

Análise espacial dos atributos químicos do solo e geração de mapas de aplicação de fertilizantes e corretivos na Cultura do Café

Spatial analysis of soil chemical attributes and generation of fertilizer and correction application maps in Coffee Culture

Análisis espacial de los atributos químicos del suelo y generación de mapas de aplicación de fertilizantes y corrección en el Cultivo del Café

Recebido: 06/09/2022 | Revisado: 15/09/2022 | Aceitado: 16/09/2022 | Publicado: 23/09/2022

Henrique Gabriel da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6030-2671>
Universidade Vale do Rio Verde, Brasil
E-mail: hgs.agro@hotmail.com

Maycon Luis Marques

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1079-9173>
Universidade Vale do Rio Verde, Brasil
E-mail: maycon_marquestc@hotmail.com

Lucio Flávio Ciacci

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2113-6989>
Universidade Vale do Rio Verde, Brasil
E-mail: luciociacci@hotmail.com

Alisson Souza de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7885-9542>
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
E-mail: alisson.souza@ufu.br

Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6646-0809>
Universidade Vale do Rio Verde, Brasil
E-mail: roeflorestal@hotmail.com

Marcelo Henrique Fernandes de Faria Rocha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6041-6233>
Universidade Vale do Rio Verde, Brasil
E-mail: mhffr@yahoo.com

Luciano Santos Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0555-8305>
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
E-mail: lsantosrodrigues@gmail.com

Aurivan Soares de Freitas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5322-3676>
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
E-mail: aurivan.soares@hotmail.com

Resumo

A agricultura de precisão é uma das opções disponíveis para redução de custo no cultivo do café, melhorando a eficiência das adubações, aumentando a produtividade. Neste sentido, objetivou-se neste trabalho avaliar a distribuição espacial dos atributos químicos do solo e a geração de mapas de aplicação de fertilizantes e corretivos do solo a taxas variadas na cultura do café, além de estimar a produção da cultura e a correlação entre a fertilidade e a produção. O experimento foi conduzido na Fazenda Bela Vista, no município de Três Corações, Sul de Minas Gerais em uma área de 2,4 ha de Café Arábica, variedade Mundo Novo 376/4, com 4 anos de idade, plantada no espaçamento de 3,5 x 1 m, totalizando de 2.857 plantas/ha. Para tanto, gerou-se um grid amostral de 35 m x 35 m totalizando 24 pontos amostrais, onde foram coletadas 24 amostras de solo compostas georreferenciadas, sob a projeção da copa do cafeeiro, para análise da fertilidade. Identificou-se e descreveu-se a organização da dependência espacial do pH, M.O, Ca, Mg, V%, P, K e CTC e, as recomendações de Super Fosfato Simples, Cloreto de Potássio, Ureia e Calcário, que foram ajustadas por meio de semivariograma. O emprego da Krigagem possibilitou a elaboração dos mapas, permitindo observar a variabilidade espacial e realizar o manejo de forma localizada e precisa. Pôde-se perceber que a diferença dos atributos químicos nas recomendações convencional e da agricultura de precisão, da mesma forma é compreensível as diferenças a serem aplicadas em cada uma das técnicas.

Palavras-chave: Fertilidade do solo; Agricultura de precisão; Mapas de aplicação.

Abstract

Precision agriculture is an available option for cost reduction in coffee cultivation, increasing the efficiency of fertilization, increasing profitability. In this sense, the objective of this unique work was to evaluate the distribution and chemical attributes of the soil, the production of fertilizer maps in the coffee crop, in addition to soil evaluation, the evaluation of spatial crop production and the application between fertility and the production application. The 4 years of prediction experiment at Fazenda Bela Vista, with 4 years of age experiment of Coffee Arabica 2.4, Mundo Novo 376 variety, with 3, planted in an age space of 3.5 x 1 m, totaling 2,857 plants /there is. For that, a sampling grid of 35 m x 35 m was used, totaling 24 sampling points, where 24 generated soil samples were collected, under the georeferenced canopy projection, for composite fertility analysis. The organization of the dependence of pH, M.O, Ca, Mg, V, P, K and C and, as super Simple Phosphate, Potassium Chloride, Urea and Limestone, which were presented through semivariogram. The spatial use of Kriging allowed the elaboration of maps, allowing to observe the variability and carry out the management in a localized and precise way. It could be seen that the difference in chemical attributes in the common and conventional techniques of precision agriculture, in the same way is each of the differences to be applied.

Keywords: Soil fertility; Precision agriculture; Application maps.

Resumen

La agricultura de precisión es una de las opciones disponibles para reducir costos en el cultivo del café, mejorando la eficiencia de la fertilización y aumentando la productividad. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue evaluar la distribución espacial de los atributos químicos del suelo y la generación de mapas de aplicación de fertilizantes y enmiendas del suelo en diferentes dosis en el cultivo del café, además de estimar la producción y la correlación entre la fecundidad y la producción. El experimento fue realizado en la Fazenda Bela Vista, en Três Corações, sur de Minas Gerais, en un área de 2,4 ha de Café Arábica, variedad Mundo Novo 376/4, 4 años, sembrado a distancia de 3,5 x 1 m, totalizando 2.857 plantas/ha. Para ello, se generó una grilla de muestreo de 35 m x 35 m, totalizando 24 puntos de muestreo, donde se recolectaron 24 muestras compuestas georreferenciadas de suelo, bajo la proyección de la copa del cafeto, para análisis de fertilidad. Se identificó y describió la organización de la dependencia espacial de pH, M.O, Ca, Mg, V%, P, K y CTC, así como las recomendaciones de Fosfato Súper Simple, Cloruro de Potasio, Urea y Caliza, las cuales se ajustaron mediante de semivariograma. El uso de Kriging posibilitó la elaboración de mapas, permitiendo observar la variabilidad espacial y realizar la gestión de forma localizada y precisa. Se puede apreciar que la diferencia de atributos químicos en las recomendaciones de agricultura convencional y de precisión, de igual manera, son comprensibles las diferencias a aplicar en cada una de las técnicas.

Palabras clave: Fertilidad del suelo; Agricultura de precisión; Mapas de aplicaciones.

1. Introdução

A evolução do Brasil como potência agrícola é um dos acontecimentos mais relevantes do mundo contemporâneo. Desde a década de 1960 o Brasil se tornou grande exportador de alimentos, liderando na exportação de vários de produtos (Klein & Luna, 2020). Entre janeiro de 2019 e março de 2020 as parcelas das importações foram: soja 35%, carnes 19%, florestais 13%, açúcar 7% e o café 6% (Nascimento Costa, 2020).

Os efeitos da cafeicultura na economia brasileira se mostraram relevante na balança comercial, diversas razões definiram a trajetória da economia brasileira, sendo que a produção e exportação do café tornou-se fundamental na colaboração do desenvolvimento social no Brasil (Roth, 2019).

Dentro do agronegócio, Roth (2019), explica que as exportações brasileiras de café tiveram grande importância chegando a representar mais de 80% da arrecadação. Atualmente a cafeicultura do país representa em média nas exportações 2,5%, no entanto, continua sendo o maior produtor e o segundo maior consumidor mundial. A agroindústria cafeeira continua com projeções de expansão, favorecida pela fartura de matéria prima proveniente da produção interna.

No cenário mundial, a participação da cafeicultura brasileira representa em média 29% das exportações. A maior parte delas é do tipo commodity e são negociadas a base de troca (Boaventura et al., 2018).

De maneira regional, a cafeicultura representa uma grande influência econômica nos municípios ligados a esta atividade como fonte de renda, dessa forma o agronegócio do café é a razão do desenvolvimento de diversas regiões (Vilela & Penedo, 2020).

O mercado financeiro do café é atrelado a muitas especulações que gera a flutuações de preços, essas variações têm

elevado o custo de produção causando dívidas para muitos produtores, contribuindo para a redução do lucro que vem ocorrendo pouco a pouco (Da Silva et al., 2019).

Diante do exposto, todas as tecnologias que possam contribuir para a redução dos custos de produção neste setor, devem ser adotadas para a maximização dos lucros frente as grandes variações de preços que impactam o custo de produção.

Neste sentido, segundo Ferraz et al., (2010), a agricultura de precisão é uma das opções disponíveis para redução de custo no cultivo do café. Dentro da cafeicultura a agricultura de precisão, designada cafeicultura de precisão, é juntar técnicas e tecnologia que auxiliam o cafeicultor manejando sua lavoura com a variabilidade espacial dos atributos físico-químicos do solo e planta, melhorando a eficiência das adubações e aumento da produtividade.

Embora a agricultura de precisão seja uma ótima opção para o manejo mais adequado e correto dos atributos físico-químicos do solo e da planta, boa parcela dos cafeicultores persiste no sistema de manejo convencional e são resistentes à implementação da cafeicultura de precisão, seja pela falta de informação técnica confiável que comprove os benefícios desta técnica, ou por questões culturais onde o produtor insiste em manejos tradicionalmente aplicados em seu meio familiar. Por essa razão é necessário a concretização de pesquisas que supram as deficiências de informações comparando os dois sistemas produtivos (Carvalho et al., 2017).

Portanto, objetivou-se neste trabalho, avaliar a distribuição espacial dos atributos químicos do solo e a geração de mapas de aplicação de fertilizantes e corretivos do solo a taxas variadas na cultura do café, além da estimativa da produção da cultura.

