

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA FERTILIDADE DO SOLO  
ANTES E APÓS APLICAÇÃO DE CALCÁRIO EM TAXA  
VARIÁVEL PARA O CULTIVO DA SOJA**

**REALDO FELIX CERVI**

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2020**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA FERTILIDADE DO SOLO  
ANTES E APÓS APLICAÇÃO DE CALCÁRIO EM TAXA  
VARIÁVEL PARA O CULTIVO DA SOJA**

REALDO FELIX CERVI

Engenheiro Agrônomo

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C419v Cervi, Realdo Felix

VARIABILIDADE ESPACIAL DA FERTILIDADE DO SOLO ANTES E APÓS A  
APLICAÇÃO DE CALCÁRIO EM TAXA VARIÁVEL PARA O CULTIVO DA SOJA [recurso  
eletrônico] / Realdo Felix Cervi. -- 2020.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: PROF. Dr. JORGE WILSON CORTEZ.

Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2020.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. VARIABILIDADE ESPACIAL DA FERTILIDADE DO SOLO. 2. AGRICULTURA DE  
PRECISÃO. 3. TAXA VARIÁVEL. 4. MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA. 5. UFGD FCA 2018 2020.

I. Cortez, Prof. Dr. Jorge Wilson. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

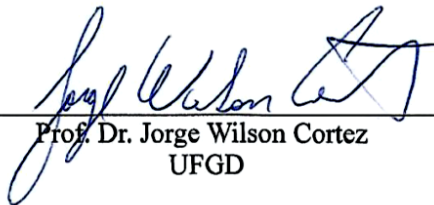
**“Variabilidade espacial da fertilidade do solo antes e após a aplicação de calcário em taxa variável para o cultivo da soja ”**

por

**REALDO FELIX CERVI**

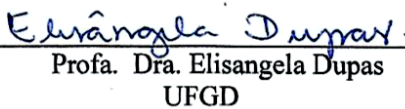
Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de  
**MESTRE EM AGRONOMIA**

Aprovada em: 19/02/2020.



---

Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez  
UFGD



---

Profa. Dra. Elisangela Dupas  
UFGD



---

Dr. Eber Augusto Ferreira do Prado  
IFMS

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus.

À minha Mãe Maria Magdalena Felix Cervi e ao meu Pai Realdo Cervi  
(in memoriam) pelo dom da vida.

À minha família, esposa Keise Daniely Andrade de Lima Cervi e meus  
Filhos Matheus de Lima Felix Cervi e Mariana de Lima Felix Cervi.

Ao Professor Doutor Jorge Wilson Cortez.

À Professora Doutora Alessandra Mayumi Tokura Alovisi.

Ao Sr Valmor Cervi e sua Família, Alice Maria Cervi, Nelson Pereira  
Neto e Fabiane Cervi Pereira.

Ao Sr. Ataídes de Lima, Sra. Hilda Bernardes Andrade e sua Família.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Realdo Felix Cervi, Agricultor, com bacharelado em agronomia concluído em 1998 pela UFMS/NCA em Dourados MS, universidade essa atual UFGD-FCA; Experiência na área agronômica, assistência técnica e planejamento agropecuário, conhecimento em fitotecnia em grandes culturas, principalmente soja, milho, trigo, aveia, forrageiras, algodão e cana-de-açúcar. Prática em manejo de pragas, doenças e plantas invasoras de difícil controle das culturas citadas, experiência em fertilidade dos solos e nutrição de plantas, mecanização agrícola e agricultura de precisão. Mestrando em Agronomia pela UFGD FCA 2018-2020 – Produção Vegetal. MBA Gestão do Agronegócio em andamento pela FGV TRECCSON 2018-2020. Especialização em Solos e Nutrição de Plantas em andamento pela ESALQ USP EAD 2018-2020. cervirealdo@gmail.com

# SUMARIO

PÁGINA

<b>RESUMO</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	10
<b>2.1 Agricultura de precisão</b> .....	10
<b>2.2 Correção da fertilidade do solo</b> .....	11
<b>2.3 Interpolação geostatística</b> .....	12
<b>2.4 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)</b> .....	14
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	15
<b>3.1 Local</b> .....	15
<b>3.2 Equipamentos e insumos</b> .....	17
<b>3.3 Avaliações</b> .....	19
<b>3.3.1 Atributos químicos do solo</b> .....	19
<b>3.3.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)</b> .....	20
<b>3.4 Análise dos dados</b> .....	20
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	21
<b>4.1 Estatística descritiva e cartas de controle</b> .....	21
<b>4.2 Mapas de espacialização</b> .....	28
<b>4.3 Mapa de espacialização do NDVI</b> .....	33
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	35
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	36

CERVI, R.F. **Variabilidade espacial da fertilidade do solo antes e após aplicação de calcário em taxa variável para o cultivo da soja.** 38f. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

## RESUMO

As ferramentas de agricultura de precisão (AP) possibilitam a gestão da propriedade rural, e sua aplicação no Brasil tem se consistido na caracterização da fertilidade do solo, sendo importante por permitir a interpretação das causas de variações e, assim, realizar intervenções de maneira localizada por meio da aplicação de insumos em taxa variável. Portanto, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial de alguns atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico, antes e após aplicação de calcário em taxa variável, como do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da cultura da soja. O experimento foi conduzido em uma área comercial de aproximadamente 100 ha durante a safra de soja 2018/2019, sendo realizado amostragem sistemática em grade com espaçamento regular para coleta de solo, sendo que antes da correção do solo, foram alocados 20 pontos amostrais, com grid de 5 ha; e após a correção, foram alocados 50 pontos amostrais, com grid de 2 ha. Em ambas as amostragens de solo, foram coletadas 12 subamostras por ponto na camada de 0,00-0,20 m. Esta foi realizada antes e após a aplicação em taxa variável calcário calcítico e dolomítico, que posteriormente foram incorporados por grade aradora. Foram determinados os seguintes atributos químicos: pH, MO, P, K, Ca, S, Mg, Al, H+AL, SB, CTC a pH 7,0 e V%. Para obtenção dos dados do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), utilizaram-se imagens do satélite Sentinel 2A e 2B no estágio R1 do ciclo da cultura da soja. Os dados foram avaliados, pela análise descritiva clássica, e posteriormente aplicada o controle estatístico do processo, utilizando-se as cartas de controle de valores individuais, que possuem linhas centrais (média geral), bem como os limites específicos de qualidade, calculados com base em três vezes o desvio padrão, e confeccionados mapas de espacialização usando o método do inverso da distância. A aplicação de calcário em taxa variável proporcionou diminuição da variabilidade de Ca, Mg, K, Al, SB, CTC, V e S, aumento dos teores de bases trocáveis e eficiência na correção da acidez do solo. Em geral houve melhoria da fertilidade do solo pós-aplicação de calcário, evidenciado pelo aumento dos macronutrientes e do pH, em cujas distribuições espacial predominaram maiores teores. Os valores do NDVI na área estudada da cultura da soja e sua relação com os atributos químicos observaram-se maiores diferenças de valores em relação à umidade do solo do que com os nutrientes aplicados, pois algumas partes da área de estudo se encontravam com excesso de água no solo, devido a lamina de água de subsuperfície. Os atributos do solo MO, P, K, Ca, Mg e CTC, de acordo com o a análise de correlação entre as variáveis, não apresentaram significativas com o NDVI, ficando estas muito abaixo de 75%, (correlações acima de 75% são satisfatórias).

**Palavras-chave:** agricultura de precisão, macronutrientes-solo, manejo do solo, inverso da distância ao quadrado, NDVI.



CERVI, R.F. Spatial variability of soil fertility before and after limestone application at a variable rate for soybean cultivation. **38f. 2020**. Dissertation (Master in Agronomy), Federal University of Grande Dourados, Dourados-MS.

### ABSTRACT

Precision agriculture tools (PA) enable the management of rural properties, and their application in Brazil has consisted of characterizing soil fertility, being important for allowing the interpretation of the causes of variations and, thus, carrying out interventions in a localized manner. through the application of variable rate inputs. Therefore, the objective was to evaluate the spatial variability of some fertility attributes of an Oxisol, before and after limestone application at a variable rate, such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of the soybean crop. The experiment was carried out in a commercial area of approximately 100 ha during the 2018/2019 soybean harvest, with systematic sampling in a grid with regular spacing for soil collection, and before soil correction, 20 sample points were allocated, with 5 ha grid; and after correction, 50 sample points were allocated, with a 2 ha grid. In both soil samplings, 12 subsamples per point were collected in the 0.00-0.20 m layer. This was carried out before and after application at a variable rate of calcitic and dolomitic limestone, which were later incorporated by a plow harrow. The following chemical attributes were determined: pH, MO, P, K, Ca, S, Mg, Al, H + AL, SB, CTC at pH 7.0 and V%. To obtain data from the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), images from the Sentinel 2A and 2B satellite were used at the R1 stage of the soybean crop cycle. The data were used, analyzed classic descriptors and, later, used or statistically controlled of the process, using as charts of control of individual values, which shows central lines (general average), as well as the calculated quality limits, calculated based on three times the standard deviation, and the spatialization maps using the distance inverse method. A variable rate calculation application reduces the variation of Ca, Mg, K, Al, SB, CTC, V and S, increases the contents of exchangeable bases and efficiency in correcting soil acidity. In general, there was an improvement in soil fertility after the application of lime, evidenced by the increase in macronutrients and pH, in these predominantly larger spatial distributions. The NDVI values in the studied soybean area and its relationship with the chemicals show higher values in relation to the amount of soil with which the nutrients, as some parts of the study area have excess water in the soil, due to the restriction of water subsurface. The attributes of MO, P, K, Ca, Mg and CTC, agree with a correlation analysis between variables, are not considered with NDVI, are well below 75% (correlations above 75% are satisfactory).

Keywords: precision agriculture, macronutrients-soil, soil management, inversion of squared distance, NDVI.

# 1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) é uma das principais culturas produzidas no Brasil, cuja produção encontra-se distribuída nas diferentes regiões do país. Nos últimos 40 anos ocorreu significativa expansão das áreas destinadas à produção de grãos, fazendo-se necessário a adoção de tecnologias e ferramentas para melhorar o gerenciamento da propriedade rural (TRENTIN et al., 2018).

