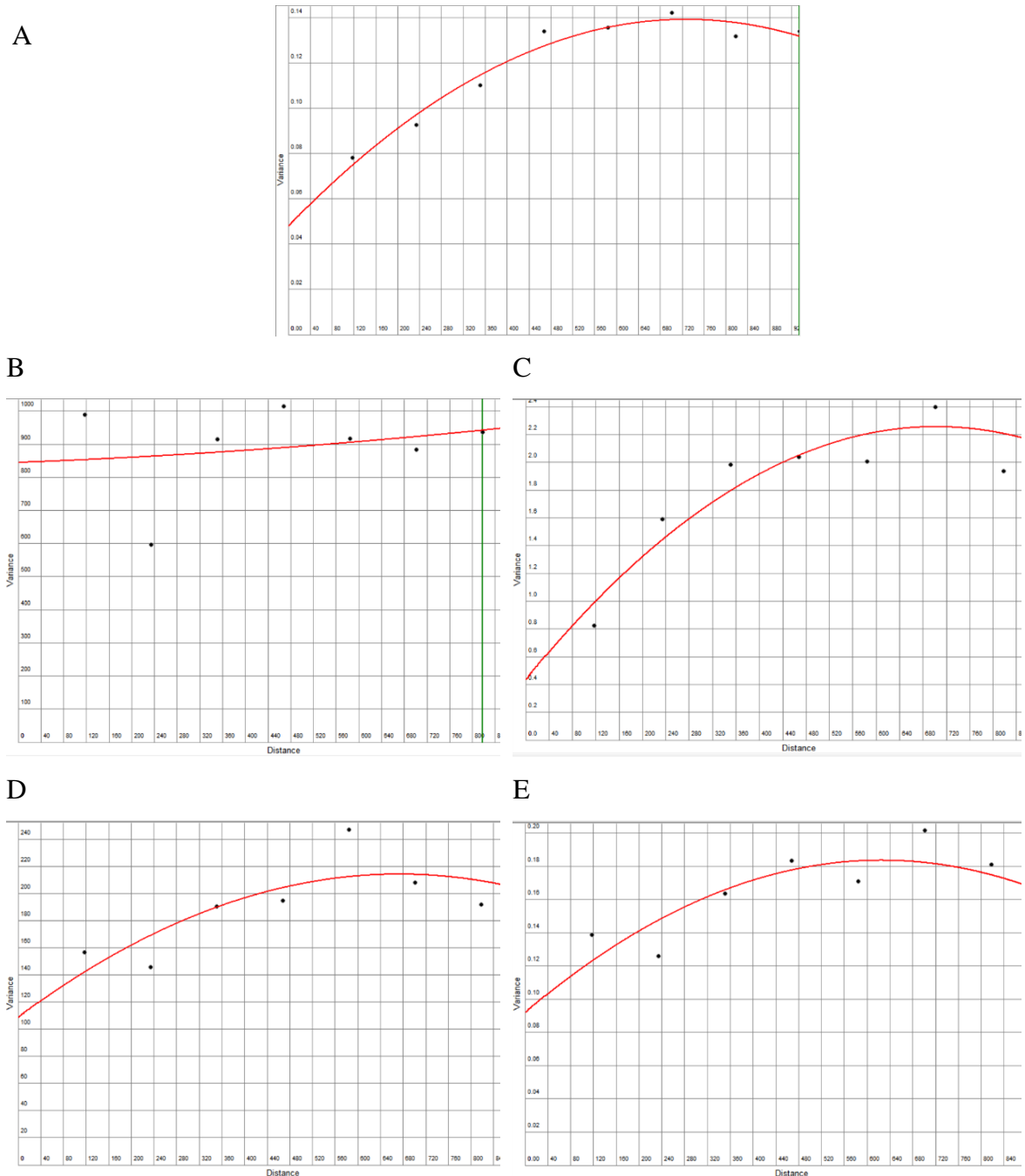


FIGURA 7. Semivariograma para pH (A) e os micronutrientes Fe (B), Cu (C), Mn (D) e Zn (E)

Diante dos resultados observados, vários autores, como Vieira et. al (1983), Zimmerman & Zimmerman (1991), Batista (2002), afirmam que a Krigagem é o melhor método de interpolação para dados de atributos do solo quando se tem dependência espacial.

