

POTENCIALIDADE DE APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO PARA ESTIMAÇÃO ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NUMA PEQUENA PROPRIEDADE RURAL

José Vitor Oliveira Reis

Graduado em Agronomia, Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Unidade Acadêmica de Ituiutaba, Ituiutaba-MG, Brasil¹

jvoliveer@gmail.com

Patrícia Soares Rezende

Doutora em Geografia, professora no curso de Engenharia Agrônômica, Universidade do Estado de Minas Gerais-UEMG, Unidade Acadêmica de Ituiutaba, Ituiutaba-MG, Brasil¹

patricia.rezende@uemg.br

Ubiramar Ribeiro Cavalcante

Diretor de Abastecimento da Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Ituiutaba, Ituiutaba, MG, Brasil¹

ubiramarre@gmail.com

RESUMO: As geotecnologias trouxeram uma nova visão de gerenciamento da propriedade rural, adotando sistemas eficientes que otimizam a rotina agrícola, permitindo o incremento em produção e um processo produtivo lucrativo e sustentável. Este trabalho objetivou analisar a aplicabilidade das geotecnologias para determinar os atributos químicos do solo em uma pequena propriedade rural. O trabalho se realizou em uma área de 13,9 hectares utilizada para cultivo de culturas anuais (soja, milho, sorgo etc.), localizada no município de Ituiutaba (MG). Considerando o resultado do laboratório, os dados foram analisados por estatística descritiva e, na sequência realizou-se análise espacial, utilizando o método de interpolação de dados, Spline. A análise espacial pelo método Spline apresentou resultados satisfatórios e importantes para o entendimento da distribuição espacial da fertilidade no solo, e as atividades de amostragem e interpretação da análise de solo, segundo as geotecnologias, mostraram-se aplicáveis a pequenas propriedades rurais.

Palavras-chave: Análise espacial. Fertilidade do solo. Spline.

POTENTIALITY OF APPLICATION OF TECHNIQUES OF GEOPROCESSING FOR SPATIAL ESTIMATION OF SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES IN A SMALL RURAL PROPERTY

ABSTRACT: Geotechnologies introduced a new vision of rural property management, adopting efficient systems that optimize the agricultural routine, allowing increase in production, and a profitable and sustainable production process. This work aimed to analyze the applicability of geotechnologies to determine the chemical attributes of the soil in a small rural property. The research was carried out in a 13.9 hectares' area, ordinarily used for annual crops (soybeans, corn, sorghum, etc.) cultivation, located in Ituiutaba-MG. Considering the laboratory's results, the data were analyzed using descriptive statistics and, subsequently, spatial analysis was performed using the data interpolation method, Spline. The spatial analysis by the Spline method, presented satisfactory and important results for the understanding of the spatial distribution of fertility in the soil. The activities of sampling and interpretation of the soil analysis, according to geotechnologies, proved applicable to small rural properties.

Keywords: Spatial analysis. Soil fertility. Spline.

POTENCIALIDAD DE APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE GEOPROCESAMIENTO PARA LA ESTIMACIÓN ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DEL SUELO EN UNA PEQUEÑA PROPIEDAD RURAL

RESUMEN: Las geotecnologías han traído una nueva visión de la gestión de la propiedad rural, adoptando sistemas eficientes que optimizan la rutina agrícola, permitiendo aumentar la producción y un proceso produtivo rentable y sostenible. Este trabajo tuvo como objetivo analizar la aplicabilidad

¹ Endereço para correspondência: Rua Ver. Geraldo Moisés da Silva, s/n, Bairro Universitário, CEP: 38302-192, Ituiutaba, Minas Gerais.

de las geotecnologías para determinar los atributos químicos del suelo en una pequeña propiedad rural. La obra se realizó en un área de 13,9 hectáreas destinadas al cultivo de cultivos anuales (soja, maíz, sorgo, etc.), ubicada en el municipio de Ituiutaba (MG). Teniendo en cuenta los resultados del laboratorio, los datos se analizaron mediante estadística descriptiva y, posteriormente, se realizó el análisis espacial mediante el método de interpolación de datos, Spline. El análisis espacial mediante el método Spline mostró resultados satisfactorios e importantes para comprender la distribución espacial de la fertilidad en el suelo, y las actividades de muestreo e interpretación del análisis de suelos, según geotecnologías, demostraron ser aplicables a pequeñas propiedades rurales.

Palabras clave: Análisis espacial; Fertilidad del suelo; Spline.

INTRODUÇÃO

A inovação tecnológica trazida pelas geotecnologias abrange uma nova visão de gerenciamento da propriedade rural, adotando sistemas eficientes que otimizam a rotina agrícola e permitem incrementar a produção, reduzir custos e estabelecer um processo produtivo com responsabilidade ambiental. Na prática, as geotecnologias também se mostram ao pequeno produtor como alternativa, possibilitando-lhe implantar sistemas de produção eficazes, eliminar prejuízos com o uso incorreto de insumos, além de obter maior produtividade e melhores conhecimentos acerca da área de produção.

Essas constantes mudanças têm transformado o perfil do produtor rural, que deixa de ser apenas o simples agricultor que lavra a terra para se tornar também o empresário rural que administra efetivamente o seu negócio. A tendência é que a agricultura familiar seja alcançada por esse fenômeno e busque tecnologias que se enquadrem em sua realidade, a fim de permitir ao pequeno produtor gerenciar sua propriedade visando maior produtividade, uso eficiente de insumos, redução de gastos e retorno do seu investimento.

Caracterizar a variabilidade espacial dos atributos químicos dos solos permite conhecer as condições de fertilidade em determinada área, representando uma das informações de maior importância para o planejamento da produção agrícola. Esse e outros métodos, como as análises estatísticas, aliados à experiência do produtor colaboram para uma tomada de decisões mais assertiva (GUIMARÃES, 2000).

O estudo sobre as características dos solos permite também estabelecer o grau de correlação espacial dos dados amostrados, e a associação dessas informações com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) constitui importante ferramenta para a aplicação prática e o mapeamento dos atributos de interesse com maior precisão (GUIMARÃES, 2000).

Atuando na avaliação da variabilidade dos atributos químicos dos solos no espaço, a análise espacial, com suas técnicas de interpolação, permite conhecer a variação de informações geoespaciais do local estudado, lançando mão de métodos como Inverso da Distância, Krigagem, Curvatura Mínima, Vizinho Mais Próximo, entre outros. Esses métodos possibilitam a geração de mapas de estimação e distribuição espacial da fertilidade do solo, disponibilizando inúmeras informações que auxiliam no planejamento e na tomada de decisão em propriedades rurais, o que se reflete em boas condições de cultivo, rentabilidade e outros diversos benefícios ao produtor.

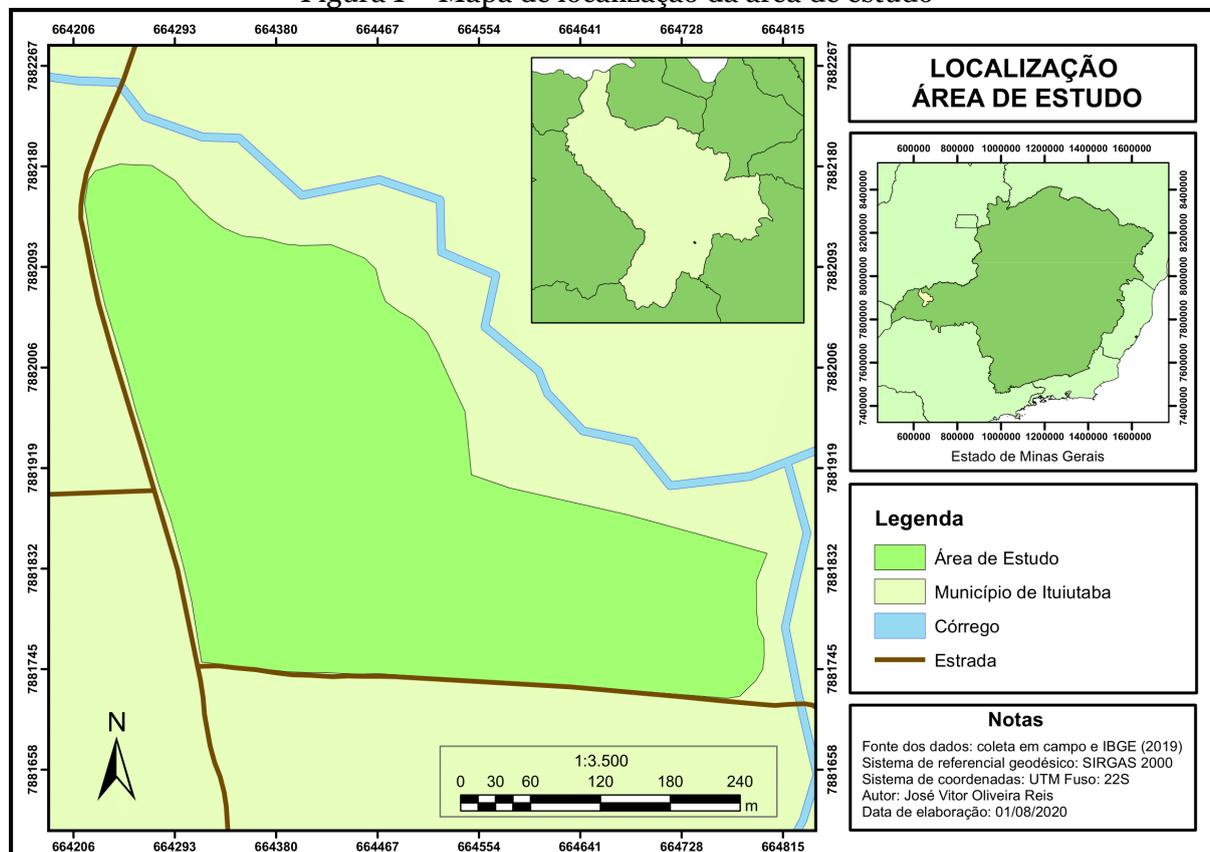
Tal avaliação fornecerá o detalhamento dos dados obtidos, auxiliando as etapas de planejamento e, principalmente, a tomada de decisão quanto ao manejo. Desse modo, entende-se que os mapeamentos gerados pela interpolação espacial constituem ferramentas de apoio às atividades agrícolas para os pequenos produtores rurais.