Entre as ferramentas utilizadas ao longo do tempo, destacam-se as ferramentas de agricultura de precisão (AP), como o emprego de amostragem de solo em grade e a adubação a taxa variada a lanço (SOARES FILHO e CUNHA, 2015). Estas ferramentas são utilizadas para o gerenciamento de sistemas de produção intensivo, principalmente àqueles voltados à produção de grãos e algodão, cuja atividade gera um custo elevado especialmente com a adubação (ZONTA et al., 2014).

Sobretudo na região central do Brasil, cujos solos em sua maioria eram considerados ácidos e de baixa fertilidade, a adoção de ferramentas de AP foi essencial para exploração agrícola. Uma vez que possibilitaram minimizar os problemas impostos pela acidez do solo, como a deficiência de nutrientes e toxidez de alumínio (BARBOSA FILHO e SILVA, 1994).

Aliado a isso, o uso de dados orbitais permite extrair o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), uma ferramenta disponível para o monitoramento da vegetação, com capacidade de indicação da evolução da biomassa da soja ao longo do ciclo (RODRIGUES et al., 2015). Uma vez que maiores valores de NDVI correspondem a um maior acúmulo de biomassa, e o acúmulo desta está relacionado à maior produtividade (KLERING et al., 2016).

Portanto, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial de alguns atributos da fertilidade de um Latossolo, antes e após aplicação de calcário a taxa variável, bem como do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da cultura da soja.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Agricultura de precisão**

A Agricultura de Precisão (AP) foi concebida nos Estados Unidos, na década de 1920, porém no Brasil sua adoção ocorreu somente na segunda metade da década de 1990 (WERNER, 2004). 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, principalmente visando à gestão da variabilidade espacial da produção (MOLIN, 2001).

A AP pode ser definida como uma estratégia de manejo do solo e das culturas, capaz de melhorar o nível de gerenciamento agrícola, 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 à conservação do solo (por exemplo, a aplicação de insumo com taxa variada), condições necessárias à AP (DALCHIAVON et al., 2012).

A AP também consiste em uma ferramenta que visa aumento de produtividade da atividade agrícola, por meio da análise da variabilidade espacial, sendo caracterizada pelas etapas de coletas de dados, gerenciamento da informação, aplicação de insumos a taxa variada e, por fim, a avaliação econômica e ambiental dos resultados (SOARES FILHO e CUNHA, 2015). Apesar do grande número de trabalho de pesquisa envolvendo AP e do reconhecimento de sua importância para elevar a rentabilidade agrícola, há que se destacar, em geral, o baixo emprego de tecnologias de AP. Em algumas regiões, por exemplo, há maior emprego de amostragem de solo em grade e a adubação a taxa variada a lanço, porém, o uso de sensores agronômicos ainda é um obstáculo devido aos altos custos e falta de mão de obra especializada (SOARES FILHO e CUNHA, 2015).

A agricultura tem passado por uma série de transformações com o uso de novas técnicas ligadas ao manejo das culturas, uso de equipamentos, insumos mais eficientes, que têm proporcionado ganhos significativos na produtividade das culturas. Com dependência de fatores controláveis e não controláveis, que, em grande medida, determinam a produtividade agrícola (SOARES FILHO e CUNHA,

2015). Além do rendimento agrícola, a AP deve considerar também a variabilidade dos fatores condicionantes como as condições edafoclimáticas, da planta e do solo (VIAN et al., 2016).

O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo constitui 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 Correção da fertilidade do solo**

Os solos brasileiros são, na sua maioria, considerados ácidos e de baixa fertilidade, características estas que limitaram por muito tempo a exploração agrícola na região central do Brasil. Apesar de importantes à produção de alimentos, estes solos foram por muito tempo considerados improdutivos; no entanto, o ajuste de tecnologias possibilitou minimizar os problemas impostos pela acidez do solo, como a deficiência de nutrientes e toxidez de alumínio (BARBOSA FILHO e SILVA, 1994).

A correção da fertilidade do solo vem sendo estudada há muito tempo, uma vez que a nutrição das plantas tem íntima relação com a produtividade das culturas. Vários trabalhos de pesquisa evidenciaram os benefícios tanto da calagem quanto da gessagem na redução da acidez e na disponibilidade de nutrientes. Silva et al. (1997), trabalhando em Latossolo Vermelho Distrófico, ácido, verificaram que o efeito da calagem sobre a acidez permaneceu restrito à superfície do solo, além de um baixo efeito residual de um ano para o outro.

Do mesmo modo, Caires et al. (2003), trabalhando em Latossolo Vermelho Distrófico, textura argilosa, com recente implantação de sistema plantio direto, observaram que a correção da acidez pela calagem na superfície ou incorporada foi mais acentuada na camada superficial do solo (0-5 cm), e houve maior reação nas profundidades de 5-10 e 10-20 cm, quando o calcário foi incorporado. Os efeitos benéficos da calagem na correção da acidez do subsolo foram pouco pronunciados e mais evidentes com a incorporação do calcário no solo. Porém, não houve resposta da soja, em três cultivos, ao calcário aplicado.

Para correção da acidez do solo no sistema plantio direto, o calcário é distribuído na superfície sem incorporação. A eficiência da aplicação superficial de calcário em solo sob plantio direto, particularmente na correção da acidez do subsolo, é controversa (CAIRES et al., 2000). Resultados de pesquisas realizadas com solos brasileiros indicaram pequenos ou nenhum movimento do calcário além do local de sua aplicação (CAIRES et al., 2003). Entretanto, em outros trabalhos realizados no Brasil (CAIRES et al., 1998; CAIRES et al., 2000) foram observados aumentos de pH e Ca trocável e redução de Al trocável em camadas do subsolo com a aplicação de calcário na superfície, até 60 cm.

O aumento na produção de soja no Brasil com o emprego da calagem tem sido demonstrados por seu efeito no aumento do pH, na redução de Al e Mn tóxicos, no aumento da absorção de nutrientes e no fornecimento de Ca e Mg. A reação do calcário, entretanto, é geralmente limitada ao local de sua aplicação no solo, e não tem um efeito rápido na redução da acidez do subsolo, que depende da lixiviação de sais no perfil do solo (CAIRES et al., 2000; CAIRES et al., 2003).

O sistema plantio direto é um dos manejos adotados de modo homogêneo para a melhoria da qualidade e do potencial produtivo do solo agrícola. Porém, esta melhoria não se manifesta de forma homogênea em toda a área, sendo que em uma mesma lavoura pode haver subáreas com distintas qualidades de solo e potencial produtivo, o que implica em variabilidade na produtividade da cultura (AMADO et al., 2005).

### **2.3 Interpolação geostatística**

A geoestatística surgiu na África do Sul quando KRIGE (1951), trabalhando com dados referentes à concentração de ouro, não conseguia encontrar sentido nas variâncias calculadas se não levasse em conta também a distância entre as amostras (VIEIRA, 2000). Posteriormente, Matheron (1963, 1971), baseado nas observações de Krige (1951), desenvolveu a Teoria das Variáveis Regionalizadas.

As variáveis regionalizadas de uma função espacial numérica variam de um local para outro, com continuidade aparente e cujos valores são relacionados com a posição espacial que ocupam. Com tais variáveis é possível a 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 (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

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; ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989; VIEIRA et al., 2002).

Contudo, medições localizadas em distâncias maiores que a estabelecida pelo alcance tem distribuição espacial aleatória e por isso podem ser consideradas independentes entre si. Neste caso, a estatística clássica pode ser aplicada sem restrições. Por outro lado, amostras separadas por distâncias menores que o alcance é correlacionadas umas às outras, o que permite que se façam interpolações para espaçamentos menores do que os amostrados (SOUZA et al., 2010).

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).

Os métodos de interpolação mais utilizados com maior destaque são krigagem e inverso do quadrado da distância (CARVALHO e ASSAD, 2005; SILVA et al., 2008), sendo que na krigagem usa-se a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima, sendo assim um estimador ótimo (CARVALHO e ASSAD, 2005). Enquanto no método do inverso do quadrado da distância, o fator de ponderação é o inverso do quadrado da distância euclidiana entre o ponto conhecido e o estimado, caracterizando-o como um método simples e de fácil aplicação; no entanto, menos acurado que a krigagem, por não considerar o padrão da estrutura da dependência espacial (MELLO et al., 2003; SILVA et al., 2008).

## 2.4 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O uso de dados orbitais permite extrair o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), uma ferramenta disponível para o monitoramento da vegetação, com capacidade de indicação da evolução da biomassa da soja ao longo do ciclo (RODRIGUES et al., 2013).

O NDVI é um dos indicadores espectrais mais utilizados quando o objetivo é a estimativa da produtividade agrícola, correlacionando-se com a produtividade de grãos em diversos períodos do desenvolvimento da cultura (KLERING et al., 2016). De acordo com os mesmos autores, maiores valores de NDVI correspondem a um maior acúmulo de biomassa, e o acúmulo desta está relacionado à maior produtividade.

Este índice tem sido usado em diferentes culturas agrícolas (RODRIGUES et al., 2013; KLERING et al., 2016; ALFACE et al., 2019), auxiliando inclusive, por meio do monitoramento de imagens NDVI, o acompanhamento da cultura em campo e na análise da sensibilidade do índice no vigor vegetativo da planta (ALFACE et al., 2019).

De acordo com Lima et al. (2013), o cálculo do NDVI permite avaliar o vigor vegetativo de culturas ou vegetação natural o que facilita a identificação de áreas com cobertura vegetal. Estes autores identificaram em sua pesquisa, a partir do mapeamento do NDVI, diferentes usos como solo descoberto, pastagem degradada, pastagem não degradada e cobertura arbórea. Assim, segundo Santos e Oliveira (2015), o NDVI tem se consolidado servindo também como ferramenta em estudos referentes à dinâmica da cobertura vegetal, o que é extremamente relevante para a conscientização e responsabilidade perante as consequências socioambientais em razão da exploração agropecuária.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Local

O trabalho foi realizado na Fazenda Agua Santa, localizada no município de Maracaju - MS, Brasil, na latitude de -21,25 S e longitude de -55,49 W, fuso horário 21S, e altitude de 380 m acima do nível do mar. O clima é do tipo Cwa, caracterizado como temperado úmido com inverno seco e verão quente, segundo a classificação de Köppen e Geiger (1928). O solo da área, conforme Embrapa (2013) é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico, cuja análise textural é apresentada no (Quadro 1).