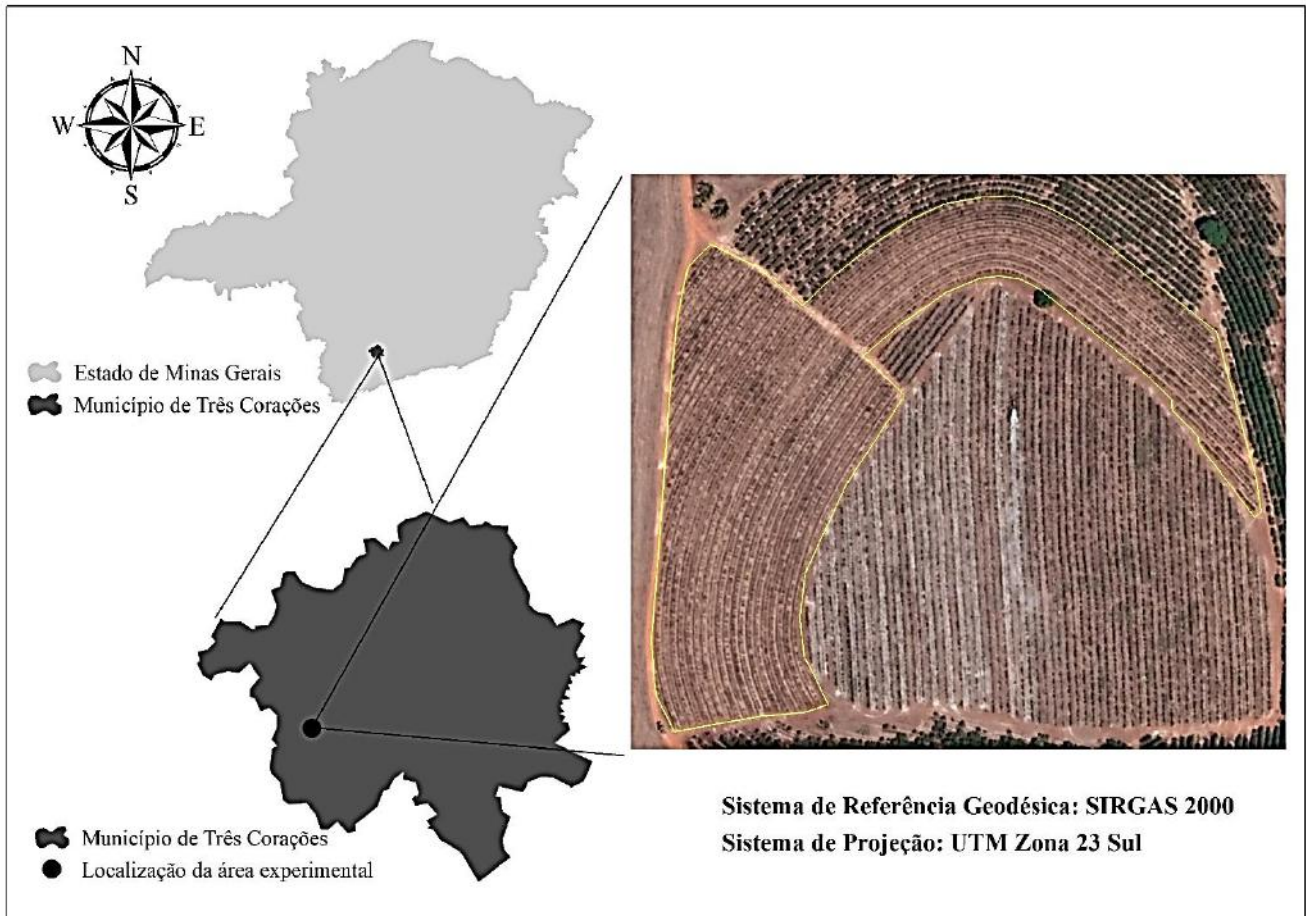
2. Metodologia

Conforme Pereira et. al., (2018), o trabalho consistiu em uma pesquisa de campo onde foram realizadas amostragens de solo, para a caracterização química e amostragem da produção da cultura. Posteriormente, os dados foram trabalhados gerando as informações disponibilizadas no estudo.

2.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido na Fazenda Bela Vista, no município de Três Corações, Sul de Minas Gerais em uma área de 2,4 ha de Café Arábica, variedade Mundo Novo 376/4, com 4 anos de idade, plantada no espaçamento de 3,5 m entre linha e de 1 m entre plantas, com um total de 2.857 plantas/ha. A área localiza-se entre as coordenadas geográficas 21°43' 39,7"S e 45°18' 21"W, com altitude média de 906 m (Figura1).

Figura 1: Localização a área de estudo, no Estado de Minas Gerais, no município de Três Corações e Fazenda Boa Vista.



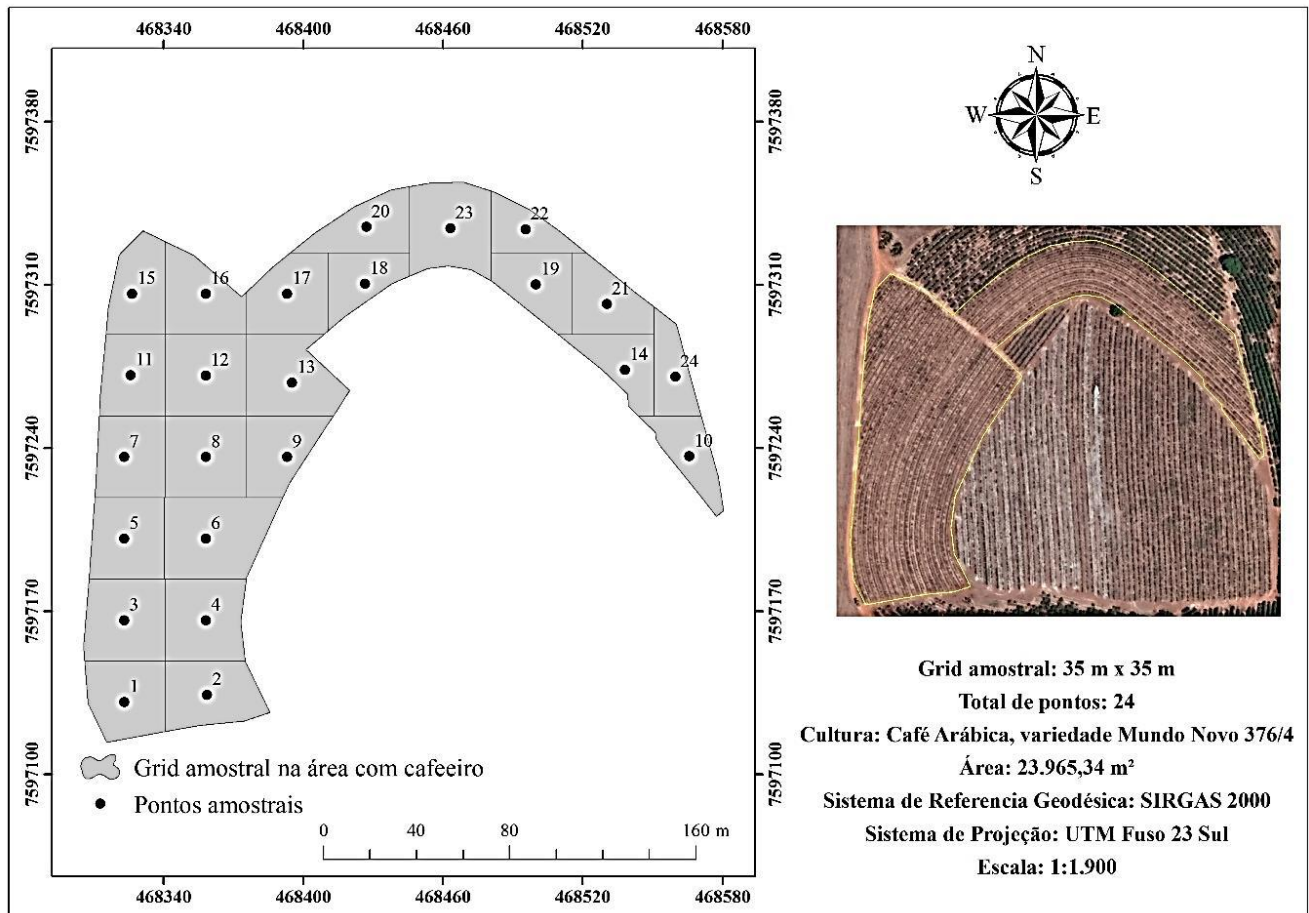
Fonte: Autores (2020).

Pela análise da Figura 1, evidencia-se a localização privilegiada da área em estudo, que está inserida na região Sul de Minas Gerais, onde destaca-se a produção cafeeira, corroborando com a importância do desenvolvimento deste estudo.

2.2 Delineamento do grid amostral para caracterização dos atributos químicos do solo e da produção da cultura do café

Foi gerado um grid amostral de 35 m x 35 m totalizando 24 pontos amostrais, onde foram coletadas amostras de solo deformada., sob a projeção da copa do cafeeiro (Figura 2). A ferramenta utilizada na coleta foi uma furadeira com broca adequada para este serviço. Para tanto, em cada ponto, foram coletadas amostras de solo composta na profundidade de 0 a 20 cm. Cada amostra composta foi representada por 4 amostras simples retiradas em um raio de 5 m e uma amostra do ponto central. Também foi coletada uma amostra composta por 6 amostras simples retiradas por meio de um caminhamento em zig-zag para caracterizar a amostragem convencional que será comparada aos mapas de aplicação a taxas variadas. A coleta das amostras de solo foram realizadas no mês de julho de 2021. Na caracterização química do solo, foram determinados a acidez ativa (pH em água), os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis e os teores de fósforo (P) e potássio (K) disponíveis. Com base nos resultados das análises químicas, foram calculadas a soma de bases (SB), saturação de bases (V%) e a capacidade de troca catiônica (CTC efetiva). Os extratores utilizados para P e K - mehlich 1. Para Ca e Mg - KCl 1mol/L, H + Al – SMP.

Figura 2: Área experimental com a visualização do grid amostral de 35 m x 35 m com os pontos onde foram realizadas as coletas de amostras de solo e quantificação da produção da cultura.



Fonte: Autores (2020).

Na Figura 2, fica claro como foi realizada a distribuição dos pontos onde foram realizadas as coletas de solo e produção das plantas.

Em cada ponto do grid amostral, foram coletadas as produções (litros/planta) de 4 plantas mais próximas ao ponto, para que seja conhecida a produção da cultura e assim verificar a correlação entre os atributos químicos do solo.

Os pontos do grid amostral foram localizados com a utilização de um aplicativo GNSS desenvolvido no Sistema Android conhecido como “*Fields Área Measure PRO*”. Neste aplicativo foram inseridas às coordenadas dos pontos amostrais no formato *shape file*, possibilitando a localização em campo dos respectivos pontos amostrais.