Posto isso, o presente trabalho se justifica pela importância de estudar a potencialidade da aplicação de técnicas de geoprocessamento em uma pequena propriedade rural, recorrendo à análise espacial para conhecer e compreender os aspectos que envolvem a variabilidade dos atributos químicos do solo.

A área de estudo está localizada na Fazenda Nossa Senhora de Aparecida, pertencente

ao projeto de assentamento Chico Mendes, que se encontra na região das Sete Placas no município de Ituiutaba, Minas Gerais. Esse local possui cerca de 13,9 hectares, sob as coordenadas geográficas de latitude $- 19^{\circ}8'58.70''S$ e longitude $- 49^{\circ}26'8.96''O$, a uma altitude de 557 metros e com declividade média de cerca de 3% (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo



Org.: José Vitor Oliveira Reis, 2020.

A área em questão foi selecionada por se enquadrar na classificação de pequena propriedade rural seguindo as especificações de agricultura familiar, conforme a Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006 (BRASIL, 2006).

Geotecnologias para pequenas propriedades

A agricultura familiar é uma realidade no cenário agrícola brasileiro. Nos últimos anos, devido à reforma agrária e à criação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), o número de produtores rurais em assentamentos apresentou um considerável crescimento (KNOB, 2006). Há no país aproximadamente 4 milhões de propriedades caracterizadas como áreas de agricultura familiar, as quais respondem por cerca de 60% da produção de diversos itens essenciais no cotidiano brasileiro, entre eles arroz, feijão, hortaliças e pequenos animais (KNOB, 2006).

Esse tipo de produção é basicamente constituído pelo aproveitamento da mão de obra dos membros da própria família e pela diversificação dos produtos cultivados, a fim de aumentar ganhos e reduzir custos. Contudo, muito além de uma atividade puramente econômica, a agricultura familiar exerce também uma função social no processo produtivo, devido às suas características e incontáveis recompensas materiais e imateriais geradas ao desenvolvimento local (DELGADO; BERGAMASCO, 2017).

O setor agrícola é um universo de grande complexidade, com muitos tipos e formas de execução difíceis de rotular (INCRA/FAO, 2000). No que diz respeito à agricultura familiar, a legislação brasileira prevê, na Lei nº 11.326/2006, que se trata de uma atividade econômica marcada por alguns requisitos. É estabelecido, no art. 3º, que o produtor familiar rural deve, simultaneamente: I. deter área de até 4 módulos fiscais; II. utilizar predominantemente a mão de obra da própria família; III. possuir uma porcentagem mínima da renda familiar gerada das atividades econômicas do empreendimento; IV. administrar a propriedade com a família (BRASIL, 2006).

Nos últimos tempos tem se observado expressiva evolução e surgimento de ferramentas e serviços geoespaciais, tais como as geotecnologias. Sua utilização na agricultura familiar facilitaria o levantamento de dados, o planejamento e a gestão das atividades da propriedade rural (PEDREIRA; FIDALGO, 2019). Contudo, alguns desafios são encontrados para a efetiva implantação dessas ferramentas. Knob (2006) avalia que a renda obtida com as atividades da pequena propriedade, na grande maioria dos casos, é insuficiente, ficando abaixo do necessário para o sustento, o que dificulta o investimento em melhorias no sistema produtivo. Além disso, muitas vezes faltam instrução do proprietário rural, infraestrutura e acesso a tais tecnologias. A alternativa para contornar esses empecilhos seria o desenvolvimento de políticas públicas que possibilitem a inclusão digital, incentivem e capacitem o agricultor familiar, facilitem o crédito, assim como ações de melhoria da infraestrutura e acesso às geotecnologias (PEDREIRA; FIDALGO, 2019).

As geotecnologias englobam diversas atividades, podendo ser descritas como um conjunto de ferramentas que, com o auxílio da informática, permitem a coleta, a manipulação e o processamento de dados espaciais com posição definida, isto é, dados referenciados por coordenadas geográficas. Entre essas ferramentas estão o Sistema de Posicionamento Global (GPS), os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o sensoriamento remoto por satélites, o geoprocessamento, a cartografia digital e a topografia (FAVRIN, 2009).

Neste trabalho utilizamos o geoprocessamento, que pode ser compreendido como um conjunto de técnicas focadas no tratamento, no processamento, na análise e na disponibilização de informações espaciais georreferenciadas orientadas a um objetivo. Trata-se de uma importante ferramenta para abordar a variabilidade espacial, auxiliando a tomada de decisão para a formulação de tratamentos mais precisos. Esses tratamentos são variados e localizados, e seu gerenciamento é feito por meio de mapas temáticos gerados através da amostragem dos pontos na área de manejo (KNOB, 2006).

Para trabalhar com geoprocessamento utilizam-se softwares computacionais específicos, os SIG (UFRRJ, 2004; BERNARDI *et al.*, 2015), responsáveis pela recepção, manipulação e pelo gerenciamento de informações espaciais, que possuem vínculo com as coordenadas geográficas ou Universal Transversa de Mercator (UTM) auxiliam no planejamento de atividades e na resolução de problemas (FERREIRA, 2006; FILLIPINI ALBA, 2014). Segundo Ferreira (2006), a aplicação dos SIG envolve um relacionamento entre os dados, hardwares, softwares, recursos humanos e os métodos utilizados.

Existem algumas formas de análise das informações em SIG. A que mais se destaca é a análise espacial, cuja variável trabalhada tem uma localização geográfica, permitindo avaliar a localidade de algum evento específico, bem como estudar a distância e a relação espacial entre objetos. Há também a análise multitemporal, com o estudo de períodos distintos, e ainda a análise multicritério, utilizada na averiguação de risco ambiental, permitindo a tomada de decisão (VICTORIA *et al.*, 2014).

Em seu trabalho Souza *et al.* (2013) listam diversas vantagens do geoprocessamento, evidenciando que o sucesso no uso dessa ferramenta está atrelado ao bom planejamento. Segundo os autores, é possível reduzir os impactos e danos ambientais provocados pela agricultura, melhorar o manejo e a conservação do solo, aumentar o aproveitamento de insumos, tornar a tomada de decisão mais assertiva no manejo de pragas e doenças, e consequentemente elevar a lucratividade na produção.

Análise espacial

O espaço geográfico se comporta de maneira complexa, de modo que para atuar sobre ele é necessário conhecê-lo e compreender as diversas relações existentes entre seus fenômenos. A análise espacial é um recurso de exploração do espaço que conecta as áreas de estatística e cartografia, possibilitando a utilização de variáveis conhecidas e georreferenciadas para gerar variáveis novas e desconhecidas. Uma análise, em sua essência, visa separar ou decompor um todo em fragmentos, a fim de identificar um padrão, uma estrutura. Desse modo, a análise espacial permite extrapolar e criar dados novos, para melhor entendimento de fenômenos, seja de modo isolado, seja em conjunto (ROSA, 2011).