QUADRO 1. Análise textural da área experimental

Camada (m)	Argila	Silte	Areia
0,00-0,20	56,8	16,3	26,9

Os dados meteorológicos durante o período de condução do experimento são provenientes do Centro de Monitoramento do Tempo, do Clima, e dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul – CEMET do ano de 2018 (Figura 1).

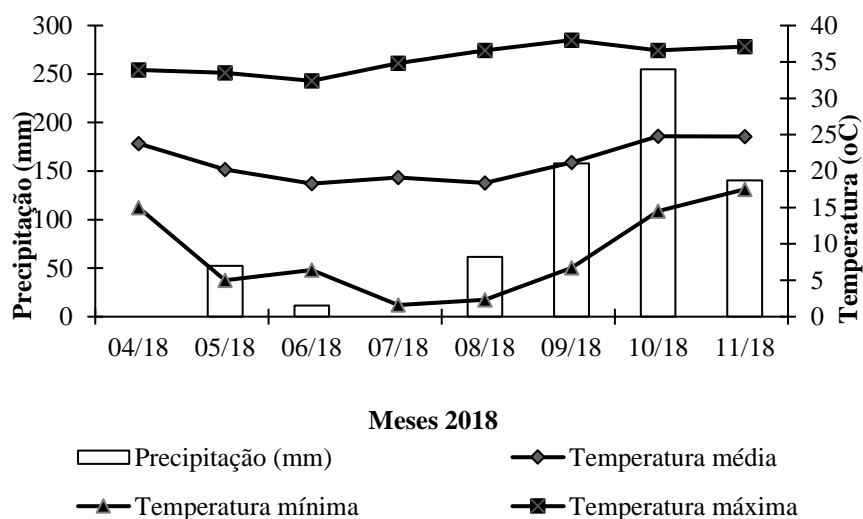


FIGURA 1. Dados meteorológicos mensais obtidos do Centro de Monitoramento do Tempo, do Clima, e dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul – CEMET do ano de 2018.



Na área experimental foi utilizada agricultura de grãos com a cultura de soja safra 2018/2019, sendo anteriormente pecuária, com bovinocultura de corte por mais de 40 anos, com vegetação 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, 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.

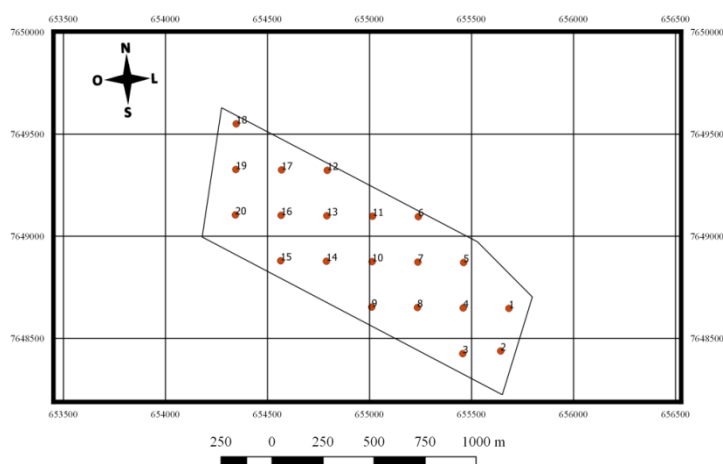


FIGURA 2. Área e grade amostral inicial a cada 5 hectares.

Depois de realizado a aplicação de calcário, entre os dias 02/05/2018 e 06/06/2018, com magnesiano e calcítico em taxa variada, provenientes da região de Bonito, MS, incorporado ao solo com a utilização de grade aradora e grade niveladora (Quadro 3), realizou-se em pré-semeadura da soja nova coleta no dia 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.

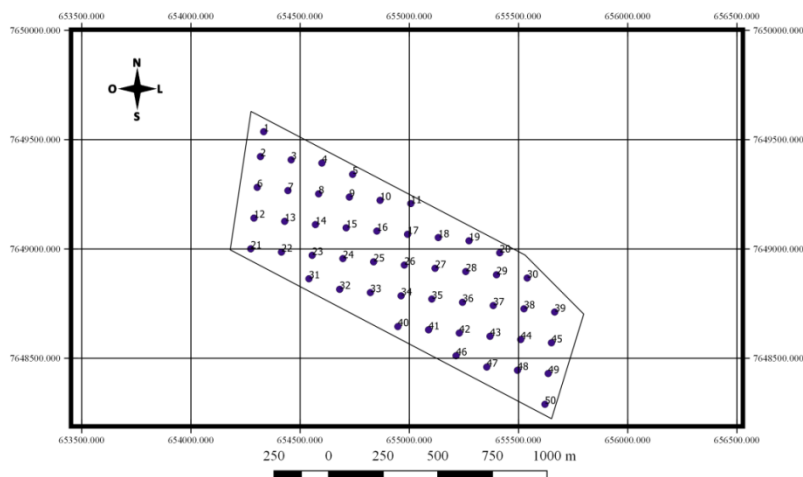


FIGURA 3. Área e grade amostral após a aplicação de calcário, com grid a cada 2 hectares.

### 3.2 Equipamentos e insumos

Os insumos e equipamentos utilizados estão descritos nos Quadros 2 e 3, respectivamente.

QUADRO 2. Descrição dos insumos agrícolas utilizados na correção do solo antes da semeadura, safra 2018-2019 (soja)

Calcário	Magnésiano (Região de Bonito MS) Composição CaO 45 - 48% MgO 6 - 10% PN 98 - 102 % PRNT 85 - 90 %
Dose media (kg ha <sup>-1</sup> )	3605 kg ha <sup>-1</sup>
Datas de aplicação	02/05/2018 a 05/06/2018
Calcário	Calcítico (Região de Bonito MS) composição CaO 50 - 53% e MgO 00 - 03% PN 98 - 102% PRNT 85 - 90%
Dose media (kg ha <sup>-1</sup> )	1808 kg ha <sup>-1</sup>
Datas de aplicação	02/05/2018 a 05/06/2018
KCl Dose (kg ha <sup>-1</sup> )	100 kg ha <sup>-1</sup>
Data da aplicação	28/10/2018
Semente Soja variedade Agroeste 3730 (sulco)	260.000 plantas por hectare
Fertilizante MAP (10% N e 46 a 50% P2O5) (sulco)	200 kg ha <sup>-1</sup>

Com base na primeira amostragem de solo, coletada em 10/04/2018, recebido às análises do laboratório e a luz das recomendações agrônômicas de Sobral et al. (2015), Gitti et al (2018) no boletim de manejo e fertilidade do solo para a

cultura da soja foi necessária à aplicação em taxa variada de calcário na área em estudo, para se elevar os índices de cálcio e magnésio, bem como elevar o (pH) do solo, então foram aplicados dois tipos de calcário (calcítico e o magnesiano), conforme taxa variada média no (Quadro 2). Aplicado também, desta vez em taxa fixa e após a segunda amostragem em 28/10/2018, em pré-semeadura da cultura da soja safra 2018/2019 o cloreto de potássio, para suprir as necessidades nutricionais da cultura, (Quadro 2).

QUADRO 3. Descrição dos equipamentos utilizados durante a condução das safras agrícolas

Equipamento	Marca	Modelo	Especificações
1 Trator	CASE IH	MAGNUM 340	250 kW (340cv), 1800 rpm
1 Trator	NEW HOLLAND	T7060	164 kW (223cv), 1800 rpm
1 Distribuidor	STARA	HERCULES 10.000	TOPPER 4500
1 Grade aradora	CIVEMASA	GRADE PESADA GVMF	Off-set, 20 discos x 0,976m 3420 mm de largura
2 Semeadoras	John Deere	JD 2117	17 linhas de 0,50 m a vácuo
1 Niveladora	Marchesam	Tatu 48x20	Niveladora 48 discos x 0,610 m

Com relação aos equipamentos utilizados no manejo mecânico do solo descritos no (Quadro 3), inicialmente foram aplicados os calcários em taxa variada com o trator New Holland T7060 acoplado ao distribuidor da Stara Hercules 10.000, utilizando das ferramentas de A.P. com toppe 4500 controlador da taxa de aplicação. Posteriormente, por três vezes em sequência, o trator Case IH Magnum com a grade aradora civemasa mais a niveladora em sistema de semi-reboque que operacionou a incorporação dos calcários aplicados e o nivelamento do terreno na mesma operação. Depois o trator New holland T7060 em conjunto como Hercules Stara efetuou em pré-semeadura da soja a aplicação do cloreto de potássio (KCl) em taxa fixa, finalizando as operações com a semeadura do soja com o trator Case IH Magnum unido a duas semeadoras John Deere com acoplamento em Tandem ( união de duas semeadoras de 17 linhas), a semente de soja utilizada foi a variedade Agroeste 3730 com população de 260.000 plantas por hectare, conduzido com tratamentos culturais

adequados a cultura durante experimento conforme recomendações agronômicas vigentes fitossanitárias, de controle de pragas, doenças e plantas daninhas invasoras.

### 3.3 Avaliações

#### 3.3.1 Atributos químicos do solo

Após a coleta das amostras, o solo foi encaminhado para laboratório onde foram determinados os valores dos atributos, sendo estes: potencial hidrogeniônico (pH), matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), alumínio (Al), hidrogênio mais alumínio (H+AL), soma de bases SB, capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC), saturação por bases (V%).

O P e K foram extraídos pela metodologia (Mehlich 1), Ca, Mg e Al via (KCl), H+Al por (SMP), S pelo (Fosfato de Cálcio) e MO através do método Walkley – Black. Embrapa, Donagema et AL. (2011)

A interpretação dos atributos químicos do solo (pH, MO, P, K, Ca, Mg, Al, V% e CTC), foram baseadas de acordo com Sobral et al. (2015), descrito no Quadro 4. Os padrões de referências foram baseado nos limites estabelecidos por Souza e Lobato (2004).

QUADRO 4. Atributos químicos do solo e os seus padrões de referências limites estabelecidos por Sobral et AL. (2015); Souza e Lobato (2004).