4.5 Variabilidade espacial do pH e micronutrientes

O mapa temático representa certo número de conjunto espaciais resultantes da classificação dos fenômenos que integram o objetivo de estudo de determinado ramo específico, fruto da divisão do trabalho científico. À medida que aumenta o conjunto de dados disponíveis, cresce também a capacidade de novas análises e novos mapas (ZIMBACK, 2013)

O pH em partes da área apresentou manchas (Figura 8), porém, houve uma distribuição uniforme do mesmo ao longo da unidade produtiva com predominância da faixa alaranjada entre 5,16 a 5,4, esse resultado se dá devido ao seu baixo CV, apontando uma baixa variabilidade. Essa homogeneidade é consequência da suavização ocorrida no processo de interpolação através da krigagem (SANTOS et al., 2011).

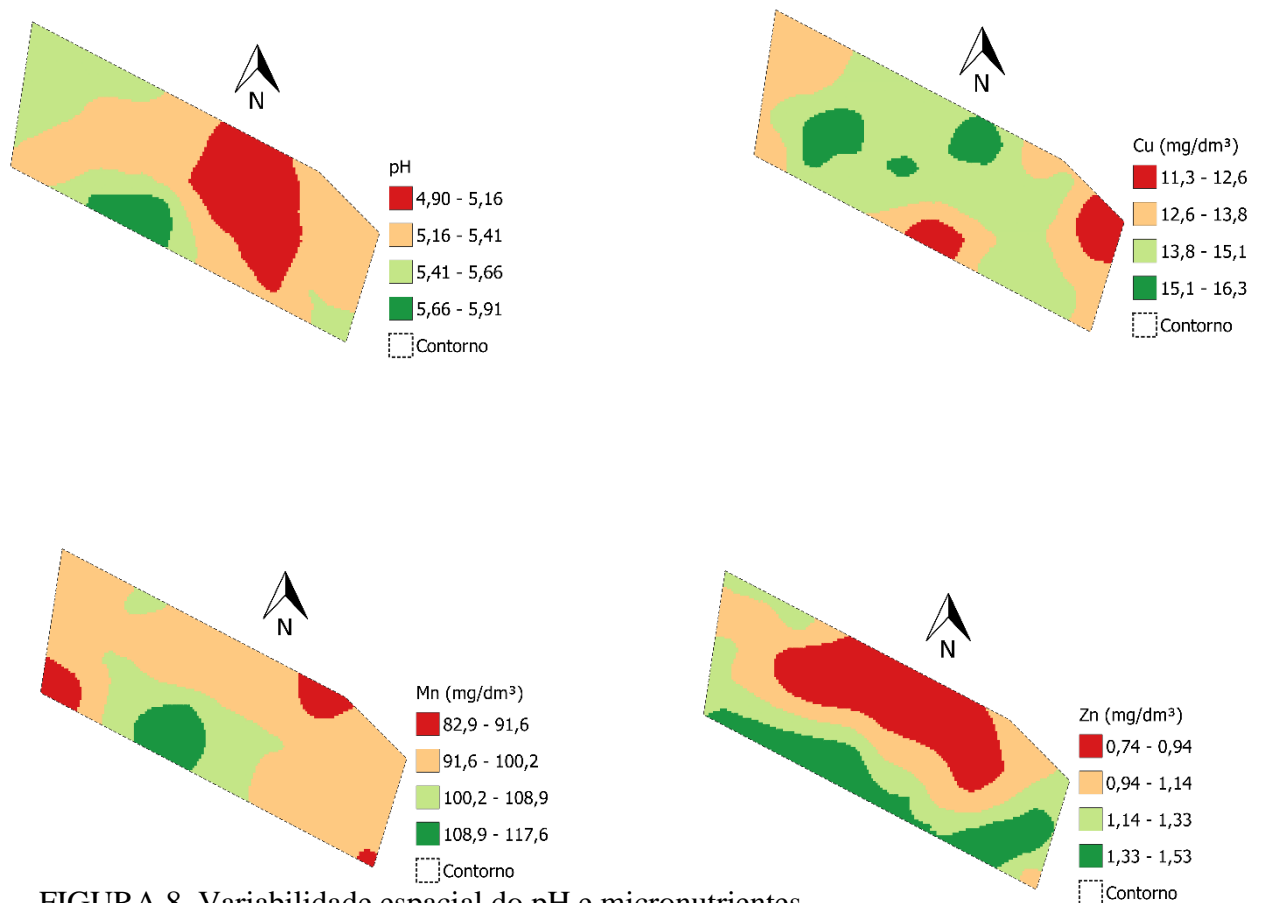


FIGURA 8. Variabilidade espacial do pH e micronutrientes.

Apesar de o mapa temático de Cu (Figura 8) apresentar algumas manchas, este apontou uma maior predominância de altos teores do mesmo (13,8- 15,1 mg dm⁻³), havendo uma maior uniformidade no mapa estimado, concordando com seu baixo CV. O mesmo ocorre com o Mn (Figura 8), que apresentou ao longo da área, uma predominância de da faixa de 91,6 mg dm⁻³ a 100,2 mg dm⁻³, ao longo da unidade produtiva. Sendo assim, tem uma maior uniformidade desse micronutriente devido ao seu baixo CV.

Enquanto que para o Zn (Figura 8) é possível observar sua distribuição ao longo da área, resultando em uma variabilidade alta, devido a sua classificação do valor de CV que apresentou muito alto.