Os atributos químicos do solo e a produção da cultura do café foram analisados por meio da análise estatística descritiva: variância (S^2), Desvio Padrão (σ), Mediana (Md), Média Aritmética (\bar{X}), Coeficiente de Variação (CV), Assimetria e Análise Geoestatística. A dependência espacial foi analisada por meio de ajustes de semivariogramas, com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca.

2.3 Análise Geoestatística e da Dependência Espacial

Foram ajustados os modelos teóricos de semivariogramas Esférico, Exponencial e Gaussiano, após avaliação do melhor ajuste, foi realizado a interpolação por Krigagem Ordinária, gerando-se a espacialização dos atributos do solo. Todos os processamentos foram realizados no software QGIS Desktop 3.16.5 com auxílio do Plugin Smart Map.

Os modelos teóricos de semivariogramas isotrópicos foram estimados por Burrough e McDonnell (1998).

Modelo esférico:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & , h = 0 \\ C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] = C_0 + C_1 [Sph(h)] & 0 < h \leq a \\ C_0 + C_1 & , h > a \end{cases}$$

Modelo exponencial

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & , h = 0 \\ C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] = C_0 + C_1 [Exp(h)] & , h \neq 0 \end{cases}$$

Modelo gaussiano:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & , h = 0 \\ C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] = C_0 + C_1 [Gau(h)] & , h \neq 0 \end{cases}$$

em que C_0 é o efeito pepita, $C_0 + C$ é o patamar, a é o alcance e h é a distância.

Para análise e escolha do melhor método e modelo, pode-se considerar a razão entre a variância estrutural e o patamar, expressa em porcentagem, que permite classificar o grau de dependência espacial. Segundo Robertson (1998), é considerada fraca se essa razão for $\leq 25\%$, moderada quando a razão estiver entre 25% e 75% , e forte se a razão for $> 75\%$. O grau de dependência é dado por:

$$GD = \left(\frac{C_1}{C_1 + C_0} \right) \times 100$$

Segundo Batista, (2006) após os dados serem modelados pelo semivariograma teórico escolhido e serem krigados, estimam-se os valores dos pontos da amostra previamente separada, comparando-se os valores observados da amostra pré-selecionada com os valores estimados pelo modelo.

Segundo Batista, 2006, normalmente, utiliza-se o desvio padrão do erro (DPE).

Para o cálculo do DPE, Junqueira Júnior et al. (2008) apresenta a equação:

$$EMR = \frac{1}{N} \left\{ \sum_{i=1}^N \frac{((Z(x_i) - Z^*(x_i)))^2}{\sigma(x_i)} \right\}$$

em que N é o número de dados da validação; $z(x_i)$ é o valor observado no ponto i ; $z^*(x_i)$ é o valor estimado para o ponto i e $\sigma(x_i)$ σ é o desvio padrão da krigagem. Considerando-se um desempenho ideal, quando o desvio padrão do erro (DPE) seja o mais próximo de 1.

2.4 Recomendação dos corretivos do solo e de adubação para a cultura do café

Para todos os cálculos referentes à recomendação de corretivos e fertilizantes do solo, foi utilizada como referência a publicação de Alvarez et al., (1999), Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais intitulada: Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação.

3. Resultados e Discussão

3.1 Estatística descritiva

A estatística descritiva dos dados referentes a análise de solo proposta pela agricultura de precisão está relatada na Tabela 1.

Os índices mínimo e máximo das variáveis possibilitam compreender a variação de valores encontrados dentro da área, no entanto esses dados precisam passar por ferramentas de estatística levando em consideração as relações espaciais, nesse caso utilizar a geoestatística. O valor mínimo encontrado para fósforo, potássio, cálcio, magnésio e produtividade foram de 2,5 mg.dm⁻³, 78 mg.dm⁻³, 2,6 mg.dm⁻³, 1 mg.dm⁻³, 0,02 mg.dm⁻³ respectivamente. Já os valores máximos das respectivas variáveis foram de 7,4 mg.dm⁻³, 276 mg.dm⁻³, 5,4 mg.dm⁻³, 2,6 mg.dm⁻³, 20 mg.dm⁻³.

Os valores médios indicam para ao teor de fósforo um classificação baixa deste elemento no solo, indicando a necessidade de elevação deste nutriente. Com relação ao potássio, diferentemente do fósforo, o teor médio de potássio foi classificado como bom. A variância elevada para este nutriente também foi observada por Gabriel et al. (2011). O teor médio de cálcio de 4,2 cmolc.dm⁻³ e magnésio 1,6 cmolc.dm⁻³, indica uma classificação muito bom (> 4,0 cmolc.dm⁻³ para o cálcio e > 1,50 cmolc.dm⁻³ para o magnésio). Com relação à produtividade observa-se uma produtividade média da ordem de 5,6 L.planta⁻¹, bem abaixo do almejado para esta área (20 L.planta⁻¹).

Os resultados de coeficiente da variação variando de baixo a moderado, exceto para produtividade, conforme classificação apontada por Gomes & Garcia (2002). Os autores evidenciaram que, grande amplitude do coeficiente de variação são os indicadores da presença de heterogeneidade dos dados.

Tabela 1: Estatística descritiva para as variáveis: fósforo (mg.dm⁻³), potássio (mg.dm⁻³), cálcio (cmolc.dm⁻³), magnésio (cmolc.dm⁻³) e da produtividade do cafeeiro (L.planta⁻¹).

Variáveis	Mín	Máx	\bar{X}	Md	DP	Var	CV	k
Fósforo	2,50	7,4	3,7	3,1	1,4	1,9	37%	1,75
Potássio	78,00	276,0	186,0	209,0	50,7	2569,5	27%	-0,61
Cálcio	2,60	5,4	4,2	4,0	0,6	0,4	15%	0,47
Magnésio	1,00	2,6	1,6	1,8	0,4	0,1	23%	1,21
Produtividade	0,02	20,0	5,6	2,0	5,8	34,1	105%	0,62

Mín – valor mínimo da variável; Máx – Valor máximo da variável; Md – Mediana; \bar{X} – Média; DP - Desvio Padrão; Var – Variância; CV - Coeficiente de variação; k – Coeficiente de Curtose. Fonte: Autores (2021).

3.2 Análise Geoestatística

Analisando-se a Tabela 2, é possível verificar que para todas as variáveis analisadas, os semivariogramas teóricos ajustados apresentaram grau de dependência espacial variando de fraco ($\leq 25\%$) para o modelo Gaussiano nas variáveis cálcio e magnésio à forte (> 75%), para as variáveis produtividade, pH, potássio e fosforo, conforme proposto por Silva et al., (2010). O modelo exponencial foi o que apresentou os melhores resultados para as variáveis, fósforo, potássio, magnésio, matéria

orgânica e produtividade, apresentando maiores alcances (a) e desvio padrão do erro (DPE). Para as demais variáveis, cálcio e pH, o modelo esférico foi o que apresentou os melhores resultados, maiores alcances e desvio padrão do erro.

O efeito pepita é um critério importante do semivariograma e aponta a variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada, com objetivo de facilitar a comparação do grau de dependência espacial (Silva et al., 2007). Para as variáveis fósforo, cálcio, magnésio, matéria orgânica, pH e produtividade, o efeito pepita, foi igual a zero ou muito próximo de zero, indicando que os modelos conseguem explicar a variabilidade espacial. Para a variável potássio, o efeito pepita foi de 419,8 indicando que existe uma variação não explicada pelo modelo semivariograma ajustado, que na prática, o grid amostral deveria ter sido menor para esta variável. Valores semelhantes foram encontrados pelo autor Gabriel et al., (2011).

Os valores do alcance de dependência espacial contribuem com dados consideráveis para a programação e avaliação experimental, apontando até que distância os pontos são correlacionados entre si (Silva et al., 2010). Os valores do alcance relativos aos semivariogramas têm uma importância considerável na determinação do limite da dependência espacial, o que pode ser também um indicativo do intervalo entre unidades de mapeamento de solos ou também dos atributos relacionados às plantas. As variáveis que apresentaram os menores alcances foram o magnésio e pH com 68 m e o maior alcance foi de 175 m para a potássio. Para as demais variáveis os valores de alcance variaram entre 71,3 (cálcio) e 142,1 m para o fósforo.

Portanto, para a espacialização das variáveis fósforo, potássio, magnésio, matéria orgânica e produtividade foram utilizados o modelo exponencial. Para as demais variáveis, cálcio e pH, o modelo esférico. Como interpolador geoestatístico foi utilizado a Krigagem Ordinária, tendo como base, foram utilizadas o grau de dependência espacial e o desvio padrão do erro. Autores como de Oliveira, et al., (2018), buscou parâmetros dos modelos teóricos ajustados a semivariância, a krigagem ordinária foi a melhor opção para a distribuição espacial de pH, P, K, Ca e Mg.

Tabela 2: Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis: fósforo ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$), potássio ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$), Cálcio ($\text{cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$), Magnésio ($\text{cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$), Matéria Orgânica ($\text{dag}\cdot\text{kg}^{-1}$), Potencial Hidrogeniônico e produtividade da cultura do cafeeiro ($\text{L}\cdot\text{planta}^{-1}$).

Variáveis	Modelo	C_0	C_1	a (m)	GD (%)	DPE
P	Esférico	0,0	0,2	111,6	100,0	0,010
P	Exponencial	0,0	0,2	142,1	100,0	0,055
P	Gaussiano	0,0	0,2	86,2	99,9	0,009
K	Esférico	846,6	1663,2	230,5	74,8	0,077
K	Exponencial	419,8	1933,4	175,0	84,9	0,079
K	Gaussiano	1224,6	1086,8	214,7	65,4	0,105
Ca	Esférico	0,2	0,3	120,0	71,0	0,647
Ca	Exponencial	0,1	0,1	71,3	65,3	0,469
Ca	Gaussiano	0,2	-0,2	120,0	14,8	0,649
Mg	Esférico	0,1	-0,1	68,0	10,1	0,344
Mg	Exponencial	0,1	-0,1	68,0	20,7	0,357
Mg	Gaussiano	0,1	-0,1	68,0	1,7	1,850
MO	Esférico	0,0	0,0	71,3	100,0	0,279
MO	Exponencial	0,0	0,0	75,0	100,0	0,282
MO	Gaussiano	0,0	0,0	71,3	84,8	0,253
pH	Esférico	0,0	0,1	68,0	100,0	0,513
pH	Exponencial	0,0	0,1	68,0	100,0	0,429
pH	Gaussiano	0,0	0,1	80,9	100,0	0,232
Prod	Esférico	9,4	26,3	112,3	79,2	0,249
Prod	Exponencial	0,0	40,6	91,3	100,0	0,250
Prod	Gaussiano	12,1	16,0	74,9	69,9	0,294

P – Fósforo; K – Potássio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Mo – Matéria Orgânica; pH – Potencial Hidrogeniônico; Prod – Produtividade; C_0 – Efeito Pepita; C_1 - Contribuição; a - alcance; GD – Grau de Dependência Espacial; DEP – Desvio Padrão do Erro; EMR – Erro Médio. Reduzido. Fonte: Autores (2021).