A análise espacial engloba alguns conceitos básicos, como dependência, autocorrelação, inferência estatística para dados espaciais, entre outros. A dependência espacial se refere ao fato de que ocorrências de diferentes ordens apresentam relação de dependência entre si conforme a distância. Já o conceito de autocorrelação consiste em determinar a existência de relação entre duas variáveis aleatórias, comparando os valores da amostra com os valores vizinhos (CÂMARA *et al.*, 2004). Por fim, a inferência estatística para dados espaciais, ou interpolação, configura-se como um método matemático responsável por inferir valores desconhecidos, ajustando funções aos pontos não amostrados, tendo como referência os valores obtidos com os pontos já amostrados (LANDIM, 2000; CRONEMBERGER, 2009).

Os procedimentos presentes na análise espacial envolvem a predição de um modelo inferencial que melhor represente o fenômeno e seu relacionamento espacial. A análise exploratória e a visualização de dados possibilitam descrever a distribuição de variáveis, identificar o relacionamento com vizinhos, a relação de dependência e ocorrências atípicas (CÂMARA *et al.*, 2004).

A interpolação é um procedimento para estimar valores em locais não amostrados, através do ajuste de uma função matemática tomando como referência os valores de dados observados nos pontos amostrados. Como resultado, é possível gerar mapas e sistemas de informações georreferenciadas (LANDIM, 2000; MAZZINI; SCHETTINI, 2009). Para a análise espacial, a interpolação dispõe de diversos métodos, contendo os interpoladores exatos (que geram resíduo nulo) e interpoladores aproximados (que geram algum resíduo). A aplicação de cada um deles dependerá do tipo de situação avaliada (LANDIM, 2000).

Os métodos de interpolação fazem uso de determinadas combinações e funções para que a estimação dos valores seja a melhor possível. O fenômeno que o conjunto de dados representa, assim como a distribuição dos pontos determinarão qual método de interpolação produzirá a melhor estimativa, entretanto, uma maior quantidade de pontos amostrais, com boa distribuição, possibilitará maior precisão do resultado.

A estimação de valores para pontos não amostrados considera a existência de continuidade espacial nas variáveis regionalizadas, sendo os valores obtidos por meio da amostragem utilizados para estimação. Em caso de uma variável não apresentar continuidade espacial, não existe sentido lógico em realizar a geoestatística (krigagem), sendo a análise variográfica a maneira disponível para verificar a existência de continuidade espacial e o comportamento regionalizado (LANDIM, 2000).

Landim (2000) defende que são necessários mais de 30 pontos amostrais para poder modelar o variograma, e é preciso haver dependência espacial bem como longo tempo de trabalho, pois deve-se realizar o ajuste de semivariograma. Diversos autores já debateram sobre a quantidade mínima de amostras que devem ser coletadas para aplicação de determinados tipos de análise, como a krigagem. Alguns recomendam um mínimo de 20, outros de 30, e até mesmo 100 pontos amostrais para uma representação adequada do fenômeno avaliado. Não existe uma regra, mas é consenso que quanto maior for a quantidade

de pontos amostrados, maior será acurácia dos dados, e o resultado tenderá a ser mais fiel à realidade (GUIMARÃES, 2004).

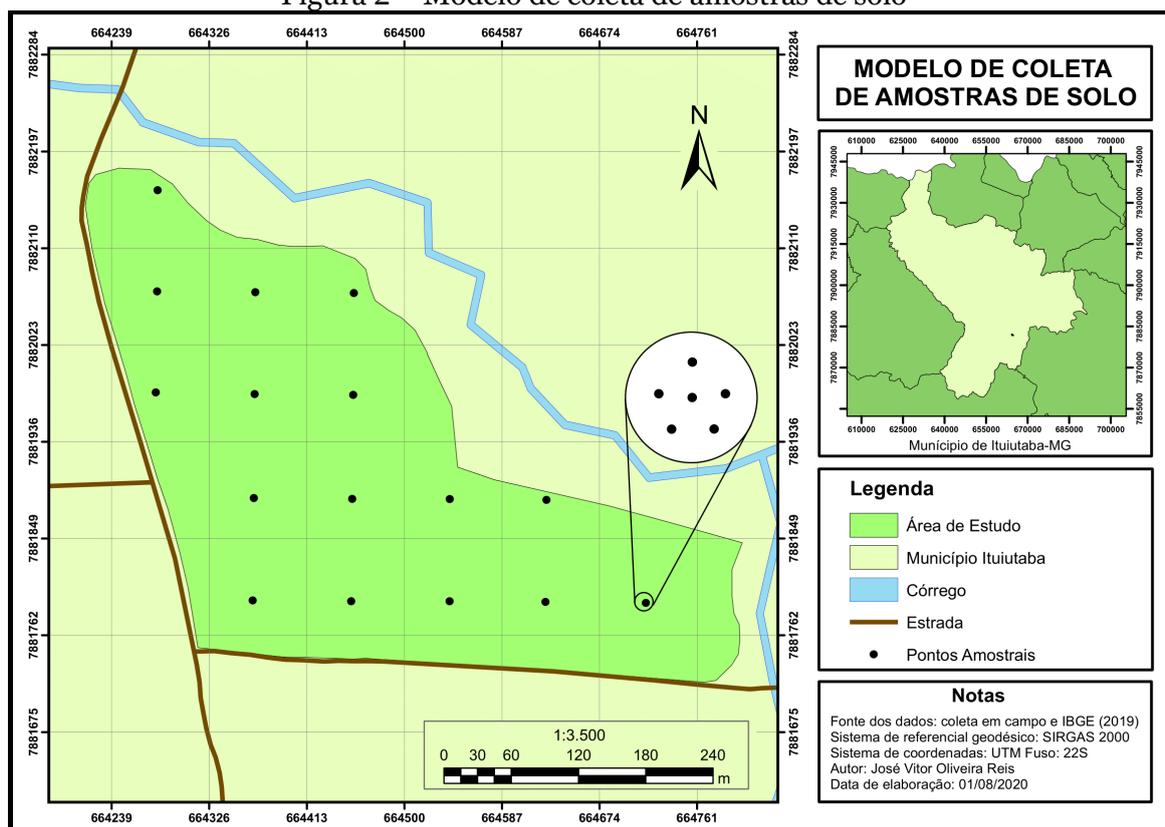
Considerando o pensamento de Landim (2000) e Guimarães (2004) sobre a quantidade de pontos amostrados, cabe destacar que, pelos escassos resultados obtidos na análise estatística espacial e ainda pelo alto custo das análises de solo em laboratório, não foi possível empregar a agricultura de precisão neste trabalho, ou seja, utilizar a krigagem como método de interpolação espacial para os dados de solos. Foi necessário então recorrer a outros métodos de interpolação, como o *Spline*, e com isso verificar sua eficiência para esse tipo de mapeamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Criação da grade amostral

Foi utilizado o software FalkerMap 2.0® para produção da grade amostral e de seus respectivos centroides, correspondentes aos pontos para coleta de amostras. Dividiu-se a área em grades de 100 x 100 metros (Figura 2), sendo gerados 16 pontos amostrais no total. A grade amostral foi pensada de forma que melhor representasse a área e, ao mesmo tempo, permitisse sua avaliação com custo reduzido. Como apontado anteriormente, este estudo não recorreu às técnicas de agricultura de precisão devido ao seu custo elevado e à quantidade de amostras inferior ao recomendado pela literatura.

Figura 2 – Modelo de coleta de amostras de solo



Org.: José Vitor Oliveira Reis, 2020.

Uma vez dividida a área, as coordenadas dos centroides foram obtidas pelo FalkerMap 2.0®. Posteriormente, transferiram-se essas coordenadas para o receptor GPS Garmin®, modelo Etrex Vista C®, que auxiliou na navegação e localização dos pontos

amostrais no terreno. Prosseguiu-se com a coleta das amostras de solo no dia 28 de agosto de 2019.

A amostragem seguiu um procedimento experimental, em que se fez a limpeza superficial do terreno. Com o auxílio de um trado manual com broca helicoidal, na profundidade de 0,00–0,20 m, coletou-se a proporção de cinco amostras simples para a formação de uma amostra composta, esse procedimento foi realizado para os dezesseis pontos amostrais (Figura 2).

As cinco amostras simples coletadas foram depositadas em um balde, sendo ali homogeneizadas. Retirou-se então uma amostra de aproximadamente 500 g, transferida para um saco plástico e identificada (SANZONOWICZ, 2002). Por fim, as amostras foram enviadas para o laboratório de análise de solos Safrar Análises Agrícolas, situado no município de Uberlândia (MG) para realização de análise dos atributos químicos do solo. Análise granulométrica dos dezesseis pontos amostrais não foi realizada nessa pesquisa.