Atributo	Baixo	Médio	Alto
pH	<5,0	5,0-6,0	>6,0
MO (g dm <sup>-3</sup> )	<15	15-30	>30
P (mg dm <sup>-3</sup> )	0-4,0	4,1-8,0	>8,0
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	<0,8	0,8-1,5	>1,5
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	<16	16-30	>30
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	<4	4-10	>10
Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	<5	5-10	>10
CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	<50	50-150	>150
V (%)	<50	50-70	>70
S (mg dm <sup>-3</sup> )	0-4	5-10	>10

pH - acidez, MO – matéria orgânica, P - fósforo, K - potássio, Ca - cálcio, Mg – magnésio, Al- alumínio, H+AL – hidrogênio mais alumínio, SB – soma de bases, CTC – capacidade de troca de cátions a pH 7,0, V – saturação por bases e S - enxofre.

### 3.3.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Os dados espectrais utilizados no estudo corresponderam às imagens do satélite Sentinel 2A e 2B para a cultura da soja. O processamento da imagem foi realizado considerando-se as bandas espectrais 3 (Vermelho, faixa de 400 a 700 nm) e 4 (Infravermelho próximo, faixa de 700 a 1300 nm). Admite-se que essas bandas são mais afetadas pela absorção da clorofila na folhagem de vegetação verde. O NDVI foi calculado a partir das bandas (Equação 1), conforme descrito em Lima et al. (2013); Rodrigues et al. (2013).

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_3 + \rho_4} \quad \text{Equação (1) descrita em LIMA ET AL.}$$

(2013); RODRIGUES ET AL. (2013).

em que:

*NDVI* = índice de vegetação por diferença normalizada;

$\rho_3$  = refletância na banda 3 e

$\rho_4$  = refletância na banda 4

Os valores do NDVI oscilam de -1 a +1, sendo que quanto mais próximo de +1, maior a densidade da cobertura vegetal (LIMA et al., 2013).

### 3.4 Análise dos dados

Os dados foram inicialmente submetidos à análise descritiva para obtenção das medidas de tendência central e dispersão. Posteriormente, foi aplicado o controle estatístico de controle, 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.

Os dados também foram submetidos à análise de variância e comparação de médias, entre dados iniciais e pós-correção do solo para verificar a significância ou não das aplicações de correção.

Foi realizada a confecção de mapas usando-se como interpolador o inverso do quadrado da distância, conhecido como IDW, o modelo baseia-se na dependência espacial, isto é, supõe que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores. na potência dois, com pixel de 55,9 m de lado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Estatística descritiva e cartas de controle

Ao analisar a estatística descritiva, observou-se que apesar dos teores médios de Ca e Mg permanecerem sem diferença significativa antes e após aplicação na área como um todo, o coeficiente de variação (CV) dos atributos K, Ca, Mg, SB, CTC diminuíram significativamente após o processo de aplicação de calcário e cloreto de potássio indicando que houve eficiência na utilização da ferramenta de AP por meio do uso e aplicação em taxa variada, e também explicado pela adição dos nutrientes minerais Ca e Mg em taxa variada no grid da área de estudo. Matéria orgânica (M.O.) aumentou o seu (CV) devido à desestruturação da mesma no solo pelas sucessivas operações mecânicas de manejo. (Quadro 5).

QUADRO 5. Estatística descritiva para os atributos químicos do solo.

Atributos	Média	EP	DP	V	CV	Mín	Máx	As	K	RJ	P
<b>Inicial com grid de 5 ha</b>											
pH	5,82b	0,05	0,25	0,06	4,22	5,20	6,30	-0,29	0,99	0,98	>0,10 <sup>ns</sup>
MO	41,20b	0,68	3,04	9,22	7,37	32,00	45,00	-1,69	3,55	0,92	<0,01*
P	1,08b	0,08	0,37	0,13	33,80	0,60	1,70	0,36	-1,35	0,97	>0,10 <sup>ns</sup>
K	2,08b	0,28	1,27	1,60	61,02	0,90	5,10	1,58	1,26	0,86	<0,01*
Ca	59,35a	6,54	29,25	855,29	49,28	16,00	136,00	0,79	1,23	0,96	>0,10 <sup>ns</sup>
Mg	14,10a	1,37	6,13	37,57	43,47	5,00	28,00	0,39	-0,12	0,99	>0,10 <sup>ns</sup>
H+Al	52,95a	2,11	9,42	88,79	17,80	38,00	74,00	0,54	0,07	0,98	>0,10 <sup>ns</sup>
Al	1,00a	0,53	2,36	5,58	236,20	0,00	10,00	3,30	11,91	0,86	<0,01*
SB	75,50a	7,72	34,52	1191,5	45,72	22,00	165,00	0,65	1,06	0,97	>0,10 <sup>ns</sup>
CTC	128,45a	7,34	32,82	1077,0	25,55	84,00	210,00	0,96	1,02	0,96	>0,10 <sup>ns</sup>
V	56,20a	3,13	14,00	195,96	24,91	23,00	79,00	-0,79	0,26	0,97	>0,10 <sup>ns</sup>
S	4,70b	0,49	2,20	4,85	46,87	3,00	12,00	2,89	7,63	0,84	<0,01*
<b>Pós-correção com grid de 2 ha</b>											
pH	5,99a	0,04	0,29	0,08	4,77	5,40	7,00	0,90	2,03	0,97	0,044*
MO	42,14a	0,85	6,00	36,00	14,24	28,00	55,00	0,20	-0,26	0,99	>0,10 <sup>ns</sup>
P	1,76a	0,10	0,68	0,46	38,73	1,00	3,00	0,37	-0,87	0,99	>0,10 <sup>ns</sup>
K	2,81a	0,13	0,92	0,84	32,63	1,40	5,30	1,15	0,99	0,99	<0,01*
Ca	41,02b	1,24	8,75	76,62	21,34	24,00	72,00	0,88	1,87	0,97	0,043*
Mg	14,85a	0,47	3,33	11,07	22,40	7,00	21,60	0,06	-0,29	0,99	>0,10 <sup>ns</sup>
H+Al	55,89a	1,50	10,60	112,46	18,97	27,00	80,00	-0,18	0,25	0,96	<0,01*
Al	0,24b	0,08	0,59	0,35	246,29	0,00	3,00	2,98	10,05	0,99	>0,10 <sup>ns</sup>
SB	58,56b	1,64	11,60	134,54	19,81	34,00	95,00	0,62	1,01	0,98	>0,10 <sup>ns</sup>
CTC	114,53b	0,84	5,94	35,29	5,19	102,00	128,00	0,34	-0,02	0,99	>0,10 <sup>ns</sup>
V	51,10a	1,31	9,26	85,77	18,12	30,00	78,00	0,34	0,30	0,99	>0,10 <sup>ns</sup>
S	11,66a	0,50	3,50	12,27	30,04	6,00	22,00	0,85	0,93	0,97	0,035*

Scott & Knott - Letras minúsculas na coluna comparam cada atributo com a época de amostragem. <sup>ns</sup>: distribuição normal pelo teste de Ryan-Joiner (>0,05). \*: distribuição não normal pelo teste de Ryan-Joiner (<0,05). EP: erro padrão; DP: desvio padrão; V: variância; CV.: coeficiente de variação; Min: mínimo; Máx: máximo; As: Assimetria; C: curtose; RJ: Ryan-Joiner; P: probabilidade. pH - acidez, MO – matéria orgânica, P - fósforo, K -

potássio, Ca - cálcio, Mg - magnésio, Al- alumínio, H+AL - hidrogênio mais alumínio, SB - soma de bases, CTC - capacidade de troca de cátions a pH 7,0, V - saturação por bases e S - enxofre.  $\text{g dm}^{-3} = \text{MO}$ ;  $\text{mmolc dm}^{-3} = \text{K, Ca, Mg, H+Al, Al, SB e CTC}$ ;  $\text{mg dm}^{-3} = \text{P, S}$ .

De acordo com Dalchiavon et al. (2012), trabalhando em Latossolo Vermelho Distroférico, a variabilidade dos atributos químicos do solo 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. De maneira geral, analisando os valores médio, máximo e mínimo dos atributos químicos, verificou-se que, antes e após aplicação de corretivos em taxa variável, os teores de Ca e Mg variaram de médio a alto (SOUSA e LOBATO, 2004) (Quadro 4), da mesma forma que o V%; e o teor de K foi classificado como muito bom/alto (SOUSA e LOBATO, 2004), enquanto o de P foi muito baixo (SOUSA e LOBATO, 2004; ALVARES et al., 1999). Ressalta-se, ainda, que o pH variou de médio a ideal, porém com valores altos (SOUSA e LOBATO, 2004; ALVARES et al., 1999) após a aplicação de corretivos (Quadro 4).

Nota-se que a variação do pH entre valores baixos a altos influencia atributos dependentes do mesmo, logo, a acidez do solo possivelmente afetou nesta área teor de P, já que Ca e Mg melhorou a variabilidade espacial aumentando após aplicação e fizeram a troca nos colóides do solo com o P este estava adsorvido e agora para a solução do solo. Ressalta-se que, após a aplicação de corretivos e sua incorporação, houve decréscimo de Ca médio e manutenção dos teores de Mg, o que indica que deve ser estudada a viabilidade de práticas mecânicas de manejo do solo em conjunto com a correção do solo. No entanto, o Mg mesmo sendo um elemento mais móvel do que o Ca, se manteve mesmo com as possíveis perdas pós-mobilização.

Prado e Natale (2004) citam que a absorção de Ca para assegurar a absorção contínua do nutriente pela planta a distribuição deve ser adequada no solo, para o bom desenvolvimento do sistema radicular. Enquanto Leite et al. (2018) observaram que o comportamento do Mg no solo depende das dosagens de calcário para correção, e sua movimentação pode ser explicado pela formação de complexos orgânicos hidrossolúveis para cada tipo de solo, promovendo efeito crescente ou decrescente no decorrer do tempo.

Os altos valores de CV para o P (33,80% e 38,73%) são normalmente encontrados em diversos trabalhos com solos tropicais, como de Zañão Júnior et al. (2010) e Dalchiavon et al. (2012), atribuído à dificuldade na adubação fosfatada que sofre interferências de vários fatores, como, por exemplo, o teor de argila. O aumento do seu teor pode estar relacionado à correção do solo e à consequente elevação do pH, que, mesmo após o revolvimento do solo, minimizou o contato entre os colóides e o íon fosfato, amenizando as reações de adsorção (DALCHIAVON et al., 2012).