Com base no cálculo de índice de dependência espacial, houve tentativas de ajudar modelos matemáticos para o Fe, onde o melhor ajuste foi de função quadrática, dando origem aosemivariograma. Mesmo com o melhor ajuste,não foi possível realizar a interpolação dos dados utilizando a krigagem e posteriormente, confeccionar o mapa, pois o mesmo apresentou uma fraca IDE correspondente a 5,43%. Conforme Camargo et al., (2004), é importante que o modelo ajustado represente a tendência do semivariograma em relação à distância. Pois só assim, é possível realizar as estimativas da krigagem, onde serão mais exatas e confiáveis. Salienta-se que a escolha do modelo é uma etapa de suma importância, pois este pode afetar o uso de interpoladores espaciais como a krigagem, interpondo assim na confiabilidade das estimativas, característica essencial para a construção dos mapas temáticos (SCOLFORO et al., 2015).

Estes mapas, que mostram a distribuição espacial dos micronutrientes na área estudada e a pós-correção à taxa variável, servirão de base para o acompanhamento, nos próximos anos, do efeito de tal aplicação em relação ao comportamento dos referidos elementos. A separação da área em parcelas uniformes também permitirá um planejamento adequado do manejo da fertilidade das mesmas, no sentido de evitar que ocorra deficiência dos elementos para a cultura de soja, ou que os níveis dos mesmos aumentem a ponto de se tornarem tóxicos. Assim, após anos da prática de aplicação de fertilizantes em taxa variável, há redução na variabilidade e elevação dos teores de nutrientes, entretanto, é necessário identificar regiões com potencial produtivo distinto, para atuar com manejo diferenciado (GIMENEZ e MOLIN, 2018).