Análise estatística e elaboração dos mapas de distribuição espacial

Os resultados da análise de solo foram submetidos aos testes de estatística descritiva, os quais obtiveram os parâmetros média, mediana, desvio-padrão, coeficiente de variação (CV), variância da amostra, curtose, assimetria, mínimo e máximo. A normalidade dos dados foi avaliada através do teste de Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade. Para tratamento dos dados utilizou-se o programa de análises estatísticas Sisvar (SANTOS *et al.*, 2015; SANTOS; MELO; SILVA, 2016).

Considerando o resultado da análise estatística descritiva, procedeu-se à etapa da interpolação espacial. Para tanto, foram escolhidos os seguintes atributos químicos do solo: cálcio (Ca), potássio (K), fósforo (P), magnésio (Mg), saturação por bases (V%) e pH em água. Optou-se por estes atributos devido às *Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação* (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

Tabela 1 – Níveis para interpretação dos resultados dos atributos químicos em análise do solo, segundo classificação (5ª Aproximação)

Característica	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito bom
	(mg dm ⁻³) ^{1/}				
Argila (%)	Fósforo disponível (P) ^{2/}				
60 - 100	≤ 2,7	2,8 - 5,4	5,5 - 8,0 ^{3/}	8,1 - 12,0	> 12,0
35 - 60	≤ 4,0	4,1 - 8,0	8,1 - 12,0	12,1 - 18,0	> 18,0
15 - 35	≤ 6,6	6,7 - 12,0	12,1 - 20,0	20,1 - 30,0	> 30,0
0 - 15	≤ 10,0	10,1 - 20,0	20,1 - 30,0	30,1 - 45,0	> 45,0
P- rem ^{4/} (mg/L)	Potássio disponível (K) ^{2/}				
	(mg dm ⁻³) ^{1/}				
0 - 4	≤ 3,0	3,1 - 4,3	4,4 - 6,0 ^{3/}	6,1 - 9,0	> 9,0
4 - 10	≤ 4,0	4,1 - 6,0	6,1 - 8,3	8,4 - 12,5	> 12,5
10 - 19	≤ 6,0	6,1 - 8,3	8,4 - 11,4	11,5 - 17,5	> 17,5
19 - 30	≤ 8,0	8,1 - 11,4	11,5 - 15,8	15,9 - 24,0	> 24,0
30 - 44	≤ 11,0	11,1 - 15,8	15,9 - 21,8	21,9 - 33,0	> 33,0
44 - 60	≤ 15,0	15,1 - 21,8	21,9 - 30,0	30,1 - 45,0	> 45,0
	Cálcio trocável (Ca ²⁺) ^{4/}				
	(cmol _c dm ⁻³) ^{1/}				
	≤ 0,40	0,41 - 1,20	1,21 - 2,40	2,41 - 4,00	> 4,00
	Magnésio trocável (Mg ²⁺) ^{4/}				
	(cmol _c dm ⁻³) ^{1/}				
	≤ 0,15	0,16 - 0,45	0,46 - 0,90	0,91 - 1,50	> 1,50
	Saturação por bases (V) ^{10/}				
	(%)				
	≤ 20,0	20,1 - 40,0	40,1 - 60,0	60,1 - 80,0	> 80,0

Adaptada de Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999).

Os dados foram submetidos à análise espacial utilizando o software ArcGIS 10.5 (versão *free* educacional), que, através da interpolação Spline, determinou o modelo de variabilidade espacial dos atributos, estimando valores nos lugares não amostrados. Esse método foi escolhido por ter vasta aplicação no campo das geotecnologias, sendo bem aceito e apresentando boa estabilidade quando há erros de aproximação. Ademais, os dados são honrados ao máximo no processo de geração de curvas mais suaves (MAZZINI; SCHETTINI, 2009).

Por fim, a interpretação dos resultados da análise de solo também se baseou nas já mencionadas recomendações de Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999). Quanto aos resultados obtidos para o atributo fósforo (P), foi necessário conhecer a proporção de argila no solo para interpretá-los. Os valores de características físicas estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Características físicas do solo da área em estudo

Área	AREIA	ARGILA	SILTE
	%		
Área Estudo	54,4	23,6	22,0

Org.: Os autores, 2020.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estatística descritiva

Os resultados da análise estatística descritiva referentes aos atributos químicos do solo encontram-se na Tabela 3. São apresentados os valores de média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação (CV), variância da amostra, curtose, assimetria, mínimo e máximo, e teste de Shapiro-Wilk para pH, P, K, Ca, Mg e V%, obtidos através de 16 amostras de solo. As condições de fertilidade de modo geral apresentaram os valores médios para os atributos químicos do solo entre bom e muito bom, conforme os limites estabelecidos na 5ª Aproximação para os níveis dessa característica (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999), apresentados na Tabela 1.

Tabela 3 - Estatística descritiva dos dados de pH, P, K, Ca, Mg e V%, obtidos através de 16 amostras de solo

Estatística Descritiva	pH	P	K	Ca	Mg	V
		mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³		%
Média	5,95	24,11	169	4,49	1,86	73,91
Mediana	5,95	17,6	161	4,49	1,85	75,15
Desvio padrão	0,10	15,07	69,48	0,97	0,48	5,35
Coeficiente de variação %	1,74	62,50	41,11	21,66	25,82	7,25
Variância da amostra	0,01	227,23	4827,73	0,94	0,23	28,72
Curtose	-0,99	0,96	2,84	-0,59	-0,52	0,05
Assimetria	-0,06	1,54	1,25	-0,27	0,26	-0,43
Mínimo	5,8	12,6	72	2,67	1,14	62,9
Máximo	6,1	57,7	360	5,97	2,68	83,8
Teste W ¹	0,060* (2)	0,000 ns	0,117*	0,857*	0,394*	0,472*

1 Teste de Shapiro-Wilk; 2 Nível de significância do teste de Shapiro-Wilk: **distribuição normal a 1% de probabilidade, *distribuição normal a 5% de probabilidade e ns - não significativo.

Fonte: coleta em campo pelos autores, 2019.

Os dados de média e mediana para os atributos pH, Ca, Mg e V% apresentaram valores iguais ou muito próximos entre si. Entretanto, P e K foram os únicos atributos a apresentar maior discrepância entre os valores, o primeiro variando entre 12,6 e 57,7 mg dm⁻³ que, enquanto o segundo varia entre 72 e 360 mg dm⁻³, em outras palavras, significa que há regiões na área que transitam entre os níveis de fertilidade “baixo” a “muito bom”. Resultados semelhantes foram encontrados por Molin et al. (2006) em seu estudo sobre a taxa variada de P e K em um cafezal e sua influência na produtividade.

A assimetria e curtose apresentaram valores variáveis que indicam distribuição assimétrica para os atributos químicos analisados (SANTOS et al., 2015). Embora demonstre a ocorrência de distribuições assimétricas em alguns casos, a proximidade dos valores de média e mediana de todos os atributos, com exceção do P, mostra uma assimetria pouco acentuada para os dados (CAVALCANTE et al., 2007). Seguindo os dizeres de Silva et al. (2010), nos atributos P, K e Mg, verificou a existência de valores positivos na assimetria demonstrando uma distribuição assimétrica à direita, e para os atributos pH, Ca e V%, os valores negativos indicam distribuição assimétrica à esquerda.

No teste de Shapiro-Wilk, todos os dados amostrais apresentaram-se significativos a 5% de probabilidade, com exceção do P (<0,05). O atributo P apresentou distribuição anormal em relação ao teste W, apresentando comportamento de distribuição lognormal (CORÁ et al., 2004; MOLIN et al., 2006). Em seu trabalho Cambardella et al. (1994) observou que a realização da log-transformação dos dados reduziu a assimetria, entretanto, a curtose ainda prevaleceu, apresentando maior sucesso na redução da assimetria do que da curtose. A ocorrência de valores positivos nos atributos para assimetria indica a distribuição lognormal dos dados, assim, valores menores que a média, aparecem em maior frequência e os valores maiores em menor frequência.

Warrick e Nielsen (1980), determinaram parâmetros de classificação para o coeficiente de variação (CV), considerando a variabilidade baixa para valores < 12%; média para valores entre 12% < CV < 60%; e alta para valores > 60%. Verificou-se a variabilidade dos atributos químicos como baixo para pH e V%, ou seja, os dados possuem pouca variabilidade; Ca, Mg e K apresentaram valores com média variabilidade; P apresentou-se com alta dispersão, sugerindo existência de heterogeneidade nos dados.