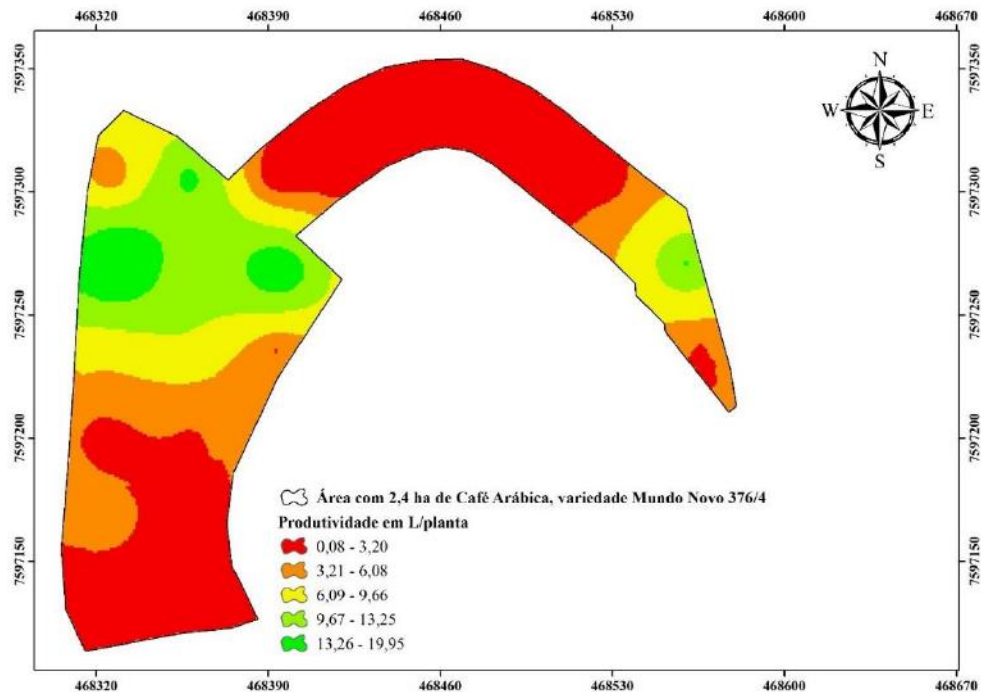
3.3 Análise da distribuição espacial

No mapa de produtividade é possível visualizar altas variabilidades, observa-se que a produtividade ficou entre 0,08 e 19,95 $\text{L}\cdot\text{planta}^{-1}$. Os dados de produtividade são de grande importância para identificar áreas que necessitam de correções relacionado ao manejo da lavoura. Partindo do princípio de que a área é tratada como homogênea no sistema convencional, todas as adubações, calagem e gessagem são realizadas igualmente, provocando dosagens excessivas ou deficiências de alguns nutrientes ocasionando baixas produções na safra atual. A colheita foi realizada em julho de 2021 (Figura 3).

A confecção de mapas de produtividade obtidos pela metodologia utilizada neste trabalho, não somente contribuem com os mapas de fertilidade, mas também podem ser utilizados no gerenciamento de colheita manual ou mecanizada.

O local mais produtivo da área poderá ser usado como base para indicar parâmetros ideais de fertilidade nas próximas safras, desde que não exista outra interferência particular relacionada nessa zona. Os níveis nutricionais ideais para uma produtividade média de 16 $\text{L}\cdot\text{planta}^{-1}$ neste experimento aproximaram-se nesses parâmetros: pH = 5,6 – 5,9; M.O. = 2,21 – 2,5 $\text{dag}\cdot\text{kg}^{-1}$; CTC = 8,63 – 10,31%; V = 55 – 61%; Ca = 4,33 – 4,45 $\text{cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$; Mg = 1,41 – 1,58 $\text{cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$ (Figura 3). A lei do mínimo pressupõe que o crescimento da planta é dependente e pode ser limitado pelo nutriente que estiver em menor quantidade disponível, limitando a produtividade da planta.

Figura 3: Mapa de produtividade.

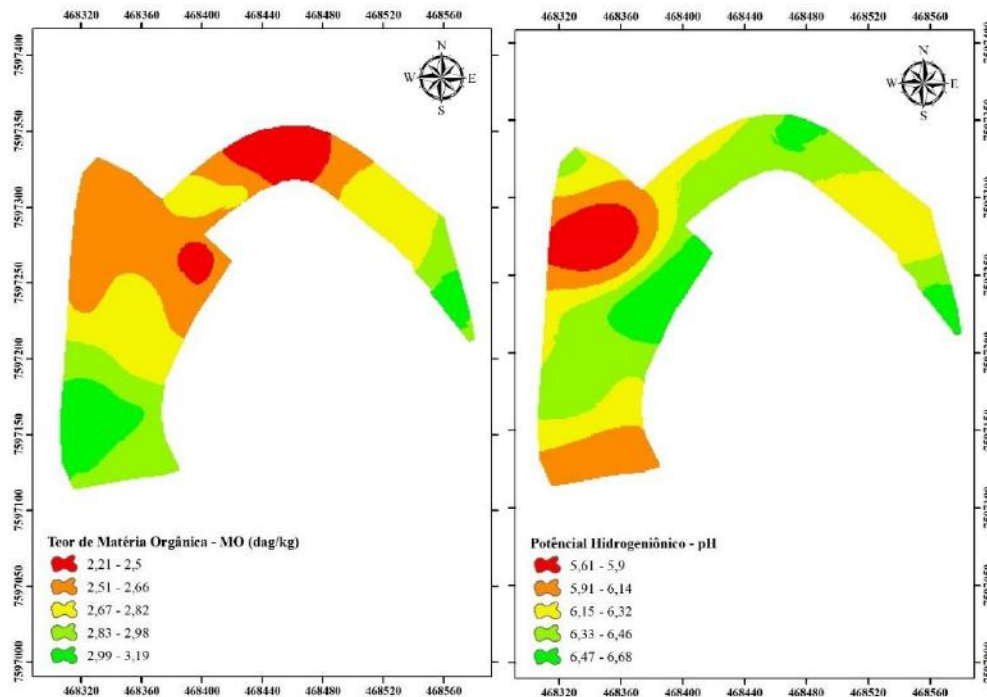


Fonte: Autores (2021).

Segundo a Classificação de Solos do Estado de Minas Gerais proposta por Alvarez *et al.* (1999), o cafeeiro se desenvolve bem em solos com pH entre 5,5 e 6,5. Elevados índices de acidez pode proporcionar limitação de nutrientes para o cafeeiro, sinalizando baixos teores de cálcio e magnésio e toxidez por alumínio. Neste experimento o pH se encontra em níveis “bom” a “alto”, entre 5,6 e 6,6 (Figura 4).

A matéria orgânica é vista como o principal indicador para avaliação da qualidade do solo, existe uma interação direta com os efeitos na retenção de água, densidade do solo, capacidade de troca catiônica (CTC) e pH. Deste modo a matéria orgânica é também uma fonte de fundamental de nutrientes, disponibilizando para as plantas elementos como N, P e S (Cunha *et al.*, 2015). De acordo com a Classificação de Solos do Estado de Minas Gerais, teores de matéria orgânica ideal situa-se entre 2 e 4 dag.kg⁻¹, neste estudo os níveis variaram de 2,21 e 3,19 dag.kg⁻¹, classificado como “bom” (Figura 4).

Figura 4: Teor de Matéria Orgânica e nível de potencial hidrogeniônico.

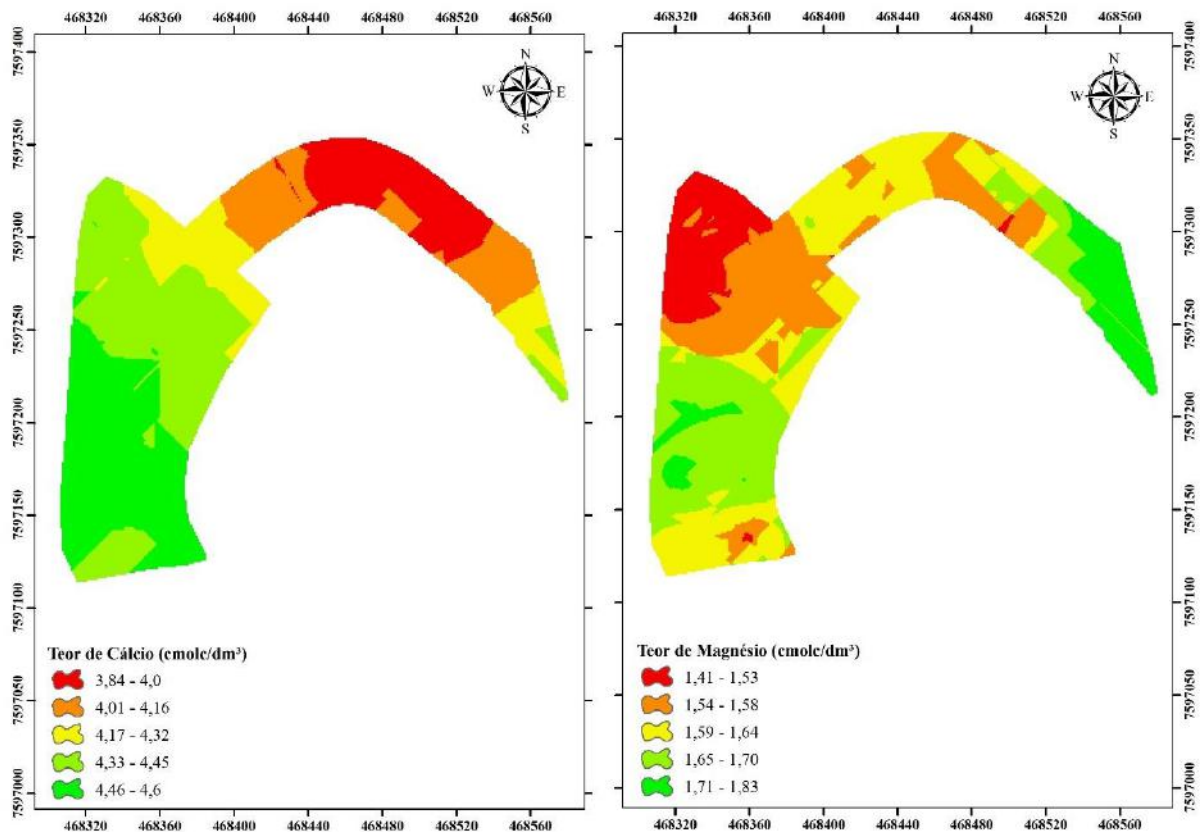


Fonte: Autores (2021).