4.6 Índice de vegetação por diferença normalizada da borda do vermelho (NDRE)

O mapa de NDRE (Figura 9) indicou desenvolvimento normal da cultura da soja, uma vez que capitaliza a sensibilidade da borda vermelha da vegetação a pequenas mudanças no conteúdo da folhagem no dossel, na fração do intervalo e na senescência (MOUTINHO, 2018). Esses resultados são condizentes com Boesing et al. (2014) que concluíram em sua pesquisa que o índice de vegetação é capaz de detectar a variabilidade espacial existente em uma lavoura de soja no estágio reprodutivo. Peng e Gitelson (2012) observaram os resultados em seus experimentos, em que concluíram que os resultados foram satisfatórios para NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada) apenas nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura da soja e, ao se aproximar da maturidade, esse índice começa a ter um desempenho inferior aos índices que utilizam a banda do Red- edge.

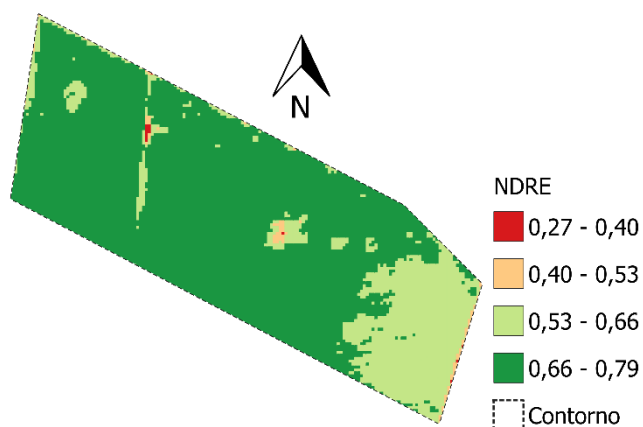


FIGURA 9: Mapa de espacialização do NDRE da cultura da soja, estado R1.

Apesar de ocorrer pequenas manchas no mapa temático, houve predominância da faixa verde escuro, com os valores entre 0,66 a 0,79 apresentando um alto índice de biomassa da cultura ao decorrer da área. Sendo assim, tendo uma maior uniformidade.

Os dados referentes a esse índice de vegetação, não apresentaram uma forte correlação com o pH e micronutrientes (Quadro 5). Canavesi e Kirchner, (2005) também observaram uma baixa correlação de nutrientes do solo com o índice de vegetação na área na

qual realizaram seus estudos. Apenas os micronutrientes catiônicos do solo não determinam o índice de biomassa da cultura, necessitando assim de uma análise conjunta de outros componentes do solo para associar com o crescimento e desenvolvimento da soja.

5 CONCLUSÕES

O pH apresentou menor variabilidade na área experimental, enquanto que o Cu e Mn foram classificados com uma variabilidade moderada, seguido de Fe e Zn que demonstraram alta variabilidade espacial na área estudada.

O Zn e o Fe apresentam com um maior grau de correlação positivo.

O NDRE não se correlaciona com os micronutrientes e pH.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTUR, A; OLIVEIRA, D; COSTA, M; ROMERO, R; SILVA, SILVA, M; FERREIRA, T. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662014000200003. Acesso em 23 de janeiro de 2020.

BARNES, E. M. T. R.; CLARKE, S. E.; RICHARDS, P. D.; COLAIZZI, J.; HABERLAND, M.; KOSTRZEWSKI E. **Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data**. 2000. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.463.8007&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 28 fev 2020.

BOESING, B. F. B.; BOTTEGA, E. L.; CATEN, A. T.; SARTORI, L.; HARAMOTO, R. H. **Variabilidade espacial de índices de vegetação na cultura da soja em estágio reprodutivo**. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, São Pedro. 2014.

BURROUGH, P.A.; VAREKAMP, C.; SKIDMORE, A.K. Using public domain geostatistical and GIS software for spatial interpolation. Photogrammetric. **Engineering & Remote Sensing**, cidade, v.62, n.7, p.845-854, 1996.

CARMO, L. D.; SILVA, C. A.; **Relação entre matéria orgânica e argila com o poder tampão de saturação por bases de diferentes solos de Minas Gerais**. XXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Florianópolis, ago. 2013.

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

COELHO, A. M. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas**. Sete Lagoas: Embrapa CNPMS, 2005. 60 p.