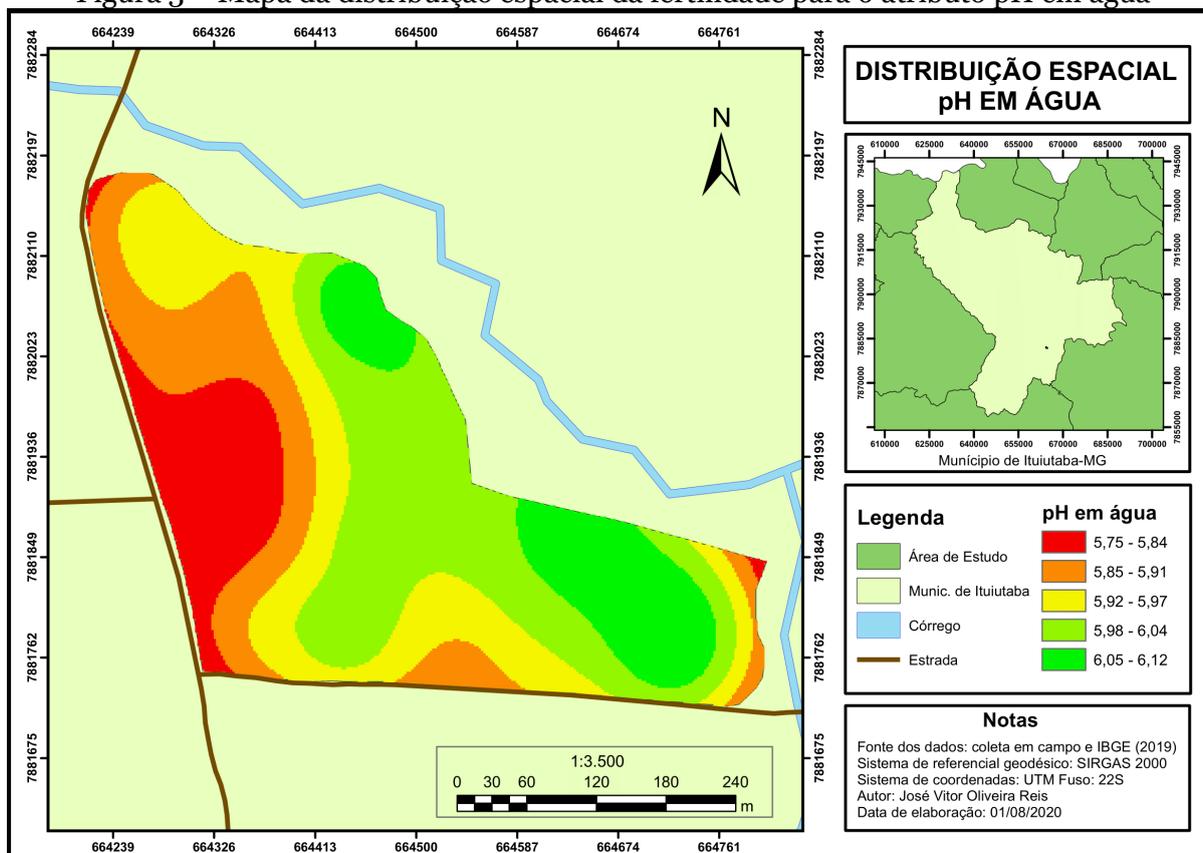
Os complexos processos de formação do solo e as técnicas de manejo aplicadas ao longo do tempo contribuem para a ocorrência de variações dos atributos químicos do solo (BOTTEGA et al., 2013). Os diversos processos pedogenéticos resultam na variabilidade espacial dos solos, diante das muitas formas de relevo existentes, os atributos químicos do solo apresentam diferentes comportamentos, provocados devido as alterações causadas pelos processos erosivos e o manejo agrícola (SOUZA et al., 2008).

Mapas de distribuição espacial dos atributos químicos do solo

De acordo com Santos *et al.* (2015) e Carneiro *et al.* (2016), os mapas de distribuição espacial são essenciais para verificar e interpretar a variabilidade espacial do terreno, bem como para avaliar as condições de fertilidade do solo, observando as necessidades específicas de manejo. A interpolação dos dados pelo método Spline gerou mapas de distribuição espacial para os atributos químicos que conferem fertilidade ao solo, estimando a presença de cada um deles na área de estudo.

A interpolação dos dados gerou um mapa (Figura 3) com a estimativa espacial para o pH em água, mostrando que os menores valores estão nas bordas da área (em vermelho, laranja e amarelo), que conferem a esses pontos a característica de acidez média. Os valores maiores (na cor verde) encontram-se na parte central e na porção mais baixa do terreno, conferindo acidez fraca a esses locais.

Figura 3 – Mapa da distribuição espacial da fertilidade para o atributo pH em água



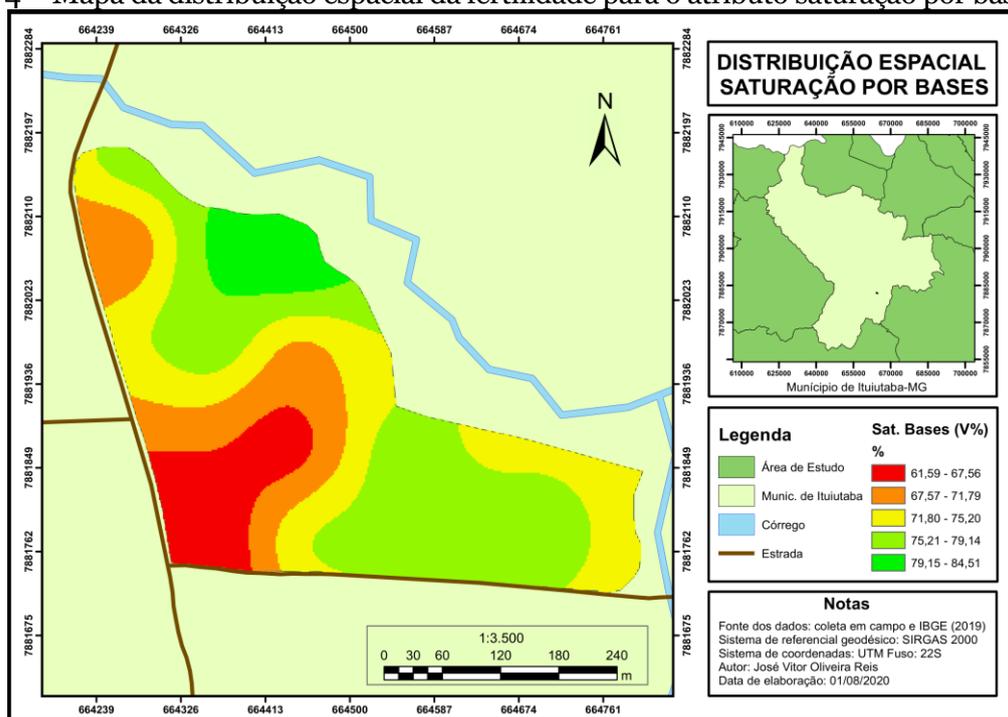
Org.: José Vitor Oliveira Reis, 2020.

De modo geral, os valores obtidos nessa amostragem podem ser interpretados como bons, sendo explicados pela correção de acidez feita no solo anteriormente por meio da calagem. Sousa, Miranda e Oliveira (2007) relatam que a faixa de pH considerada ideal para a maioria das culturas cultivadas no Brasil fica entre 5,7 e 6,0, na qual as plantas demonstram bom desenvolvimento, sendo esses valores semelhantes aos encontrados no presente trabalho. Outro fato a destacar é que a acidez do solo está diretamente relacionada com a disponibilidade de alguns macronutrientes, como Ca, Mg, P e K; logo, com acidez do solo em níveis considerados adequados, maior será a disponibilidade deles (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

Posteriormente, o índice de saturação por bases (V%) (Figura 4) apresentou amplitude classificada como boa. O V% está ligado diretamente à fertilidade natural do solo, indicando a necessidade ou não de corrigi-la. O índice para esse atributo considerado ideal, ou seja, para dispensar correções, é de 60% (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

Considerando o valor ideal (60%), a área apresenta boa fertilidade, em teoria. Embora seja notável a má distribuição desse atributo químico na extensão total da área, não é necessário, em um primeiro momento, realizar novas correções.