Com relação aos níveis de Ca no solo, os dados indicam que a maior parte do talhão está classificado como “muito bom” ($> 4,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) segundo a proposta de Alvarez et al., (1999). Vieira (2020), relata que lavouras de café arábica são exigentes em cálcio no solo, níveis acima de $5 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ já é considerado ideal para o desenvolvimento da planta. No entanto quantidades elevadas podem apresentar correlações com outros macros e micronutrientes, elevando também o custo de produção (Figura 5).

O Magnésio favorece uma sequência de processos vitais na planta como a fotossíntese, absorção iônica, regulação do pH celular e respiração (Da Fonseca et al., 2017). Os teores de magnésio do experimento estão em parâmetros de 1,41 a 1,83 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, considerado níveis “muito bom” ($> 1,5 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$), comprovando que o produtor aplica todos os anos calcário magnesiano na lavoura. (Figura 5).

Figura 5: Teores de Cálcio e Magnésio.

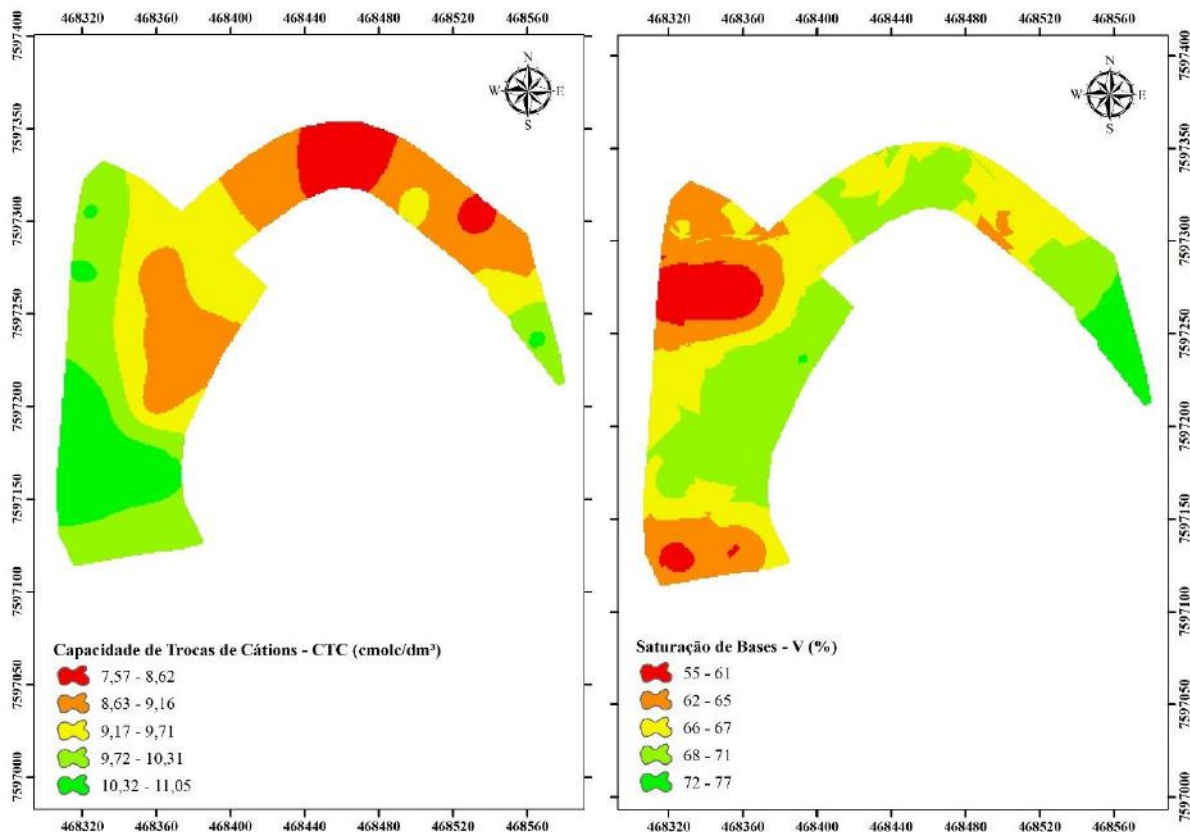


Fonte: Autores (2021).

A capacidade de troca catiônica (CTC) é um conceito fundamental para o entendimento da fertilidade do solo, interferindo diretamente na disponibilidade de nutrientes, estabilidade do solo, reação do solo a fertilizantes e corretivos, matéria orgânica, textura e pH. Neste experimento a CTC está entre 7,57 e 11,05 cmol_c/dm³, sendo classificada como “médio” e “muito bom”. Esses indicadores revelam que este solo possui boa capacidade de reter nutrientes (Figura 6).

Ao analisar a saturação por bases (V%), pode-se observar que está satisfatório em boa parte do talhão, tendo como valor mínimo 55% e máximo 77%, para o café a saturação de bases mais aceita é de 60 – 70%. A V% é um indicativo das condições gerais da fertilidade do solo, visto que é a somatória das bases Ca, Mg e K, quanto maior a V% mais bases presentes no solo. (Figura 6).

Figura 6: CTC e Saturação de Bases.

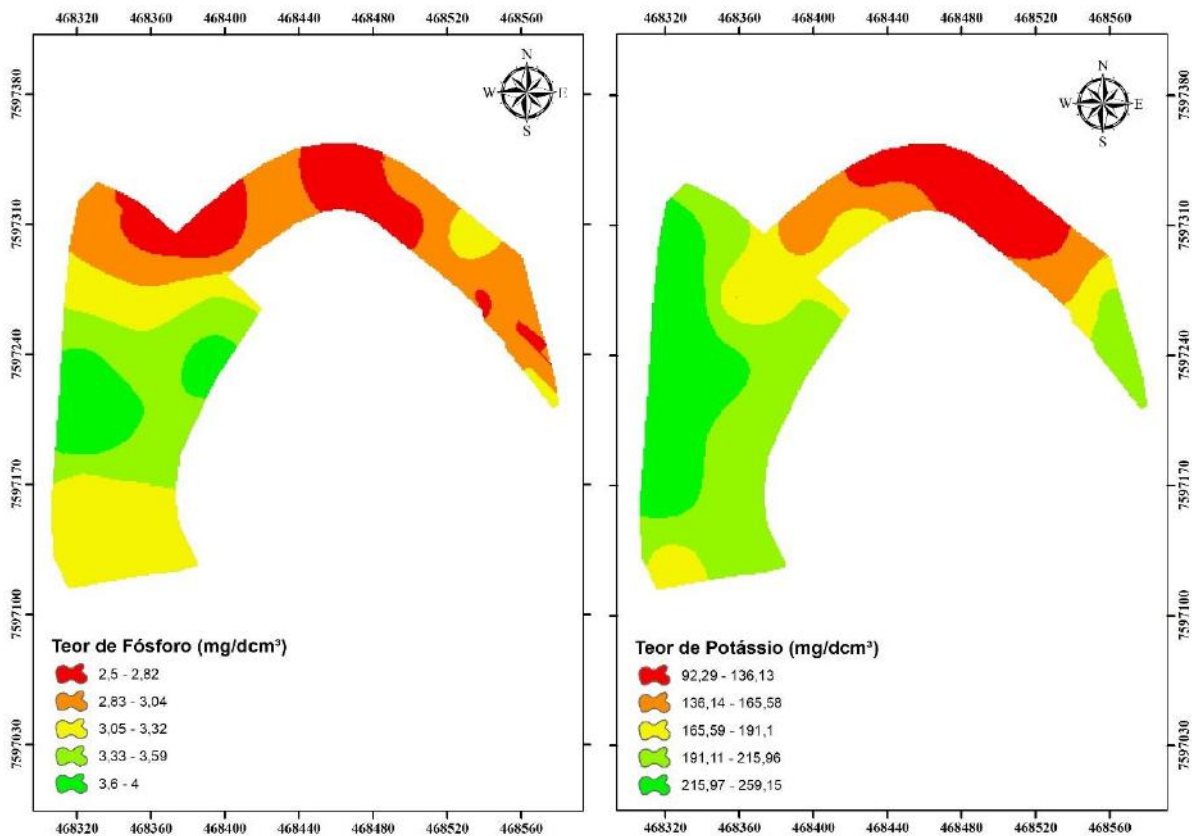


Fonte: Autores (2021).

Os teores de K e P variaram de 92,29 a 259,15 mg.dm⁻³ e 2,5 a 4 mg.dm⁻³, sendo o fósforo classificado como “muito baixo” (< 6 mg.dm⁻³) na totalidade do talhão. A falta de fósforo no cafeeiro afeta a respiração do sistema radicular, reduzindo o crescimento de raízes e a absorção de nutrientes. Neste talhão o nível de fósforo ideal deveria ser acima de 8 mg/dm⁻³.