COSTA, W.P.L.B. **Alterações na fertilidade do solo e teores de metais pesados em solos cultivados com videira**. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2009. 80f. (Dissertação de Mestrado).

COUTO, E.G.; KLAMT, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do estado de Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.12, p. 2321-2329, 1999.

COUTO, E.G.; SCARAMUZZA, J.F.; MARASCHINI, L. **Influência dos métodos de interpolação dos dados nos mapas usados na agricultura de precisão**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2002, Viçosa. Anais... Viçosa: SIAP, 2002. p.1-5.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M. de P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, n.3, p.453-461, 2012.

DANCEY, C.; REIDY, J. (2006), **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed, 2005.

DIAS, M. B.; TOLENTINO JUNIOR, C. F.; OLIVEIRA, E.; AZOIA, T.; REIS, G. B.; MORAIS, S. R.; **Acompanhamento de Safra da Soja 2018/2019**. Campo Grande: Sistema Famasul, 2019. P. xx (Circular técnica 302/2019).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília, 2006. 306 p

SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J.; CLEMENTE, E. P. Latossolos vermelhos. Embrapa. Brasília. 2009. Disponível em: <
http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html> Acesso: 22 fev. 2020.

EXELIS, E. Versão 5.0. Boulder, Colorado; Exelis visual Information Solutions, 2013.

FARACO, M.A.; URIBE-OPAZO, M.A.; SILVA, E.A.A.; JOHANN, J.A.; BORSSOI, J.A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.463-476, 2008.

FERREIRA, M.; CRUZ, M.C.P. (Orgs.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafos/ CNPq, 1991. 734p.

FOLEGATTI, M. V. **Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso**. 1996. 84 p. Tese (Doutorado em Irrigação) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996. GAMMA DESIGN SOFTWARE. GS+: geostatistics for the environmental sciences. Plainwell, 2004.

GIMENEZ, L. M.; MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão sob a perspectiva de seus diversos atores. Informações agronômicas. São Paulo, Junho. 2018. n 162. Disponível em: <
[http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/8F402ECCA45FD888832582C900620055/\\$FILE/Page15-19-162.pdf](http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/8F402ECCA45FD888832582C900620055/$FILE/Page15-19-162.pdf)>
Acesso em 22 maio. 2020.

GIRACCA, E. M. N.; NUNES, J. L. S. **Micronutrientes**. Disponível em:<<http://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes/micronutrientes.aspx>> Acesso em: 22 fev. 2020.

GITELSON, A.A.; KAUFMAN, Y.J.; MERZLYAK, M.N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, cidade, v.58, p.289-298, 1996.

GONTIJO, I.; NICOLE, L.R.; PARTELLI, F.L.; BONOMO, R.; SANTOS, E.O.J. Variabilidade e correlação espacial de micronutrientes e matéria orgânica do solo com a produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.4, p.1093-1102, 2012.

HAN, R. M.; TIAN, Y. X.; LIU, Y.; CHEN, C. H.; AI, X. C.; ZHANG, J. P.; SKIBSTED, L. H. Comparisson of flavonoids aansisoflavonoides as antoxidants. **Journal of Agricultural and Food Chemestry**, cidade, v, 57, p. 3780- 3785, 2009.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied Geostatistics**. New York : Oxford University Press, 1989. 561p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos. 672p, 2009.

KLERING, E.V.; FONTANA, E.V.; ROGLIO, V.S.; ALVES, R.C.M.; BERTALO, M.A. Modelo agrometeorológico-espectral para estimativa da produtividade de grãos de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Bragantia**, Campinas, v.75, n.2, p.247-256, 2016.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LI, B.Y.; ZHOU, D.M.; CANG, L.; ZHANG, H.L.; FAN, X.H.; QIN, S.W. Soil micronutrient availability to crops as affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.96, n.1-2, p.166-173, 2007.