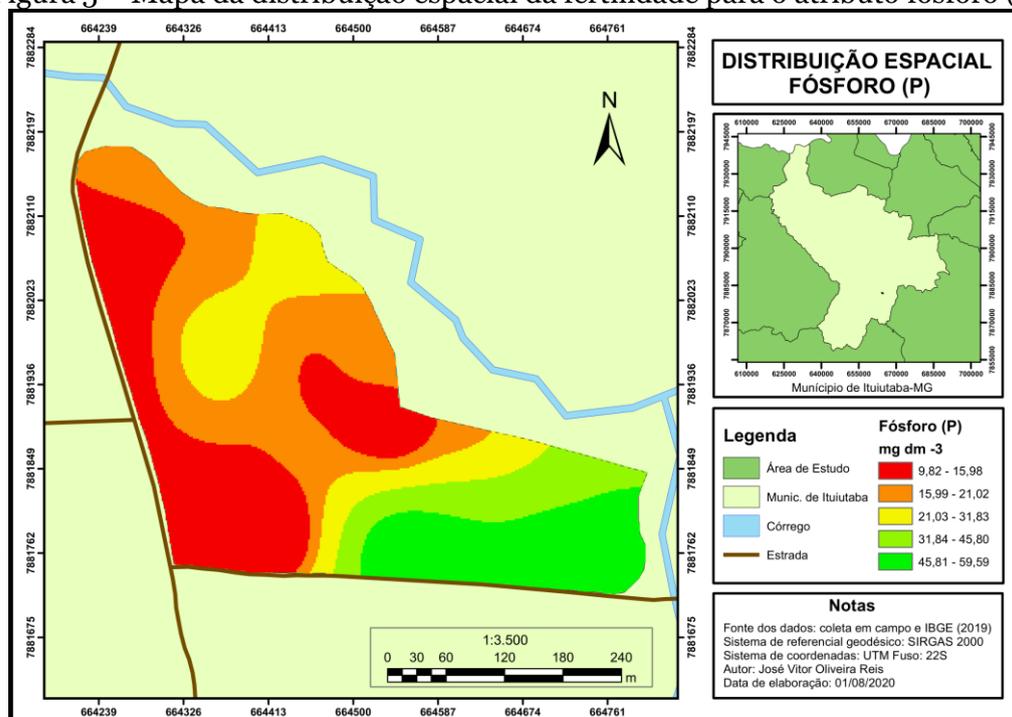
Figura 4 – Mapa da distribuição espacial da fertilidade para o atributo saturação por bases (V%)



Org.: José Vitor Oliveira Reis, 2020.

Com relação ao fósforo (P) (Figura 5), a literatura recomenda considerar o teor de argila presente no solo, que no caso em questão foi de 23,6%. Dessa maneira, o P apresentou valores classificados entre baixo ($6,7 - 12 \text{ mg dm}^{-3}$) e muito bom ($> 30 \text{ mg dm}^{-3}$) (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

Figura 5 – Mapa da distribuição espacial da fertilidade para o atributo fósforo (P)

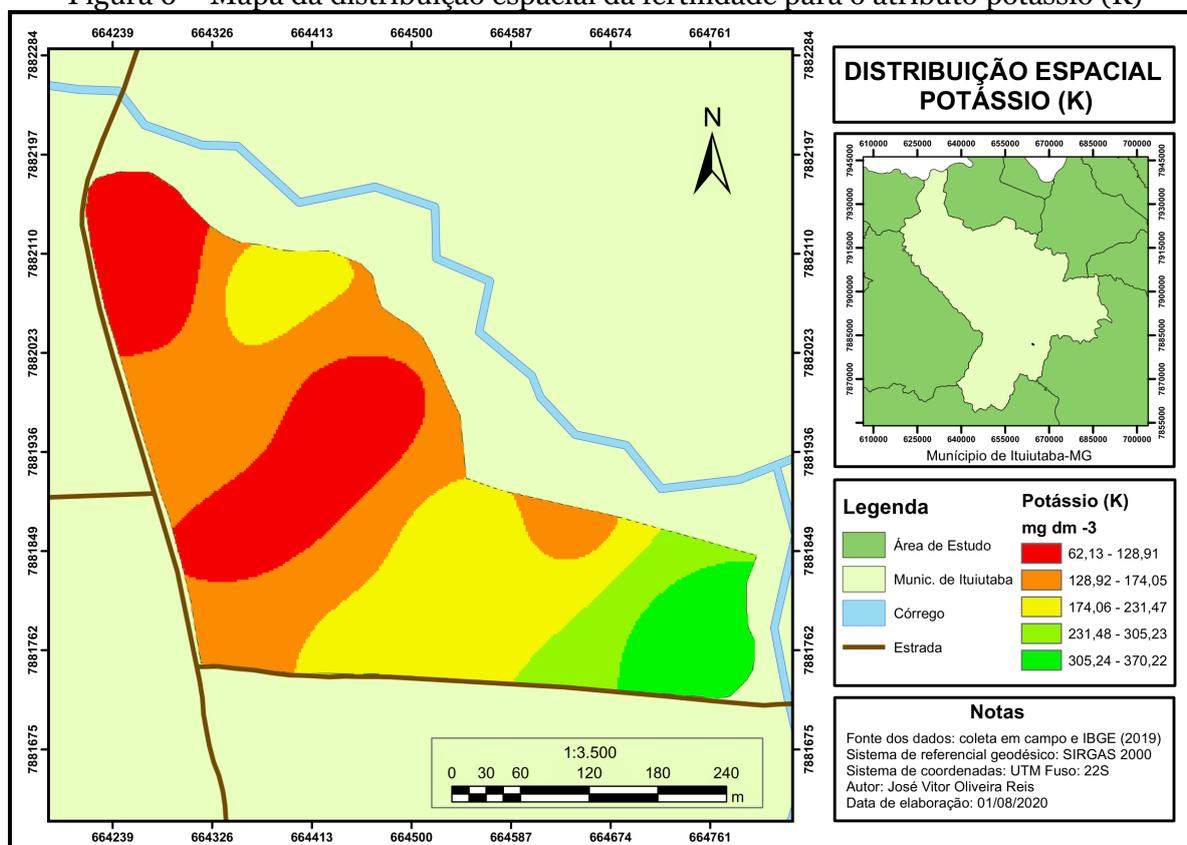


Org.: José Vitor Oliveira Reis, 2020.

Esse elemento apresentou grande amplitude, com valores oscilando entre 9,82 e 59,59 mg dm⁻³. Santos, Melo e Silva (2016) explicam que os níveis de pH exercem influência direta sobre o P, tornando-o mais disponível às plantas em níveis em torno de 5,5 a 6,5 mg dm⁻³. Os valores de pH encontrados neste trabalho estão na faixa ideal de disponibilidade do elemento. No entanto, os mapas demonstram que, mesmo em regiões onde o pH apresenta níveis muito bons, há zonas com baixas concentrações de P, não seguindo a mesma tendência dos autores citados.

Por sua vez, os valores do atributo químico potássio (K) apresentaram grande amplitude, com teores classificados como médio (41 – 70 mg dm⁻³), bom (71 – 120 mg dm⁻³) e muito bom (> 120 mg dm⁻³). A (Figura 6) mostra uma má distribuição espacial desse nutriente, evidenciando zonas com maiores concentrações do que outras.

Figura 6 – Mapa da distribuição espacial da fertilidade para o atributo potássio (K)