Níveis de K está classificado como “bom” (71 a 120 mg.dm⁻³) e “muito bom” na maior parte do talhão (>120 mg.dm⁻³). Elevados teores de K é prejudicial as plantas devido a concorrência com o Mg nos sítios de absorção da raiz, sendo fundamental manter a proporção Mg:K em média 3:1.

Figura 7: Teor de Fósforo e Potássio



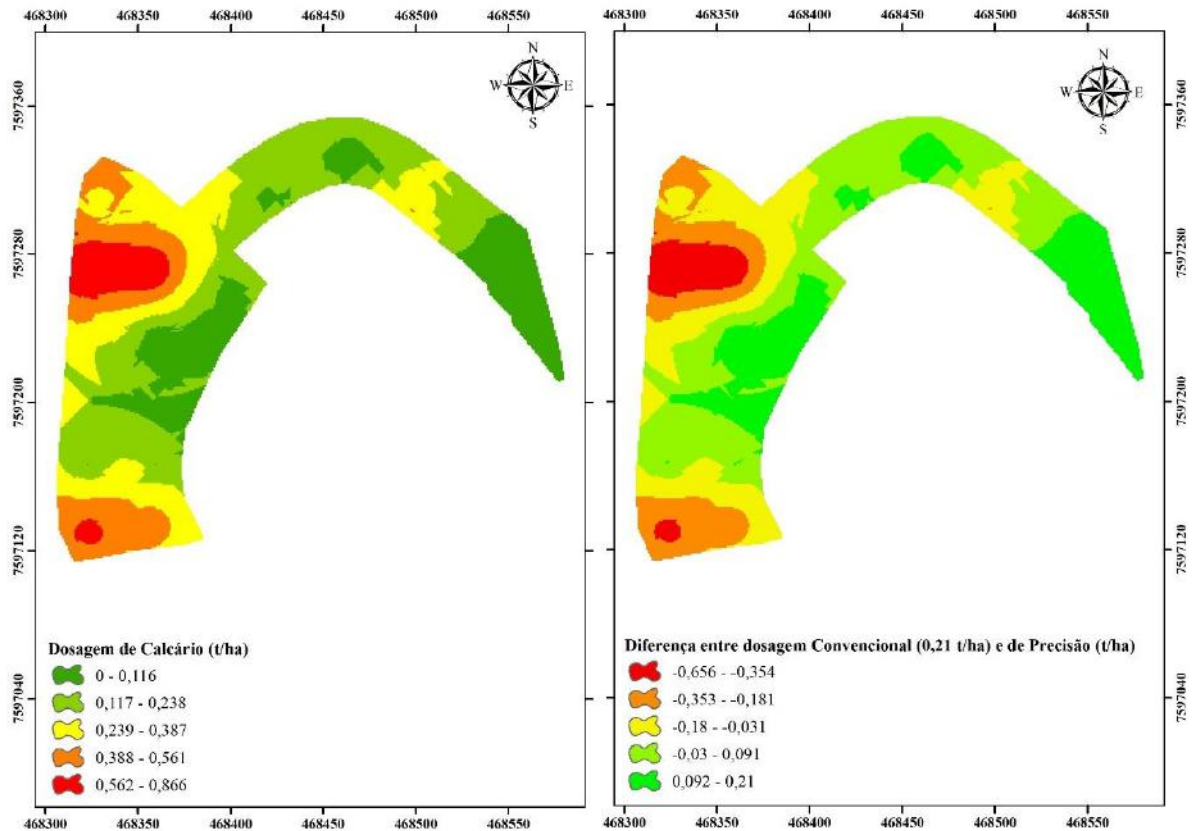
Fonte: Autores (2021).

As recomendações de adubação foram definidas de acordo com a expectativa de produtividade da próxima safra, em consenso com a produtividade da safra atual. Na recomendação de calagem, optou-se no cálculo de saturação por bases (V%), aplicado em área total e sem incorporação. Importante destacar que a aplicação de fertilizantes e corretivos é um fator importante para o estabelecimento da cultura, possuindo relação direta com a produtividade (Ribeiro et al., 2021).

Na Figura 8, o mapa do lado direito demonstra a comparação com a aplicação convencional e de precisão, nas áreas cujas cores variam de amarelo ao vermelho, indicam as áreas que a aplicação não corrigirá o solo de forma ideal, causando um déficit de cálcio na lavoura, com déficits entre 0,18 e 0,656 ton.ha⁻¹.

O mapa do lado esquerdo está representando as quantidades de calcário que foram requeridos nos sistemas de agricultura de precisão. Observando-se os mapas, a necessidade de calcário se encontra em valores consideravelmente baixos, isso deve-se aos elevados níveis de saturação de bases (V%) encontrado na lavoura. Na recomendação convencional seria aplicado 210 kg.ha⁻¹ de calcário, na agricultura de precisão alguns locais não haverá necessidade de aplicação e outros pontos da lavoura necessitaria de até 866 kg.ha⁻¹do corretivo.

Figura 8: Recomendação de Calcário segundo Agricultura de Precisão e Agricultura Convencional.



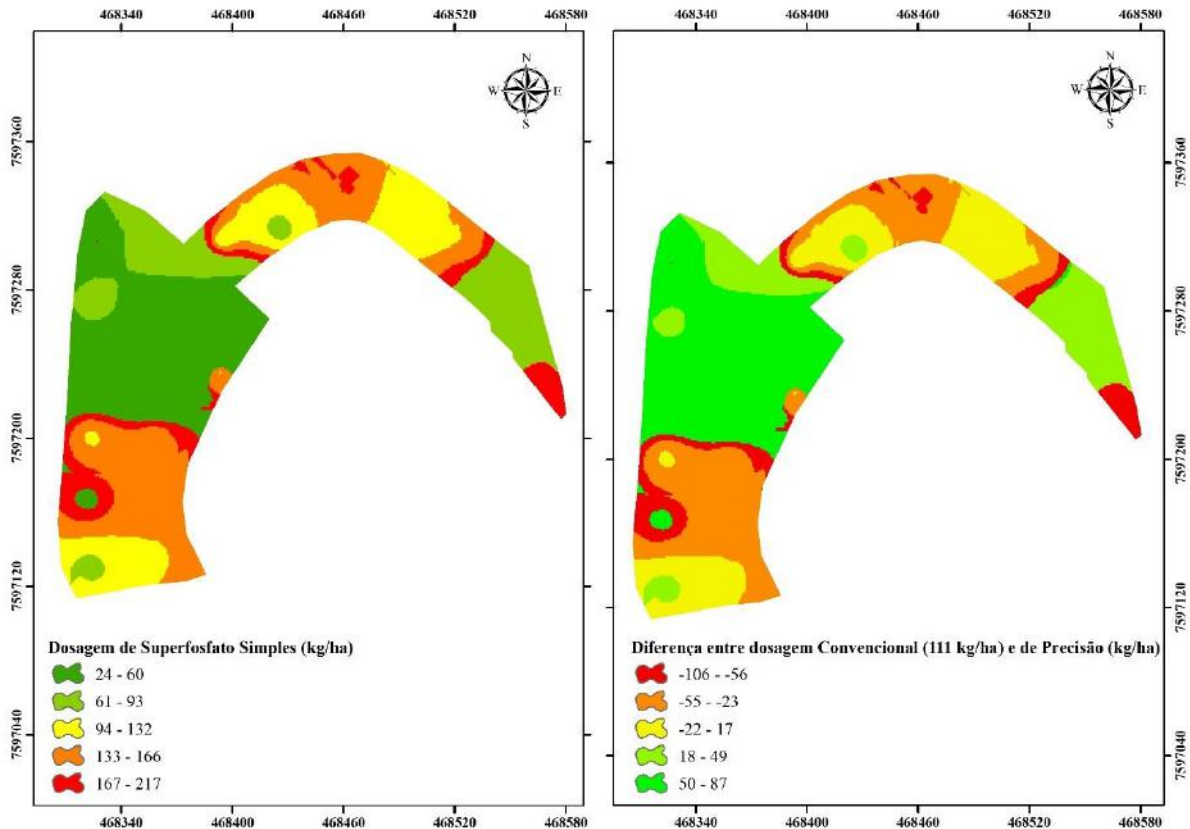
Fonte: Autores (2021).

O mapa do lado esquerdo da Figura 9, representa a recomendação de superfosfato simples na agricultura de precisão. A simulação na aplicação de precisão resultou na utilização total de 660 kg de superfosfato simples, sendo alguns pontos necessitando de 24 kg até 217 kg.ha⁻¹ do adubo.

O mapa do lado direito (Figura 9), representa a comparação dos dois sistemas (convencional e precisão), a necessidade de superfosfato simples na recomendação convencional será de 111 kg.ha⁻¹, sendo o gasto total no talhão 266 kg. No mapa observa-se que alguns pontos a aplicação do adubo ultrapassaram até 87 kg.ha⁻¹ acima do necessário, e outros pontos faltando até 106 kg.ha⁻¹.

Houve diferença de 248% na quantidade total gasto de adubo entre os dois sistemas, convencional – 266 kg, precisão – 660 kg. Esses dados demonstram que a agricultura de precisão não reduz quantidades, mas adiciona o necessário no local certo. Os baixos teores de fósforo contribuíram bastante para ocasionar essa significativa diferença.

Figura 9: Recomendação de Superfosfato Simples segundo Agricultura de Precisão e Agricultura Convencional.



Fonte: Autores (2021).

