

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - ICIAG  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL**

**GEOESTATÍSTICA APLICADA À GESTÃO AMBIENTAL DA  
FERTILIDADE E DE FITONEMATÓIDES NA CAFEICULTURA DO  
CERRADO**

**LEANDRO DA SILVA ALMEIDA**

**UBERLÂNDIA/MG  
2016**

LEANDRO DA SILVA ALMEIDA

GEOESTATÍSTICA APLICADA À GESTÃO AMBIENTAL DA FERTILIDADE  
E DE FITONEMATOIDES NA CAFEICULTURA DO CERRADO

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental – Mestrado, área de concentração em Processos Ambientais, para a obtenção do título de “Mestre”.

**Orientador:**

Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

A447g  
2016 Almeida, Leandro da Silva, 1983  
Geoestatística aplicada à gestão ambiental da fertilidade e de  
fitonematoides na cafeicultura do cerrado / Leandro da Silva Almeida. -  
2016.

102 f. : il.

Orientador: Ednaldo Carvalho Guimarães.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental.

Inclui bibliografia.

1. Ecologia - Teses. 2. Sustentabilidade - Teses. 3. Nematoides -  
Teses. 4. Agricultura de precisão - Teses. I. Guimarães, Ednaldo  
Carvalho. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-  
Graduação em Qualidade Ambiental. III. Título.

---

CDU: 574

LEANDRO DA SILVA ALMEIDA

GEOESTATÍSTICA APLICADA À GESTÃO AMBIENTAL DA FERTILIDADE  
E DE FITONEMATOIDES NA CAFEICULTURA DO CERRADO

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental – Mestrado, área de concentração em Processos Ambientais, para a obtenção do título de “Mestre”.

Aprovado em 12 de fevereiro de 2016.

Prof. Dr. Igor Souza Pereira

IFTM

Prof. Dr. Ricardo Falqueto Jorge

UFU

Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães

FAMAT – UFU

(Orientador)

UBERLÂNDIA

MINAS GERAIS / BRASIL

2016

*Aos meus pais, à minha irmã e às  
minhas avós, por mais esta conquista na  
minha vida,*

**OFEREÇO.**

**DEDICO,**

*este mestrado, a sua grande incentivadora e  
apoiadora, minha esposa, Nara Cristina. Sem  
o seu incentivo e apoio nada disso seria  
possível!*

## **AGRADECIMENTOS**

Minha gratidão, a Deus, por estar comigo em todos os momentos e iluminando-me, sendo meu refúgio e fortaleza. A Ele, minha eterna gratidão.

Agradeço, especialmente, à minha família, pelo apoio para que eu concretizasse essa pesquisa: minha mãe e meu pai, que sempre estão na torcida por mim; e, em especial, minha esposa Nara e minha filha Maria Fernanda, pela compreensão e carinho, o que é fundamental para poder continuar em frente.

Ao professor Doutor Ednaldo Carvalho Guimarães, meu orientador, que possibilitou-me “aprendizado único”, por meio do grande incentivo e da orientação, os quais me foram concedidos durante essa jornada.

Ao Produtor Ladmir de Lima e ao seu gerente Vagner, pelo total apoio à pesquisa, na fazenda Brasil, os quais não mediram esforços para fornecer os dados e sempre estavam dispostos a colaborar com a busca por novos conhecimentos.

À Universidade Federal de Uberlândia – UFU, por meio do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental, do Instituto de Ciências Agrárias, pela oportunidade única de realizar o meu mestrado.

A professora Doutora Maria Amélia, pela grande contribuição nas análises de nematoídes.

A Professora e amiga Sueli Gomes, por dedicar parte de seu descanso de férias a correções da língua portuguesa nesta dissertação.

Aos professores Doutores Igor de Souza Pereira e Ricardo Falqueto Jorge, por terem aceitado participar desta defesa e pelas importantes contribuições ao trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	i
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE EQUAÇÕES .....	v
RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	vii
1      INTRODUÇÃO.....	14
2      REVISÃO DE LITERATURA .....	16
2.1.    Geoestatística .....	16
2.1.1.    Análise descritiva espacial.....	17
2.1.2.    A Análise de comportamento espacial.....	17
2.1.3.    Estimativas Geoestatísticas.....	20
2.1.4.    Geoestatística aplicada ao meio ambiente .....	21
2.2.    Cafeicultura e sua importância econômica e ambiental.....	23
2.3.    Atributos do solo e sua relação com o agroecossistema .....	23
2.4.    Nematoides no cafeeiro - impactos produtivos e ambientais .....	25
2.5.    Agricultura de Precisão e a gestão ambiental das propriedades.....	25
3      MATERIAL E MÉTODOS .....	27
3.1.    Localização .....	27
3.2.    Amostragem.....	28
3.3.    Atributos analisados .....	29
3.4.    Análises dos dados .....	30
3.4.1.    Análise descritiva dos dados.....	31
3.4.2.    Análise descritiva espacial dos dados .....	31
3.4.3.    Análise do comportamento espacial e modelagem dos semivariogramas	31
3.4.4.    Interpolação dos dados e geração dos mapas temáticos dos atributos do	
solo.....	33
4      RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	37
4.1.    Estatística descritiva.....	37
4.2.    Análise Descritiva Espacial .....	39
4.3.    Análise do comportamento espacial e mapeamento dos atributos dos	
solo.....	48