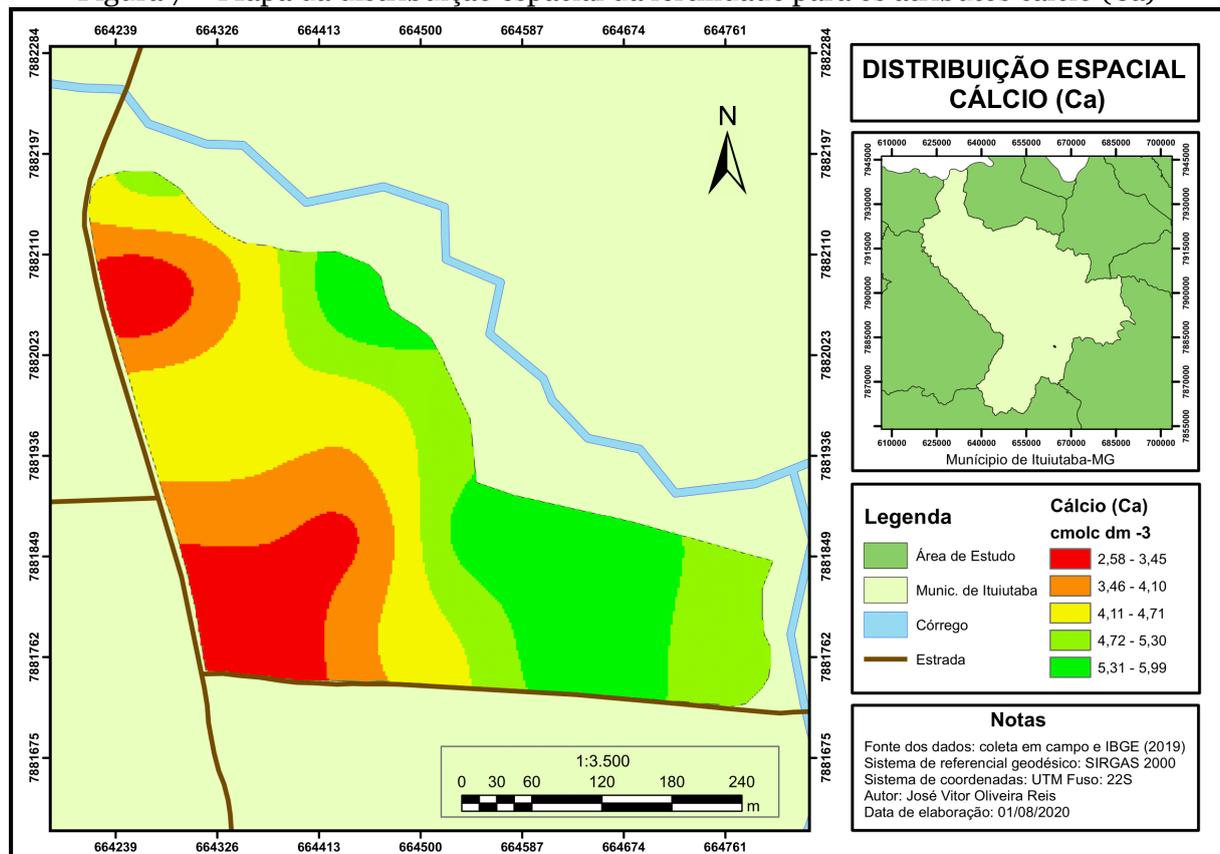


Org.: José Vitor Oliveira Reis, 2020.

Os valores médio e bom estão distribuídos nas zonas de coloração vermelha. Os valores classificados na categoria muito bom encontram-se na maior parte da área, em laranja, amarelo e verde. Na região sudeste do mapa, em verde, situa-se a maior concentração de K. No caso em questão, a declividade do terreno pode ter influenciado o carreamento do elemento no solo, ocasionando sua falta de uniformidade. A declividade média da área de estudo é de 3%, e Souza et al. (2004) afirmam que sutis mudanças do relevo contribuem para a ocorrência de variabilidade dos atributos químicos.

Na sequência, tem-se o atributo cálcio (Ca), o qual apresentou concentrações entre 2,58 e 5,99 cmolc dm⁻³, valores que são classificados entre bom (2,41 – 4,00 cmolc dm⁻³) e muito bom (> 4,00 cmolc dm⁻³) (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999). O mapa gerado por interpolação corresponde à Figura 7.

Figura 7 – Mapa da distribuição espacial da fertilidade para os atributos cálcio (Ca)



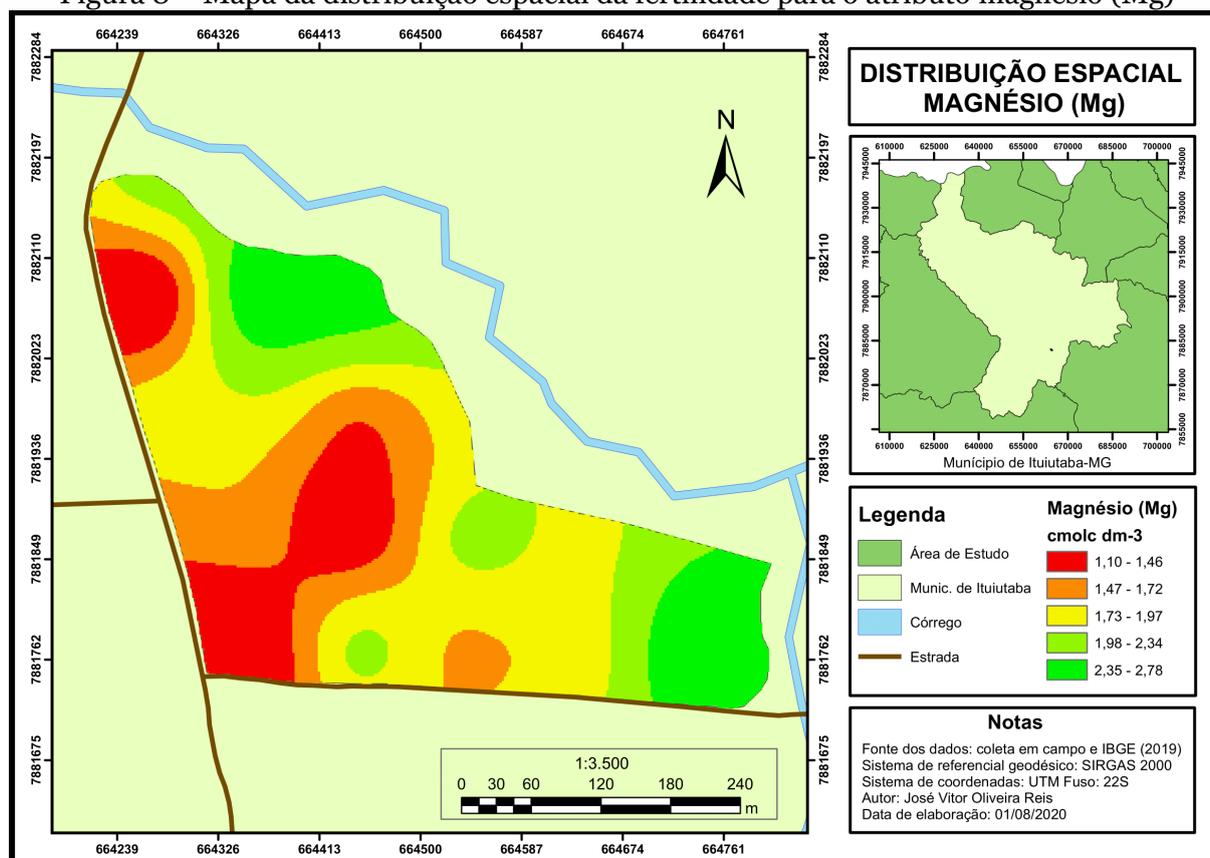
Org.: José Vitor Oliveira Reis, 2020.

Nota-se que as maiores concentrações (em verde), encontram-se nas partes mais baixas da área. Isso demonstra não uniformidade de distribuição, gerando certa deficiência nas partes mais elevadas do terreno e grande concentração em parte mais baixas, confirmando a possível ocorrência de mobilidade do elemento em devido a declividade do terreno.

Retomando o pensamento de Souza *et al.* (2008) a respeito do relevo, os pesquisadores observaram similaridade na distribuição espacial em alguns locais nos mapas dos atributos Ca e V%, notando que os maiores valores apareceram na parte inferior da área de estudo. Eles relacionam essa ocorrência à declividade do terreno, alegando que, associada ao escoamento da água de chuva, colabora com o arraste superficial de partículas do solo. Esse processo é agravado quando o solo está exposto ou com cobertura vegetal pouco desenvolvida.

Seguindo a mesma tendência dos demais atributos, os valores encontrados para o elemento magnésio (Mg) (Figura 8) apresentaram classificação entre bom (0,91 – 1,50 cmolc dm⁻³) e muito bom (> 1,50 cmolc dm⁻³) (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999). Assim como nos demais mapas, fica explícita a distribuição irregular dos atributos químicos no solo dessa área.

Figura 8 – Mapa da distribuição espacial da fertilidade para o atributo magnésio (Mg)



Org.: José Vitor Oliveira Reis, 2020.

O mapa interpolado para Mg mostra que o teor bom se encontra distribuído nas bordas e na parte central da área de estudo (vermelho), enquanto o teor muito bom ocupa boa extensão do terreno (laranja, amarelo e verde). Notam-se também algumas zonas com maiores concentrações do nutriente, em verde. Neste caso, o carregamento do nutriente por lixiviação parece ter ocorrido ao norte.

A compreensão dos fatores que causam variabilidade de um solo se dá através do conhecimento dos processos que ocorrem em pontos específicos de uma área, pois esses processos apresentam relação direta com o fluxo de água em subsuperfície e o relevo (SOUZA *et al.*, 2004).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o exposto, neste trabalho o método de interpolação Spline apresentou resultados bastante satisfatórios e importantes para o entendimento da distribuição espacial da fertilidade no solo. Esse tipo de interpolação é também um passo inicial para verificar a necessidade de recorrer a métodos de agricultura de precisão em pequenas propriedades, que por vezes não possuem recursos suficientes para usufruir das tecnologias no campo.