Após a correção do solo com incorporação, observou-se a diminuição dos teores de Al na camada superficial do solo, como consequência das altas concentrações de calcário aplicados em superfície com incorporação, responsável por promover a alta translocação do calcário no perfil. Ressalta-se que este resultado foi benéfico, uma vez que, segundo Falleiro et al. (2003), quando o calcário é aplicado em superfície sem incorporação em sistema plantio direto, normalmente ocorre diminuição de Al em relação a outros preparos, devido à baixa translocação do mesmo.

Farias et al. (2016) relatam que solos do Cerrado brasileiro exibem naturalmente baixa disponibilidade nutricional, elevada acidez e alta concentração de alumínio, fato este que pode inibir e dificultar a absorção de diversos nutrientes, afetando na adsorção/fixação de fósforo. Desse modo, após a correção do solo com incorporação fica evidente nesta área os efeitos do manejo químico na redução dos teores de Al, bem como no aumento dos teores de P.

Nas cartas de controle apresentadas na Figura 4, observou-se que, após a correção do solo, os atributos MO, pH, P, K, H+Al Al e S apresentaram maior dispersão dos índices em torno da média, dentre estes tendo observado para MO, pH, H+Al Al e S, em que pôde-se verificar pelo menos um ponto fora dos limites de controle, que caracteriza causas extrínsecas ao processo. Neste caso, as principais causas de o processo ser considerado instável podem ser atribuídas em relação aos fatores máquina, mão de obra e ambiente, em que tal instabilidade pode ser explicada em decorrência da variabilidade natural do relevo, da textura, dos próprios elementos químicos (BURAK et al., 2012) e da qualidade dos processos mecanizados envolvidos (ARCOVERDE et al., 2016; ARCOVERDE et al., 2017).

Observa-se que para a carta de controle para avaliar o pH, a instabilidade verificada pode ser atribuída ao processo de amostragem logo após a calagem, no



qual uma possível sobreposição de calagem na faixa de aplicação, referente a erro do receptor GNSS (5 metros aprox.), explicaria a faixa de pH acima do limite superior de controle.

Por outro lado, observou-se menor dispersão dos dados pelas cartas de controle para Ca, Mg, Al, SB e CTC, o que é resultado da aplicação de calcário em taxa variável que, associado ao manejo mecânico para incorporação deste, reduziu a variação dos valores dos nutrientes devido à translocação dos corretivos no perfil de solo da área estudada. Machado et al. (2015) avaliando a acurácia e tempos de resposta de máquinas para aplicação de defensivos agrícolas à taxa variável, verificaram que mais de 50% dos distribuidores de fertilizantes foram reprovados quanto à acurácia e tempo de resposta.

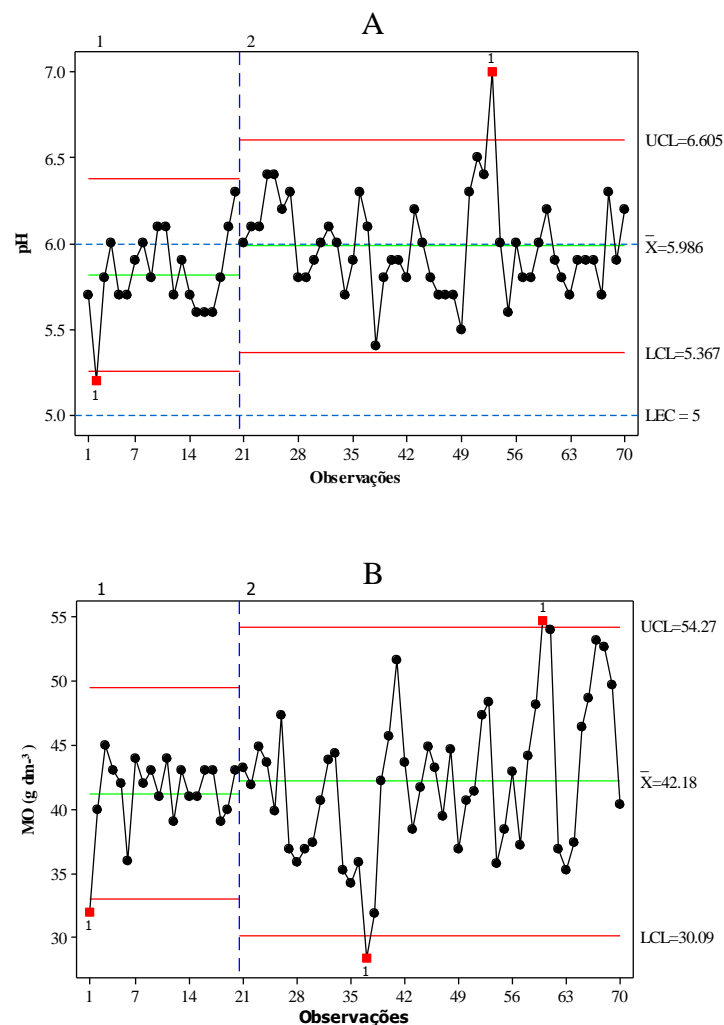


FIGURA 4. Continua...

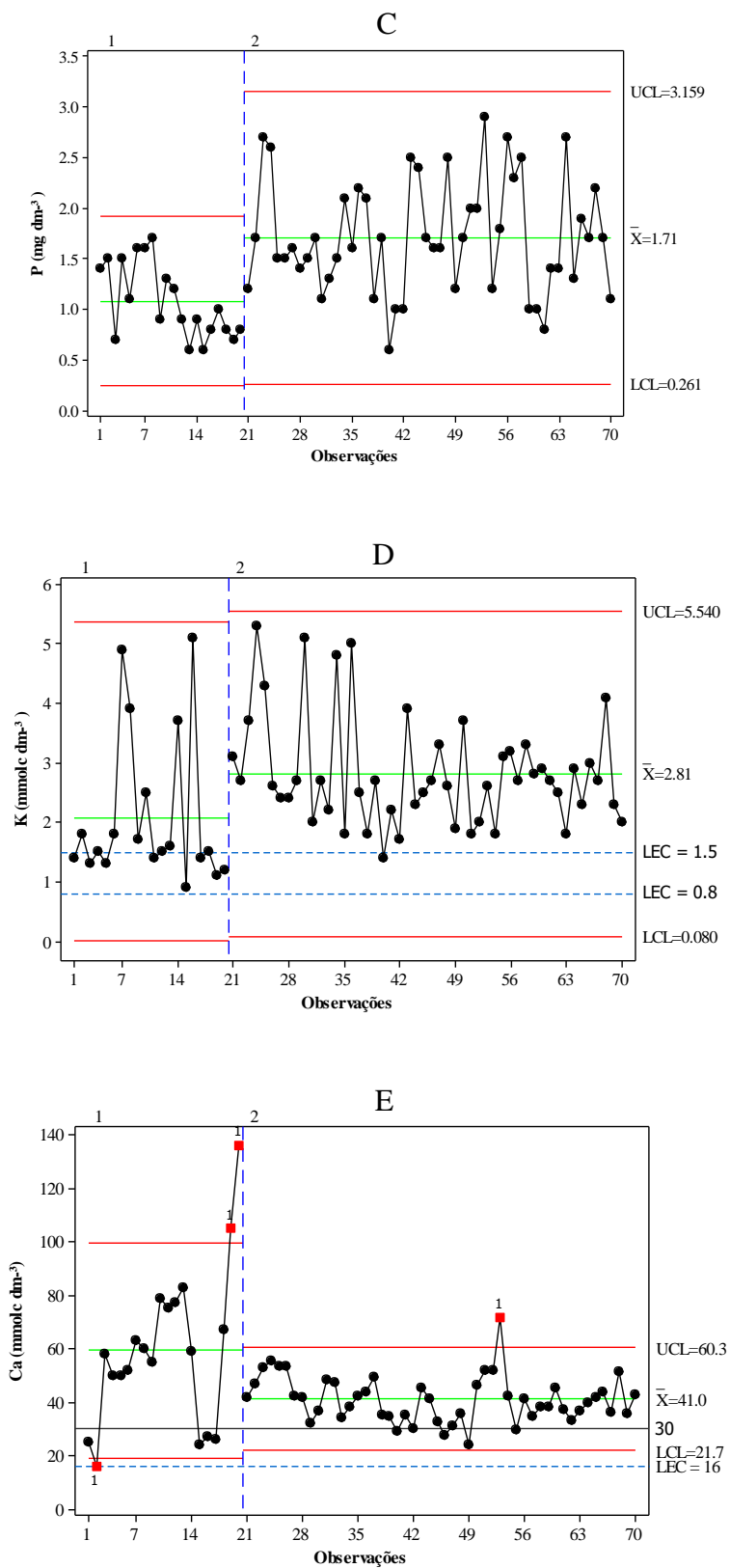


FIGURA 4. Continua...