LOPES, A. S. **Manual Internacional de fertilidade do solo**: Traduzido e adaptado. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177p.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 4. ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 256p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, cidade, n.58, p.2246-1266, 1963.

MOLIN, R. **Espaçamento entre linhas de semeadura na cultura de milho**. Castro, Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, 2000. p.1-2.

MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão: o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba: 2001. 83 p.

MOLIN, J. P.; AMARAL, R. L.; COLAÇO, F. A.; **Agricultura de precisão**. 1 ed. São Paulo: Oficinas de Textos, 2015.110p.

NEIVERTH, W.; CRUSIOL, L. G. T.; CARVALHO, J. F. C.; FERREIRA, L. C.; RIO, A.; SIBALDELLI, R. N. R.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B. **NDVI de estádios fenológicos da soja BRS 284 de crescimento indeterminado em casa de vegetação**. VIII Jornada Acadêmica Embrapa Soja. Londrina, 2013.

PAZ-GONZALEZ, A.; TABOADA CASTRO, M. T.; VIEIRA, S. R. Geostatistical analysis of heavy metals in a one-hectare plot under natural vegetation in a serpentine area. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 81, p. 469-479, 2001.

PENG, Y.; GITELSON, A. A. Remote estimation of gross primary productivity in soybean and maize based on total crop chlorophyll content. *Remote Sensing of Environment*, New York, cidade, v. 117, p. 440-448, 2012.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed., Piracicaba: Fealq, 2009, 451 p.

RESENDE, J.T.V.; MARCHESE, A.; CAMARGO, L.K.P.; MARODIN, J.C.; CAMARGO, K.P.; MORALES, R.G.F. Produtividade e qualidade pós-colheita de cultivares de cebola em sistemas de cultivo orgânico e convencional. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.2, p.305- 311, 2010.

RIBEIRO, C. **Drones, Índices de vegetação e tomada de decisão na Agricultura**, 2016. Disponível em:<<http://sensix.com.br/2016/08/29/drones-indices-de-vegetacao-e-a-tomada-de-decisao-na-agricultura/>>. Acesso em: 24 fev. 2020.

RODRIGUES, C.P.; FONTANA, D.C.; MORAES, O.L.L.; ROBERTI, D.R. NDVI e fluxo de Co₂ em lavoura de soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, cidade, v.28, n.1, 95-104, 2013.

RUTKOWSKA, B.; SZULC, W.T.; SOSULSKI, W. Stepień Soil micronutrient availability to crops affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications. **Plant Soil Environmental**, cidade, v.60, n.5, p.198-203, 2014.

SANTOS, H. G.; FIDALGO, E. C. C.; ÁGLIO, M, L. Solo. Agencia Embrapa de Informação Tecnológica. Brasília. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fesi63xh02wx5eo0y53mhyx67oxh3.html>>. Acesso em: 19 jan 2020.

SANTOS, E.O.J.; GONTIJO I.; NICOLE L.R. Variabilidade espacial de cálcio, magnésio, fósforo, potássio no solo e produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.10, p.1062-1068, 2012.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** (3 ed.). Brasília, DF: Embrapa. 2013.

SANTOS, P. C.; SANTANA, A. C.; BARROS, L. C.; QUEIROZ, J. C. B.; VIEIRA, T. O. **O emprego da geoestatística na determinação do tamanho “ótimo” de amostras aleatórias com vistas à obtenção de estimativas dos volumes dos fustes de espécies florestais em Paragominas no estado do Pará**. Ciências Florestais, Manaus, n. 2, 2011.

SARAIVA, A.M.; CUGNASCA, C.E.; HIRAKAWA, A.R. Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes. In.: Borém, A. et al. (eds) **Agricultura de Precisão**. Viçosa: UFV, p.109-145, 2000.