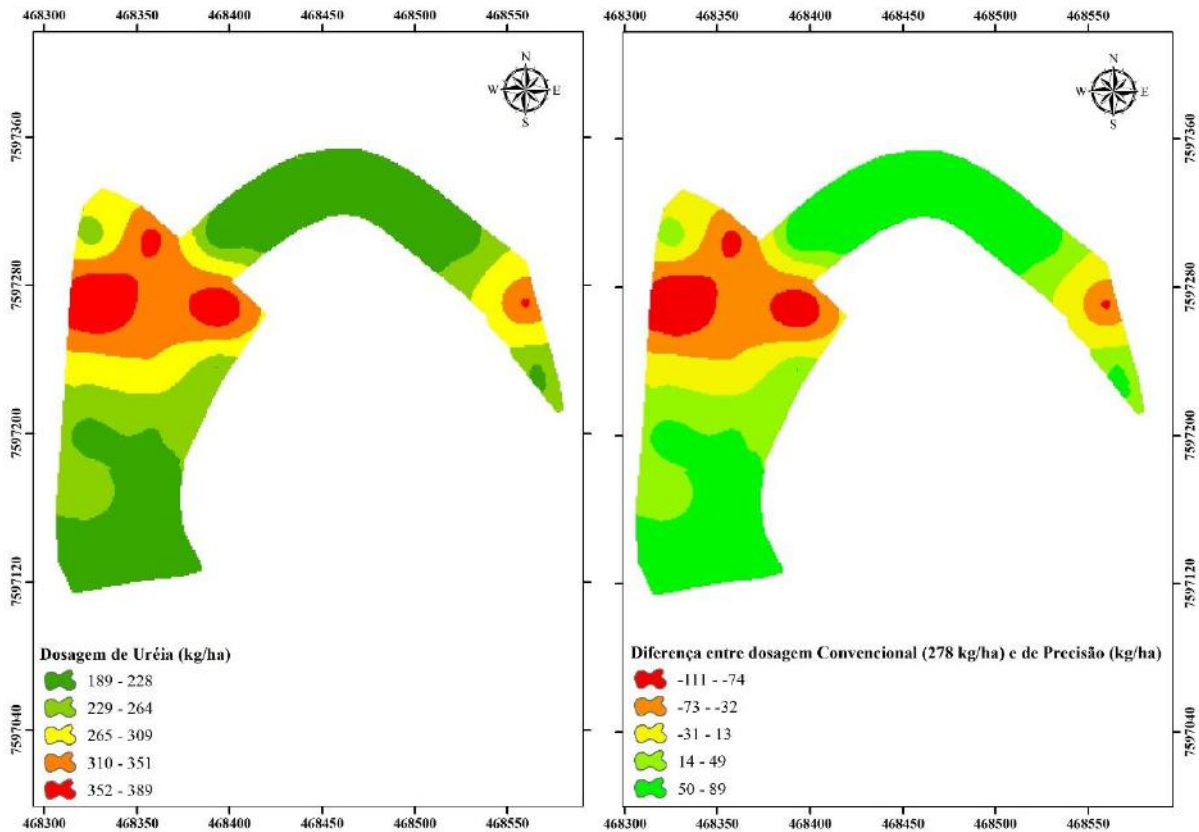
Na Figura 10, as doses de Nitrogênio foram ajustadas a partir da produtividade esperada para o próximo ano, correlacionado com a produtividade da safra atual.

No mapa do lado esquerdo (agricultura de precisão), as recomendações geradas situaram-se entre 189 kg.ha⁻¹ a 389 kg.ha⁻¹ de ureia, totalizando um gasto de 623 kg do adubo.

O mapa do lado direito, comparando o sistema convencional com a de precisão, algumas áreas serão aplicadas ureia 89 kg.ha⁻¹ além do necessário. Outras partes da lavoura não suprirão de forma correta, chegando a faltar até 111 kg/ha. A média recomendada foi de 278 kg.ha⁻¹, totalizando um gasto de 666 kg do adubo.

Observa-se no mapa, áreas menos produtivas exigirá menores quantidades de N para repor na próxima safra, pois pouco se alterou as reservas do nutriente no solo. Em contrapartida, áreas mais produtivas necessitam de quantidades maiores de N, devido à grande extração para a produção dos frutos, diminuindo as reservas da próxima safra.

Figura 10: Recomendação de Ureia segundo Agricultura de Precisão e Agricultura Convencional.

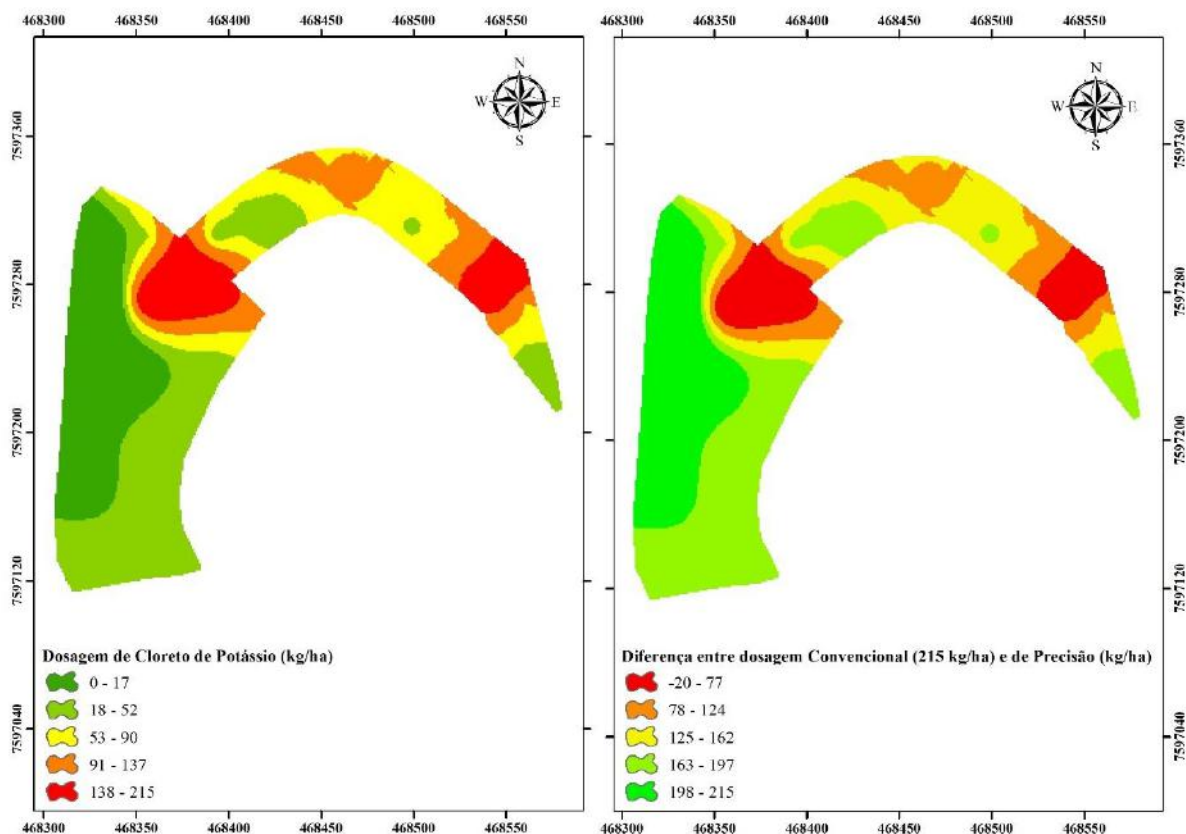


Fonte: Autores (2021).

A recomendação de cloreto de potássio na agricultura de precisão em grande parte da área não será necessário aplicação, devido ao elevado teor do nutriente no solo. A dosagem varia de 0 a 215 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, com o gasto total na área de 139 kg de cloreto de potássio. (Figura 11).

Comparando os dois sistemas (mapa lado direito), a dosagem convencional recomendada será de 215 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, totalizando um gasto de 515 kg de cloreto de potássio. A recomendação convencional ultrapassou em 370% na quantidade de adubo aplicado na área, evidenciando o problema de se usar os valores médios para adubação do solo (Figura 11).

Figura 11: Recomendação de Cloreto de Potássio segundo Agricultura de Precisão e Agricultura Convencional.



Fonte: Autores (2021).

3.4 Custo

As diferenças de quantitativas dos fertilizantes aplicados nos sistemas de agricultura de precisão e convencional, refletem nos custos de aquisição dos produtos, os quais são apresentados pela Tabela 3. A adubação convencional apresentou acréscimos de custo na ordem de R\$ 562,47/ha quando comparada com a adubação de precisão, esta diferença ocorreu devido as diferentes quantidades de adubos gasto nos sistemas.

Tabela 3: Análise de custos com a aquisição dos insumos para aplicação na área de 2,4 hectares.

Insumos	*Custo da tonelada	Quantidade (kg)	
		Agricultura de Precisão	Agricultura Convencional
Ureia	R\$ 5.500,00	623	666
Super Fosfato Simples	R\$ 2.585,00	660	266
Cloreto de Potássio	R\$ 5.670,40	139	515
Custo Total		R\$ 5.920,73	R\$ 7.270,66

Fonte: Adubos Real (2021).

A quantidade de superfosfato simples contribuiu bastante para o aumento do custo, no entanto para a próxima safra, muito provável que locais com níveis baixos de fósforo estarão corrigidos, aumentando a produtividade e diminuindo os custos com os fertilizantes. O cloreto de potássio influenciou bastante no custo da agricultura convencional, devido aos altos níveis de

potássio no solo, dispensando em grande parte da área pela agricultura de precisão a adubação com potássio. Ao longo dos anos as adubações tendem a suprir somente a extração da planta, tornando desnecessário adubações de correções.

Segundo Potter et al., (2014), são inúmeras vantagens da agricultura de precisão: reduz o uso de insumos agrícolas, aumenta a produtividade em razão da otimização dos recursos do solo, gera sustentabilidade da terra a longo prazo, economia de fertilizantes e corretivos agrícolas.

Portanto os mapas são fundamentais no momento da tomada de decisão quando se trabalha com agricultura de precisão, podendo visualizar de forma completa toda a variabilidade da lavoura. As tecnologias da geoestatística complementam as informações correlacionando o sistema de manejo utilizado na propriedade.

4. Conclusão

Foi possível identificar e descrever a organização da dependência espacial do pH, M.O, Ca, Mg, V%, P, K e CTC. Como também as recomendações de Super Fosfato Simples, Cloreto de Potássio, Ureia e Calcário, ajustadas por meio de semivariograma.

O emprego da Krigagem possibilitou a elaboração dos mapas, permitindo observar a variabilidade espacial e realizar o manejo de forma localizada e precisa.

Pôde-se perceber neste trabalho a diferença dos atributos químicos nas recomendações convencional e da agricultura de precisão, da mesma forma é compreensível as diferenças a serem aplicadas em cada uma das técnicas.