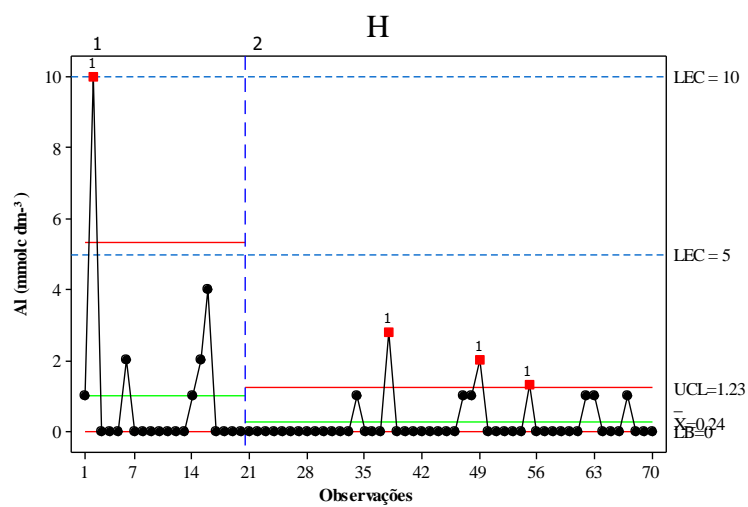
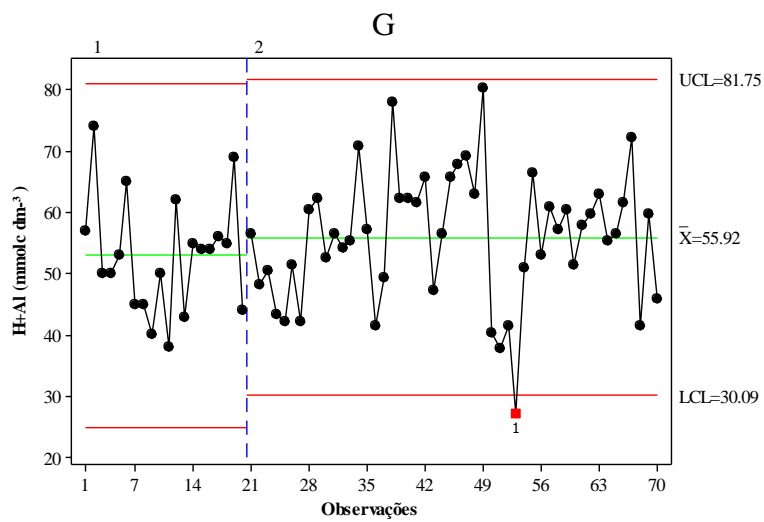
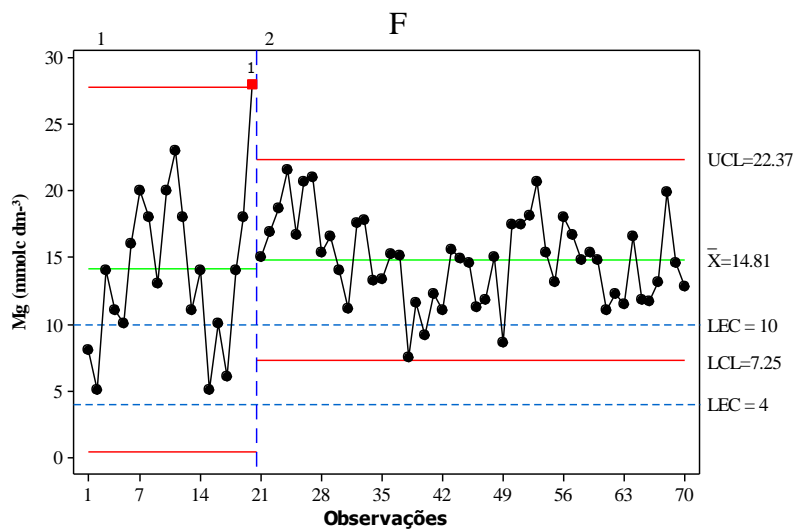


FIGURA 4. Continua...

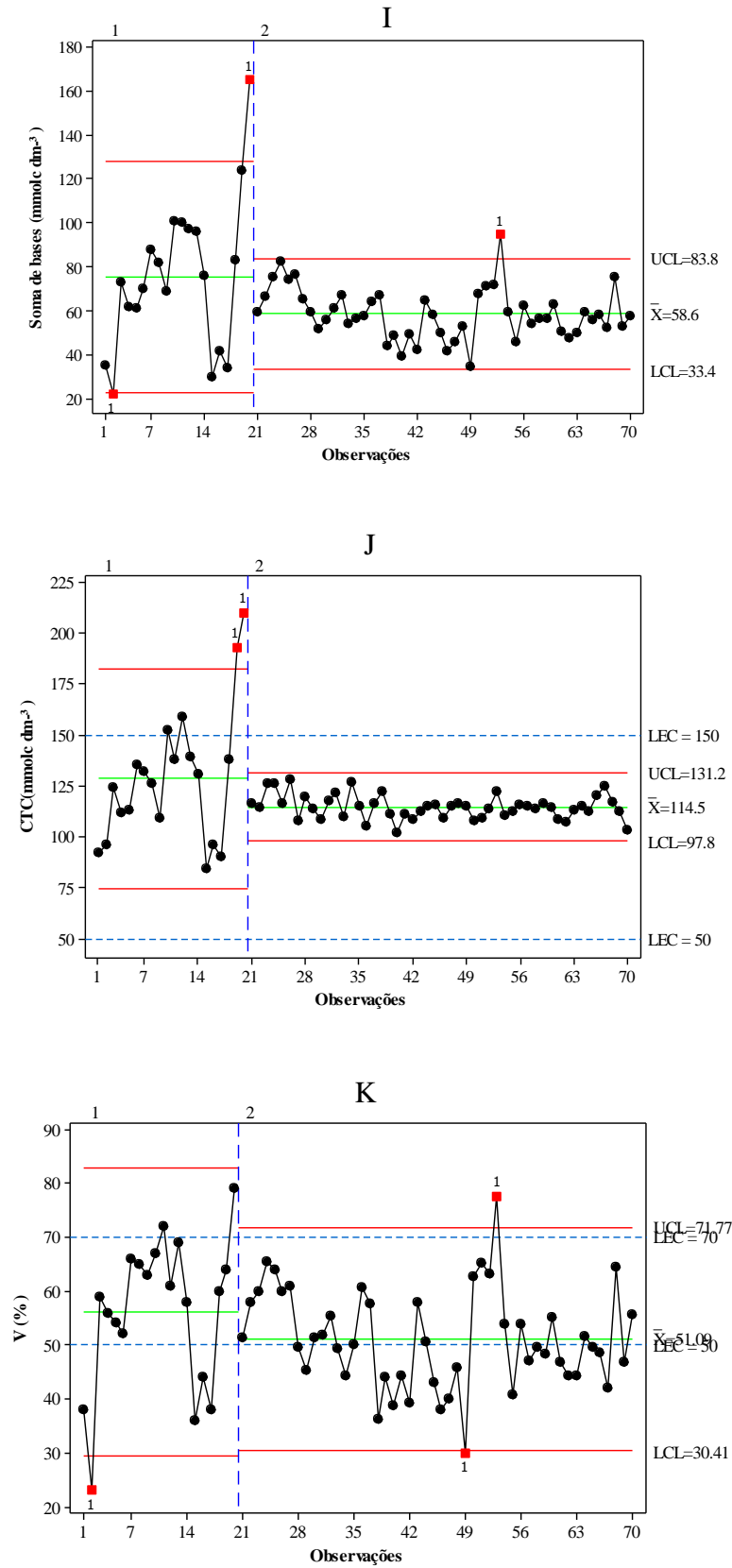
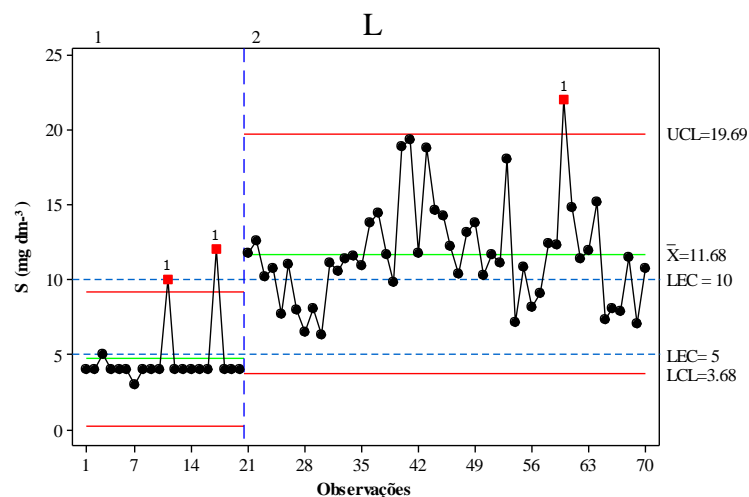


FIGURA 4. Continua...



A - pH - acidez, B - MO – matéria orgânica, C - P - fósforo, D - K - potássio, E - Ca - cálcio, F - Mg – magnésio, G - Al- alumínio, H - H+AL – hidrogênio mais alumínio, I - SB – soma de bases, J - CTC – capacidade de troca de cátions a pH 7,0, K - V – saturação por bases e L - S - enxofre. UCL – limite superior de controle; LCL – limite inferior de controle; LEC – limite específico de controle; LB = limite informado para não obter valores negativos;  $\bar{x}$  – média.

FIGURA 4. Cartas de controle dos atributos químicos do solo. O 1 na parte superior indica a primeira amostragem e 2 indica a segunda amostragem.

## 4.2 Mapas de espacialização

Analisando os mapas de espacialização dos atributos químicos do solo (Figura 5), antes e após a aplicação de calcário, observou-se influência das práticas de manejo químico e mecânico do solo sobre a variabilidade espacial dos elementos na área experimental. Outro aspecto que influencia no conhecimento detalhado da propriedade rural é a densidade amostral. De maneira geral, observou-se, pós-aplicação, aumento dos valores com maiores valores de pH (>6,0), em relação à faixa intermediária (5,0-6,0). Houve também diminuição da variabilidade de Ca, Mg, K, Al, SB, CTC, V e S. Ressalta-se que a predominância de maior valor para as bases trocáveis ao longo da área do estudo, contribuiu para a elevação do pH, concordando com Dalchiavon et al. (2012) em um Latossolo Vermelho Distroférico sob plantio direto, e com Leite et al. (2018) em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico.

Leite et al. (2018) estudando o efeito de doses crescentes de calcário para correção do solo, verificaram que com o aumento destas ocorre decréscimo dos valores de H+Al, destacando que existe relação entre a quantidade de elevação dos

macronutrientes a partir do momento que acontece a neutralização de H+Al na primeira dosagem de CaCO<sub>3</sub>.

Quanto à MO, houve predominância de valores intermediárias antes e após aplicação, evidenciando que sua espacialização possivelmente está mais relacionada ao manejo mecânico do solo, cuja mobilização altera sua distribuição vertical, bem como a maior densidade amostral pós-aplicação que aumenta a representatividade dos menores valores (CAON e GENUÍ, 2013).

Geralmente no sistema de semeadura direta na palhada da cultura anterior, ou seja, sem revolvimento e incorporação da palha com solo, no decorrer no tempo de cultivo, há aumento do teor de MO na camada superficial do solo (0-0,10 m), decorrente da ausência de preparo do solo e da quantidade e qualidade dos resíduos das culturas ao longo dos anos (DALCHIAVON et al., 2012). No entanto, com o preparo do solo há tendência de aumento da taxa de decomposição com a incorporação da palhada; todavia, neste estudo, o recente revolvimento do solo para incorporação de corretivos não foi capaz de alterar significativamente nem os teores nem a espacialização de MO na área.