Diante disso, verificou-se que as atividades de amostragem e interpretação da análise de solo, segundo as geotecnologias, são aplicáveis a pequenas propriedades rurais e oferecem resultados válidos para auxiliar o produtor rural na tomada de decisão, bem como no planejamento para utilização de técnicas de agricultura de precisão posteriormente.

O custo para a realização desta pesquisa foi de R\$ 407,52, referente à análise química

das amostras de solo – foram analisadas 16 amostras, pelo valor de R\$ 25,47 cada. Portanto, essa abordagem possui um baixo custo operacional quando comparada com a agricultura de precisão, ficando o incentivo para que os pequenos produtores rurais utilizem as técnicas tradicionais de interpolação espacial para entenderem os atributos químicos do solo quando não for possível recorrer à geoestatística.

A elaboração de mapas de estimação espacial dos atributos químicos do solo mostrou-se fundamental no estudo da fertilidade, possibilitando detalhar e identificar melhor as zonas específicas que necessitam de manejo. Os mapas permitem o planejamento adequado das práticas de manejo, priorizando a homogeneidade das características do solo a fim de padronizar os níveis de fertilidade, aumentar a precisão e reduzir erros.

Existem diversos modelos matemáticos e técnicas para análise espacial, por isso são necessários estudos mais aprofundados para determinar o método que melhor se adequa a cada situação analisada, visando maior acurácia nos resultados de interpolação dos mapas de fertilidade do solo. Quanto ao software utilizado, também há várias outras opções que podem ser experimentadas para os trabalhos com essa temática, tendo em vista a viabilidade técnica, a otimização dos resultados e principalmente a redução de custos quando pensados para pequenas propriedades rurais.

É válido ressaltar que, para tornar possível o mapeamento a partir da agricultura de precisão na propriedade e a aplicação de métodos como a krigagem, é necessário coletar amostras em maior número de pontos, seguindo as recomendações encontradas na literatura.

REFERÊNCIAS

BERNARDI, A. C. C. *et al.* Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 211-227, 2015. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/23314>>. Acesso em: 4 out. 2019. DOI: 10.35977/0104-1096.cct2015.v32.23314

BOTTEGA, E. L. *et al.* Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.

BRASIL. **Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006**. Presidência da República da Casa Civil – Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, DF, 24 jul. 2006. Disponível em: <http://www.pla.nalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/11326.htm>. Acesso em: 17 set. 2019.

CÂMARA, G. *et al.* Análise Espacial e Geoprocessamento. In: DRUCK, S. *et al.* (Org.) **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap1-intro.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2020.

CARNEIRO, J. S. S. *et al.* Diagnóstico e manejo da variabilidade espacial da fertilidade do solo no cerrado do Piauí. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 14, n. 2, p. 10-21, 2016. DOI: 10.5327/rcaa.v14i2.1469

CAVALCANTE, E. G. S. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, São Paulo, v. 31, n. 6, p. 1329-1339, 2007. DOI: 10.1590/S0100-06832007000600012

CORÁ, E. *et al.* Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, São Paulo, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004. DOI: 10.1590/S0100-06832004000600010

CRONEMBERGER, F. M. **Curso de Análises Espaciais Avançadas em plataforma**

ArcGIS 9.x – Curso de Análises Espaciais Avançadas. INEA: Rio de Janeiro, 2009.

DELGADO, G. C.; BERGAMASCO, S. M. P. P. (Orgs.). **Agricultura familiar brasileira: desafios e perspectivas de futuro**. Brasília: SEAF, 2017.

FAVRIN, V. G. **As geotecnologias como instrumento de gestão territorial integrada e participativa**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-07122009-153514/pt-br.php>>. Acesso em: 25 ago. 2020.

FERREIRA, N. C. **Sistema de informações geográficas**. Apostila da Disciplina Sistema de Informações Geográficas do Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás. Goiânia, 2006. Disponível em: <http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/1414/apostila_sig.pdf>. Acesso: 5 out. 2019.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade especial de atributos de um Latossolo Vermelho-Escuro Textura Argiloso da Região do Cerrado submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**. 2000. 85 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/257528>>. Acesso em: 31 jul. 2020.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Matemática, 2004.

INCRA/FAO. **Novo retrato da agricultura familiar: o Brasil redescoberto**. Brasília: INCRA/FAO, 2000. Disponível em: <http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/AGRONOMIA_1271_1095426409.pdf>. Acesso em: 17 set. 2019.

KNOB, M. J. **Aplicação de técnicas de agricultura de precisão em pequenas propriedades**. 2006. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7486>>. Acesso em: 16 set. 2019.

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Texto Didático 2. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2000. 20 p. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso: 31 jul. 2020.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, Itajaí, v. 13, n. 1, p. 53-64, 2009. DOI: 10.14210/bjast.v13n1.p53-64

MOLIN, J. P. *et al.* Taxa variada de P e K em um cafezal e sua influência na produtividade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., São Pedro, 2006. **Anais...** São Pedro: ESALQ/USP, 2006. p. 1-12.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Disponível em: <<http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Agricultura-de-precisao-DEG.pdf>> Acesso: 18 set. 2019.

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

ROSA, R. Análise espacial em geografia. **Revista da ANPEGE**, Goiânia, v. 7, n. 1, número especial, p. 275-289, 2011. DOI: 10.5418/RAanpege2011.701

SANTOS, *et al.* Variabilidade espacial de macronutrientes em uma lavoura de café conilon no Norte do Espírito Santo. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 469-476, 2015. DOI: 10.5935/1806-6690.20150028

SANTOS, L. S.; MELO, L. F. S.; SILVA, S. D. R. S. Técnicas de agricultura de precisão no auxílio da tomada de decisão em pequenas propriedades rurais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 6., 2016, Recife. **Anais...** Recife: Editora, 2016.

SANZONOWICZ, C. Amostragem de solos, corretivos e fertilizantes. In: EMBRAPA. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Solos, 2002. p. 63-78.

SILVA, F. S.; SILVA, S. D.; MELO, L. F. S. Elaboração de mapas de fertilidade do solo para gestão de pequenas propriedades no norte do Tocantins. In: JORNADA DA INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO, 8., 2017, Palmas. **Anais...** Palmas: IFTO, 2017. Disponível em: <<http://prop.ifto.edu.br/ocs/index.php/jice/8jice/paper/viewFile/8644/3839>>. Acesso em: 6 dez. 2019.

SILVA, S. A. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 15-22, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000100002

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 205-274.

SOUZA, C. K. *et al.* Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de uma latossolo em Jaboticabal-SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 486-495, 2003.

SOUZA, Z. M. *et al.* Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1763-1771, 2004.

SOUZA, G. S. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos em um argissolo sob pastagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 4, 2008. p. 589-596. DOI: 10.4025/actasciagron.v30i4.5322

SOUZA, D. L. A. *et al.* Utilização de geoprocessamento na agricultura de precisão no Brasil. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO. 13., 2013, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 2013, p. 1-2. Disponível em: <<http://www.eventosufrpe.com.br/2013/cd/resumos/R0559-3.pdf>>. Acesso em: 4 out. 2019.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 159-163, 2002. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/331/33132127.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2019. DOI: 10.1590/S0103-84782002000100027

UFRRJ. **Geoprocessamento na Agricultura de Precisão** – Minicurso 1ª Semana Acadêmica de Engenharia de Agrimensura. Rio de Janeiro: UFRRJ, Departamento de

Engenharia, 2004. Disponível em:
<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT190_principios_em_agricultura_de_precisao/literatura/Geo_AgP.pdf>. Acesso em: 4 out. 2019.

VETTORATO, J. A. **Mapeamento da fertilidade do solo utilizando sistema de informação geográfica**. 2003. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2003. Disponível em:
<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90676/vettorato_ja_me_botfca.pdf?sequence=1>. Acesso em: 6 dez. 2019.

VICTORIA, D. C. *et al.* Geoprocessamento. In: TÔSTO, S. G. *et al.* (Org.) **Geotecnologias e Geoinformação: O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 93-106. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/107363/1/500P-Geotecnologias-e-geoinformacao-ed01-2014.pdf>>. Acesso em: 4 out. 2019.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.) **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344. DOI: 10.1590/S0100-69162012000100007

Recebido em: 22/06/2022.
Aprovado para publicação em: 21/12/2022.