Referências

- Alcântara, G. R. (2015). Variabilidade espacial e temporal da produtividade de milho e soja e sua relação com os atributos do solo. 82 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Alvarez, V. V. H.; Novais, R. F.; Barros, N. F.; Cantarutti, R. B.; Lopes, A. S. (1999). Interpretação dos resultados de análises de solos. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V., V. H. (Ed.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª aproximação)*. Viçosa: UFV, 25-36.
- Alves, F. Dutra; Lindner, M. (2020). Agronegócio do café no Sul de Minas Gerais: territorialização, mundialização e contradições. *Revista OKARA: Geografia em debate*, 14(2), 433-451.
- Basso, L. H. et. al., (2019). Agricultura de precisão e agricultura digital. *Teccogs*, 20, jul./dez, 17-36.
- Bauer, L. (2007). Estimação do coeficiente de correlação de Spearman ponderado. 95 f. Dissertação (Mestrado em Epidemiologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Boas, L. G. V. (2020). A disseminação da cafeicultura no Sul de Minas Gerais e no município de Nepomuceno-MG. *Para Onde!?*, 13 (1), 189-213.
- Boaventura, P. S. M. et al., (2018). Cocriação de valor na cadeia do café especial: o movimento da terceira onda do café. *RAE-Revista de Administração de Empresas*, 58(3), 254-266.
- Buranello, R. (2018). Manual do direito do agronegócio. (2º Ed.), *Saraiva Educação SA*, 344 p.
- Burrough, P.A.; McDonnell, R.A. (1998). Principles of Geographical Information Systems, *Oxford University Press*, Nova York, 333 p.
- Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F.; Konopka, A. E. (1994). Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of American Journal*, 58, 1501-1511.
- Carvalho, L. C. C. et al., (2017). Comparação entre amostragem foliar convencional e de precisão para análise de micronutrientes na cafeicultura. *Coffee Science*, Lavras, abr./jun., 12 (2), 272-281.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Acomp. safra brasileira de café, v. 6– Safra 2020, n. 4- Quarto levantamento, Brasília, p. 1-45, dezembro 2020. Disponível em: https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/34932_f1f6ea7816de1bd2f9528cac2d9a19b1. Acesso em: maio 2021.
- Cunha, T. J. F.; Mendes, Salviano, A. M.; Giongo, V. (2015). Matéria orgânica do solo. Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico, *Alice*, Cap. 9, 273-293.
- Da Fonseca, A. S.; Jesus, M. L.; De Souza, L. J. S. (2017). Análise espacial da concentração de cálcio e magnésio no tecido foliar do cafeeiro conilon. *Revista Univap*, 22 (40), 731 p.
- Da Silva, M. G. (2021). Economia do agronegócio no Brasil: participação brasileira na cadeia produtiva da soja entre 2015 e 2020. *Novos Cadernos NAEA*, 24 (1).

- Da Silva, P. R.; Teresa, G.; Júnior, L. A. B. (2019). Gestão da cadeia produtiva primária do café. *Anais do Seminário Científico do UNIFACIG*, 1-10.
- De Camargo, B. G. S.; Castro, N. R. (2017). Produto Interno Bruto do Agronegócio e a crise brasileira. *Revista de Economia e Agronegócio*, 15 (2), 156-162.
- De Oliveira, A. R. et al. (2018). Interpoladores geoestatísticos aplicados na espacialização de atributos químicos de um latossolo vermelho amarelo/geoestatistical interpolation applied in the spatialization of chemical attributes of a red-yellow latosol. *Revista brasileira de engenharia de biosistemas*, 12 (4), 340-348.
- De Oliveira, A. J. et al., (2020). Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão. *Brazilian Journal of Development*, 6 (9), 64140-64149, 2020.
- Dos Santos, L. P. et al., (2016). Agronegócio brasileiro no comércio internacional. *Revista de Ciências Agrárias*, 39 (1), 54-69.
- Esri 2014. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Faria, R. O. et al., (2019). Cafeicultura de precisão: metodologia de rotas de caminhamento otimizadas para amostragem. *X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*.
- Farias, P. R. S. et al., (2003). Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25 (2), 235-241.
- Ferraz, G. A. S. et al., (2010). Cafeicultura de precisão: avaliação dos custos de adubação diferenciada e convencional em lavoura cafeeira. CBPC (36.:2010: Guarapari, ES) – Anais.
- Ferraz, G. A. E. S. et al., (2011). Viabilidade econômica do sistema de adubação diferenciado comparado ao sistema de adubação convencional em lavoura cafeeira: um estudo de caso. *Engenharia Agrícola*, 31 (5), 906-915.
- Figueiredo, V. C. et al., (2019). Mapeamento da fertilidade do solo para lavouras cafeeiras em diferentes densidades amostrais. *X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*.
- Gomes, F.; Garcia, C. H. (2002). Estatística aplicada a experimentos agrônomicos e florestais. Piracicaba: *Ed. FEALQ*, 305 p.
- Grego, C. R.; De Oliveira, R. P.; Vieira, S. R. (2014). Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. Embrapa Territorial-Capítulo em livro científico, *Alice*, Cap5. 74-83.
- Grego, C. R.; Vieira, S. R. (2005). Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 29, (2), 169-177.
- Guedes, T. A. et al., (2005). Estatística descritiva. Projeto de ensino aprender fazendo estatística, 1-49.
- Jacinto, J. L. et al., (2016). Zonas de manejo na cafeicultura de precisão. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola e Ambiental) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 60 p.
- Journel, A. G. & Huijbregts, J. C. H. (1978) - Mining geostatistics. Academic Press, 600p.
- Klein, H. S.; & Luna, F. V. (2019). Alimentando o mundo: o surgimento da moderna economia agrícola no Brasil. Rio de Janeiro: *FGV Editora*; São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 440 p.
- Machado, P. G. (2018). Dificuldades logísticas no transporte da safra de café do Sul de Minas Gerais. Monografia (Monografia em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Ouro Preto, 53 p.
- Maranhão, R. L. A.; & Vieira Filho, J. E. R. (2016). A dinâmica do crescimento das exportações do agronegócio brasileiro. *Texto para Discussão/Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada* - Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, 46 p.
- Mendes, D. F. et al., (2020) Variabilidade espacial e resposta espectral de atributos físicos e substâncias húmicas de um latossolo sob cafeicultura no Cerrado mineiro. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, 71 p.
- Morais, C. (2005). Escalas de medida, estatística descritiva e inferência estatística, 30 p.
- Nascimento, F. F.; & Costa, J. J. F. (2020). Agronegócio brasileiro: as interfaces da crise mundial no faturamento de empresas de capital aberto. 2020. Monografia (Monografia em Ciências Contábeis) – Centro Universitário Fametro, 28 p.
- Neto, P. V. (2004). Estatística descritiva: Conceitos básicos. São Paulo, 17 p.
- OIC Organização Internacional do Café. Relatório sobre o mercado de Café. p. 1- 8. setembro. 2020. http://consorciopesquisacafe.com.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/relatorio_oic_setembro_2020.pdf.
- Pontes, A. C. F. (2010). Ensino da correlação de postos no ensino médio. *Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística (SINAPE)*, 19, 26-30.
- Pontes, L. B.; Cavichioli, F. A. (2019). Agricultura de precisão. SIMTEC - *Simpósio de Tecnologia da Fatec Taquaritinga*, 5 (1), 238-250.
- Potter, M. B. e al., (2014). Análise comparativa entre amostragem de solo convencional e amostragem de solo para agricultura de precisão. Dissertação (Mestrado Profissional do Programa de Pós-graduação em Agricultura de Precisão) – Universidade Federal de Santa Maria, 64 p.
- Queiroz, D. M. et al., (2015). Estabilidade espaço-temporal de atributos físicos e químicos do solo em área cultivada com café para definição de classes de manejo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 74 p.

- Reghini, F. L.; Cavichioli, F. A. (2020). Utilização de geoprocessamento na agricultura de precisão. *Revista Interface Tecnológica*, 17 (1), 329-339.
- Reis, T. H. P.; Guimarães, P. T. G.; & De Oliveira, C. H. C. (2019). Construção da fertilidade do solo para altas produtividades do cafeeiro de forma sustentável. *X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*.
- Ribeiro, H. S. et al., Avaliação da fertilidade do solo e incremento da produtividade com o uso da agricultura de precisão. Monografia (bacharel em Engenharia Agrícola) – Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, 26 p.
- Roth, R. L. (2019). Efeitos da produção cafeeira no desenvolvimento socioeconômico brasileiro e seu impacto na balança comercial entre 2000 e 2018. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas) – Universidade Caxias do Sul, 67 p.
- Schmidt, E. R. et al., (2017). Coeficiente de variação como medida da precisão em experimentos de alfaca. *Revista Agro@ mbiente on-line-line*, 11 (4), 290-295.
- Silva, A. F. et al., (2010). Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com café arábica (*Coffea arabica* L.) sob diferentes manejos. *Coffe Science*, 5 (2), 173-182.
- Silva, F. M. et al., (2007). Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. *Ciência Rural*, 37 (2), 401-407.
- Silva, L. G. A. (2014). Estatística Descritiva Básica. Pouso Alegre: Blog Manual das Exatas, 1ª Edição.
- Souza, F. de F.; Santos, J.C.F.; Costa, J. N. M.; & Santos, M. M. (2004). Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia. Porto Velho: *EMBRAPA*. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54346/1/Doc93-cafe.pdf>>. Acesso em: maio de 2021.
- Teixeira, G. B.; & Almeida, J. V. P. (2017). Rede LoRa® e protocolo LoRaWAN® aplicados na agricultura de precisão no Brasil. Monografia (Bacharel em Engenharia Eletrônica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 77 p.
- Vieira, L. C. (2020). Nível crítico de cálcio para o desenvolvimento de mudas do café arábica. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências – área de concentração em Fitotecnia) - Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, 35 p.
- Vilela, E. H. P.; & Penedo, A. S. T. (2020). Análise dos Custos de Produção em Relação de Preços do Café Arábica em Minas Gerais. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC*.
- Vivaldi, G. A. D.; Júnior, P. S. P.; & Alves, A. F. (2020). A cafeicultura na microrregião de Varginha-MG. *Interação-Revista de Ensino, Pesquisa e Extensão*, 22 (2), 143-159.