Observa-se que para a SB houve maior abrangência de menores valores, do mesmo modo para a CTC e Al, enquanto o contrário foi observado para S que, nitidamente, apresentou pós-aplicação maior predominância de níveis alto e intermediário, respectivamente. Assim, pode-se explicar a redução na variabilidade de V pós-aplicação, com predominância de valores baixos e intermediários, como consequência dos resultados de SB e CTC.

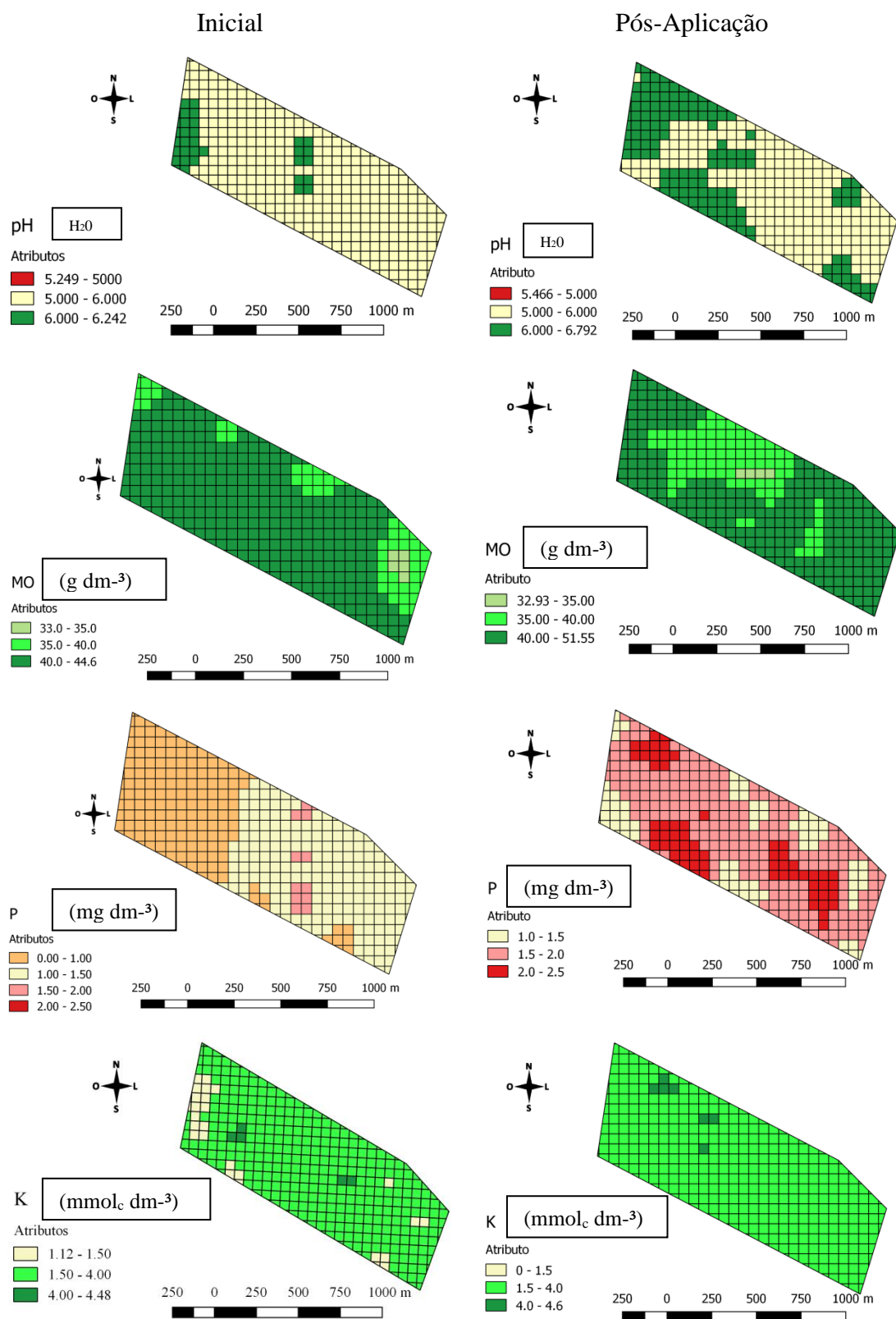


FIGURA 2. Continua...

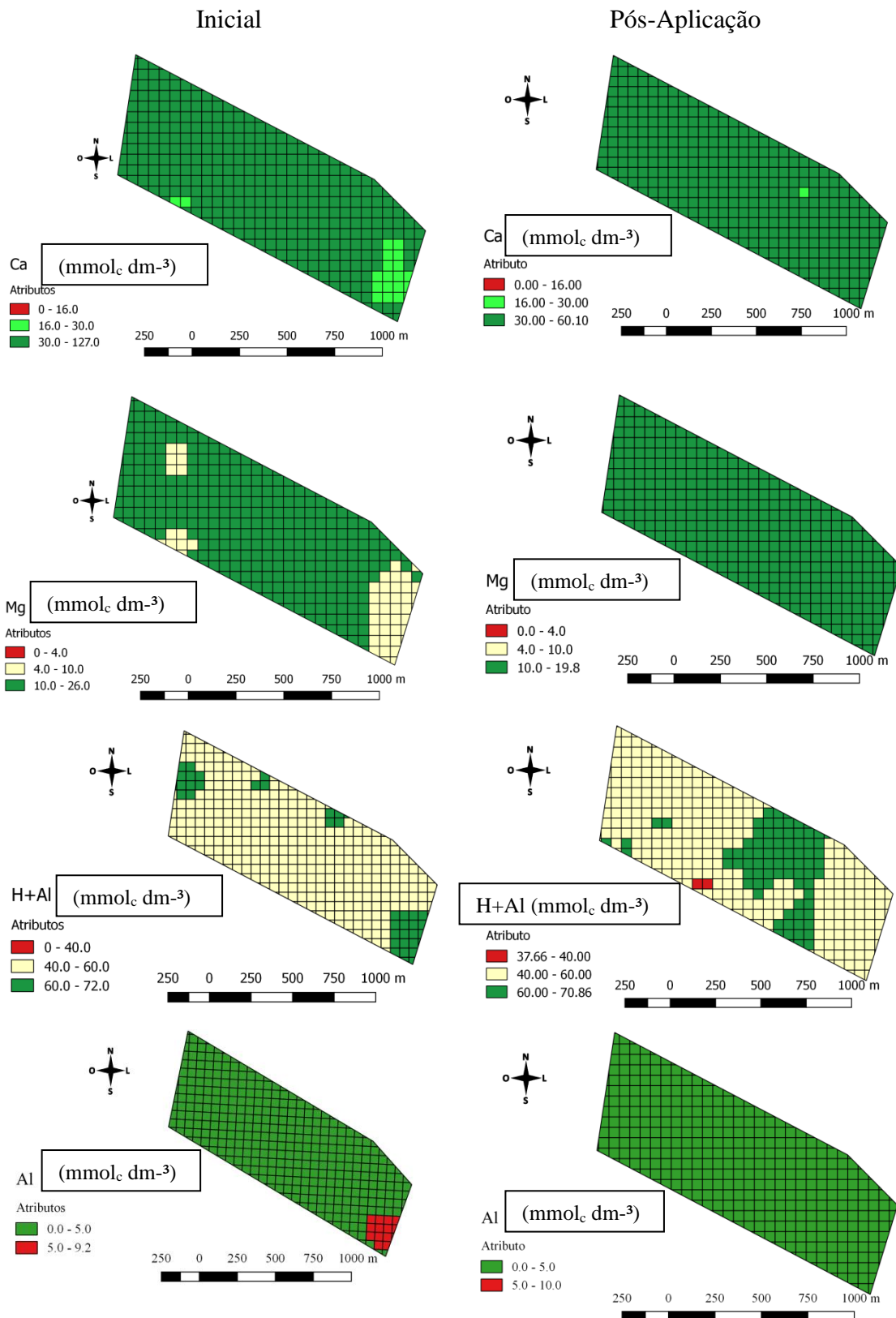


FIGURA 3. Continua...