SCOLFORO, H.F.; SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, C.R.; MELLO, J.M.; FERRAZ FILHO, A.C. Spatial distribution of aboveground carbon stock of the arboreal vegetation in Brazilian biomes of Savanna, Atlantic Forest and Semi-Arid Woodland. *Plos One*, v. 10, n. 6, p. 1-20, 2015. Disponível em: . doi:10.1371/journal.pone.0128781

SHIRATSUCHI, L. S., BRANDÃO, Z. N., VICENTE, L. E., VICTORIA, D. C., DUCATI, J. R., OLIVEIRA, R. P., VILELA, M. F., **Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão**. In: Bernardi ACC, Naime JM, Resende AV, Bassoi LH, Inamasu RY. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília: EMBRAPA. Cap. 4. p.58-73. 2014.

SHMIDT, F.; FORTES, M, A.; WESZ, J.; BUSS, G. L.; SOUSA, R. O. Impacto do manejo da água na toxidez por ferro no arroz irrigado por alagamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Pelotas, n 37. Jun 2013.

SILVA, W. M.; FABRÍCIO, A. C.; MARCHETTI, M. E.; KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; HERNANI, L. C. Eficiência de extratores de fósforo em dois latossolos do Mato Grosso do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2277- 2285, 1999.

SILVA, P.C.M.; CHAVES, L.H.G. Avaliação da variabilidade espacial de atributos químicos de um solo do perímetro irrigado de Petrolina, PE. **Agropecuária Técnica**, João Pessoa, v.27, p.5-12, 2006.

SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S.; SOUZA, G.S.; OLIVEIRA, R.B. Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos na estimativa de atributos do solo em agricultura de precisão. **Idesia**, Arica, v. 26, n. 2, p. 75-81, 2008.

SILVEIRA, P.M.; CUNHA A.A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um Latossolo submetido a sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.9, p.1325-1332, 2002.

SOARES FILHO, R; CUNHA, J.P.A.R. Agricultura de precisão: particularidades de sua adoção no sudoeste de Goiás – Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.4, p.689-698, 2015.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF:Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUZA, M.F. Estimativa do tamanho da amostra para culturas olerícolas em ambientes protegidos. 2001. 62f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

SOUZA, G.S.; LIMA, J.S.S.; XAVIER, A.C.; ROCHA, W.S.D. Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na espacialização de atributos químicos de um argissolo. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.11, n.1, p.073-081, 2010.

TRENTIN R.G.; MODOLO, A.J.; VARGAS, T.O.; CAMPOS, J.R.R.; ADAMI, P.F.; BAESSO, M.M. Soybean productivity in Rhodic Hapludox compacted by the action of furrow openers. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.40, n.35015, p.1-9, 2018.

VIAN, A. L. et al. Distribuição espacial de micronutrientes em áreas de Latossolo irrigados e sequeiro manejadas com agricultura de precisão. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 14, p. 508 – 422, 2012.

VIAN, A. L.; SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M.; BREDEMEIER, C. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 3, p. 464-471, 2016.

VIEIRA, S.R. geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, G.R., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2000. v.1, p.1-54.

VILELA, L. C. **Comparação entre as redes neurais artificiais e o método de interpolação krigagem aplicados à pesquisa agrônômica**. Tese (Doutorado). UNESP. Faculdade de Ciências Agrônômicas. CAMPUS DE BOTUCATU. 2004. 124P.

VITTI, G. C.; GRANDO Jr., N. **O uso de micronutrientes na maximização da produção**. Visão Agrícola, Piracicaba, n. 5, p. 24-26, 2005.

WHITE, J. G.; ZASOSKI, R. J. Mapping soil micronutrients, **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 60, n.1-2, p.11-26, 1999.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. [S.l.: s.n.], 2013.

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, n. 04, p.1000-1007, 2007.

ZECH, Z. et al. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, n.1, p.69-116, 1997.

ZIMMERMAN, D.L., ZIMMERMAN, M. B. A. Acomparision of spatial semivariogram estimators and corresponding ordinary kriging predictors. **Technometrics**, cidade, v. 33, n.1, p. 77-91, 1991.