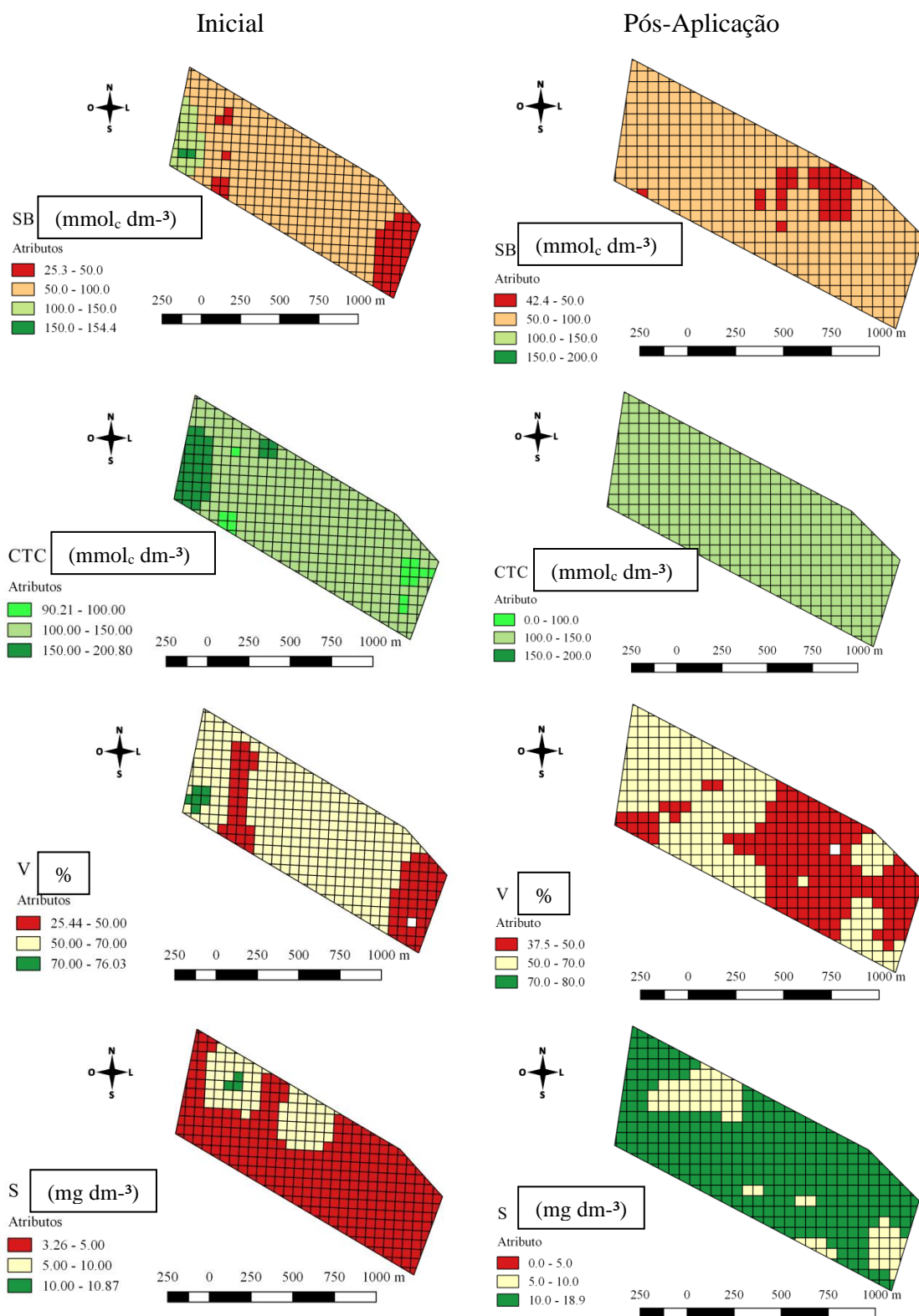


FIGURA 4. Mapas de espacialização antes e após a aplicação com IDW.

De maneira geral, os resultados indicaram variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, com teores variando desde valores altos a baixos. Por outro lado, os médios e altos teores de Ca e Mg, os quais são atributos da fertilidade do solo utilizados como critérios para definição da necessidade e da quantidade de corretivo para neutralizar a acidez do solo, estavam homogêneos em toda a malha experimental. Aliado a isso, a elevação do pH a níveis moderados e altos e a média saturação por bases ( $V\% > 50,0\%$ ), evidenciaram a importância da realização de calagem na área, podendo esta ser realizada a lanço. Uma vez que, pelos resultados obtidos num primeiro momento na área, novos estudos serão necessários com relação à viabilidade das práticas de manejo do solo posteriores às aplicações em taxa variável.

### **4.3 Mapa de espacialização do NDVI**

A Figura 6 mostra o mapa de espacialização dos dados do NDVI, estágio R1 da cultura da soja safra 2018/2019 da área em estudo. Para este índice, observou-se predominância de valores entre 0,76 e 0,87, seguido de valores do NDVI compreendidos entre 0,65 e 0,76. Esses resultados corroboram com os obtidos por Rodrigues et al. (2013) ao avaliarem o NDVI sob diferentes estádios da cultura de soja. Observaram que, do estágio V2 ao V9 da soja, houve aumento da biomassa verde, o qual foi acompanhado por incrementos nos valores do NDVI. O máximo NDVI coincidiu com o estágio V9, quando a cultura apresentou o máximo vigor vegetativo. Os valores do NDVI foram de 0,79, 0,84 e 0,73, respectivamente, nos estádios V5, V9 e R7.1.

Considerando-se os dados do NDVI obtidos neste estudo, durante o estágio R1 da soja, os valores deste índice foram ligeiramente superiores aos obtidos por Rodrigues et al. (2013). Isso pode ser atribuído à diferença entre as cultivares de soja, bem como à época de semeadura e às condições edafoclimáticas (KLERING et al., 2016).

Portanto, com base nos dados do NDVI, observou-se valores adequados em praticamente toda a área, no início da fase reprodutiva da soja pela maioria das classes entre 0,76 e 0,87 nm no período avaliado, e em pleno desenvolvimento.

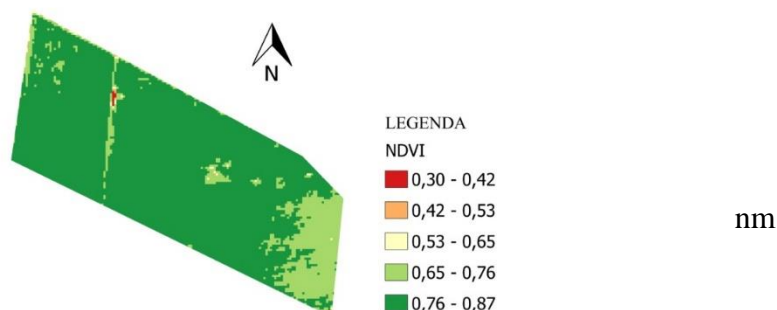


FIGURA 6. Mapa de espacialização do NDVI.

Os atributos do solo MO, P, K, Ca, Mg e CTC, de acordo com o a análise de correlação entre as variáveis (Quadro 6), apresentaram correlações, porém não foram significativas com o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Pois segundo Rouse et al. (1973), ficando estas muito abaixo de 75%. Yamamoto e Landim (2013) posicionam que correlações acima de 75% são satisfatórias.

QUADRO 6 Análise de Correlação entre as Variáveis

	NDVI	MO	P	K	Ca	Mg
MO	-0,0559**	-	-	-	-	-
P	-0,0084NS	-0,1623**	-	-	-	-
K	-0,1165**	-0,1472**	0,41499**	-	-	-
Ca	0,04148**	0,14249**	0,39595**	0,28090**	-	-
Mg	-0,0256**	0,12122**	0,47458**	0,38381**	0,75926**	-
CTC	-0,0626**	0,05438**	0,32412**	0,33261**	0,47302**	0,44650**

\*\*<0,001

## 5 CONCLUSÕES

A variabilidade espacial dos atributos químicos em decorrência da aplicação de calcário em taxa variável proporciona diminuição deste índice em Ca, Mg, K, Al, SB, CTC, V e S, aumento dos teores de bases trocáveis e eficiência na correção da acidez do solo.

A matéria orgânica pelo sucessivo manejo físico da área aumentou sua variabilidade espacial, mantendo porém sua média na área geral, em comparações com antes e após as aplicações e manejo do solo.

Em geral houve melhoria da fertilidade do solo pós-aplicação de calcário.

Os valores do NDVI na área estudada, não apresentaram correlações significativas, ficando estas muito abaixo de correlações satisfatórias.

## 6 REFERÊNCIAS

- 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.
- BARBOSA FILHO, M.P.; SILVA, O.F. Aspectos agroeconômicos da calagem e da adubação nas culturas de arroz e feijão irrigados por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.11, p.1657-1667, 1994.
- ALFACE, A.B.; PEREIRA, S.B.; FILGUEIRAS, R.; CUNHA, F.F. Sugarcane spatial-temporal monitoring and crop coefficient estimation through NDVI. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.23, n.5, p.330-335, 2019.
- ALVAREZ V. V. H.; NOVAES, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.
- AMADO, T.J.C.; NICOLOSO, R.; LANZANOVA, M.; SANTI, A.L.; LOVATO, T. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, n.89, p.34-42, 2005.
- CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A.; FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.161-169, 2000.
- CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.275-286, 2003.
- CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.1, p.27-34, 1998.
- CAON, D.; GENUÍ, A.M. Mapeamento de atributos químicos em diferentes densidades amostrais e influência na adubação e calagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.6, p.629-639, 2013.
- CARVALHO, J.R.P.; ASSAD, E.D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.377-384, 2005.
- 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.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.

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, Embrapa Solos, 2013. 353p.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1097-1104, 2003.

FONTANA, D.C.; PINTO, D.G.; JUNGES, A.H.; BREMM, C. Inferências sobre o calendário agrícola a partir de perfis temporais de NDVI/MODIS. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 3, p.350-358, 2015.

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

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

LEITE, O.C.; MELO, M.S.; OLIVEIRA, L.N.; COSTA SOBRINHO, M.R.; MELO, B.S. Influência de dosagens de calcário em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico no Sul de Tocantins. **Enciclopédica Biosfera**, Uberlândia, v.15, n.28, p.640-650, 2018.

LIMA, G.C.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SILVA, M.A.; OLIVEIRA, A.H.; AVANZI, J.C.; UMMUS, M.F. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 204-214, 2013.

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

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

RODRIGUES, C.P.; FONTANA, D.C.; MORAES, O.L.L.; ROBERTI, D.R. NDVI e fluxo de Co<sub>2</sub> em lavoura de soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.1, 95-104, 2013.

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, E.O.J.; GONTIJO, I.; SILVA, M.B.; DRUMOND NETO, A.P. Variabilidade espacial de macronutrientes em uma lavoura de café conilon no Norte do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.46, n.3, p.469-476, 2015.

SANTOS, F.A.; OLIVEIRA, W.A.S. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (ndvi) para avaliação da cobertura vegetal do Entorno do Açude Caldeirão, em Piripiri (Pi), Brasil. **Revista Equador (UFPI)**, v. 4, n.2, p.114-127, 2015.

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, 2000. p.109-145.

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.

SOBRAL, L.F.; BARRETTO, M.C.V.; SILVA, A.J.; ANJOS, J.L. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos**. Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 13 p.

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

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.; 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.

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C. & REYNOLDS, 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, 2002. v.2, p.1-45.

**WERNER, V. Utilização de recursos de agricultura de precisão na geração de mapas de atributos, mapas de produtividade e aplicação de insumos à taxas variáveis.** 2004. 125f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.

**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.

ZONTA, J.H.; BRANDÃO, Z.N.; MEDEIROS, J.C.; SANA, R.S.; SOFIATTI, V. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.6, p.595-602, 2014.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; WELL, J. A. Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. NASA, vol. 1, 1973. pp. 309-317.

YAMAMOTO, K. Y.; LANDIM, P. M. B. Geoestatística conceitos e aplicação. 1<sup>a</sup> ed. Jaboticaba: Oficina de Textos, 2013. 215p.

GITTI, D. C.; ROSCOE, R.; RIZZATO, L. A. Manejo e Fertilidade do Solo para a Cultura da Soja. Tecnologia e Produção: Soja 2017/2018, Fundação MS 2018.