4.3.1.	Comportamento espacial e mapeamento da acidez do solo, matéria orgânica e macronutrientes.....	48
4.3.2.	Comportamento espacial e mapeamento dos micronutrientes .....	59
4.3.3.	Comportamento espacial e mapeamento dos nematoides.....	63
4.4.	Gestão do uso de fertilizantes químicos e sustentabilidade ambiental .....	67
4.4.1.	Agricultura convencional x agricultura de precisão.....	69
4.5.	Controle de nematoides e qualidade ambiental .....	72
4.6.	Agricultura de Precisão - um alerta à imprecisão.....	75
5	CONCLUSÕES .....	77
6	REFERÊNCIAS .....	78
7	ANEXOS .....	87



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Comportamento do semivariograma próximo a origem. Semivariogramas contínuos: A) Alta continuidade na origem; B) média continuidade. Semivariogramas descontínuos: C) com efeito pepita e D) efeito pepita puro. ....	18
FIGURA 2: Interpolação ou Krigagem, dependendo da obtenção de semivariograma, ou seja, se a variável é contínua ou descontínua. ....	18
FIGURA 3: Esquema ilustrando os processos de estimação geoestatística .....	20
FIGURA 4: Localização da área experimental-Fazenda Brasil .....	27
FIGURA 5: Malha amostral da área em estudo (Total de 65 pontos) .....	28
FIGURA 6: Esquema de coleta de solo para cada ponto da malha, sendo um ponto central georeferenciado e os demais pontos coletados dentro malha para compor a amostra composta. ....	29
FIGURA 7: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do pH .....	41
FIGURA 8: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma da MOS .....	41
FIGURA 9: Gráficos de posição, dispersão nas direções x e y e histograma do P. ....	42
FIGURA 10: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do K. ....	42
FIGURA 11: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do S. ....	42
FIGURA 12: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Ca .....	42
FIGURA 13: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Mg. ....	42
FIGURA 14: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Al. ....	42
FIGURA 15: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do H+ Al .....	43
FIGURA 16: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do T. ....	43
FIGURA 17: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do V. ....	43
FIGURA 18: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do m. ....	43
FIGURA 19: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Ca/Mg. ....	43
FIGURA 20: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Ca/T. ....	43
FIGURA 21: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Mg/T. ....	44
FIGURA 22: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do K/T. ....	44
FIGURA 23: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do H+Al/T. ...	44
FIGURA 24: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Boro. ....	44
FIGURA 25: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Zn. ....	44
FIGURA 26: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Fe. ....	44

FIGURA 27: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Mn. ....	45
FIGURA 28: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Cu. ....	45
FIGURA 29: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Nematoides (presença).....	45
FIGURA 30: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Nematoides Danos. ....	45
FIGURA 31: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma dos resíduos do K. ....	47
FIGURA 32: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma dos resíduos da relação K/T. ....	47
FIGURA 33: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma dos resíduos do Cu. ....	47
FIGURA 34: Semivariograma ajustado do pH. ....	48
FIGURA 35: Semivariograma ajustado da MO. ....	48
FIGURA 36: Semivariograma ajustado da P. ....	49
FIGURA 37: Semivariograma ajustado dos resíduos de K. ....	49
FIGURA 38: Semivariograma ajustado do S. ....	49
FIGURA 39: Semivariograma ajustado do Ca. ....	49
FIGURA 40: Semivariograma ajustado do Mg. ....	49
FIGURA 41: Semivariograma ajustado da T. ....	49
FIGURA 42: Semivariograma ajustado da V. ....	50
FIGURA 43: Semivariograma ajustado da relação Ca/T. ....	50
FIGURA 44: Semivariograma ajustado da relação Ca/Mg. ....	50
FIGURA 45: Semivariograma ajustado da relação K/T. ....	50
FIGURA 46: Semivariograma ajustado da relação Mg/T. ....	50
FIGURA 47: Semivariograma ajustado da relação H+Al/T. ....	50
FIGURA 48: Semivariograma ajustado da saturação de alumínio (m). ....	51
FIGURA 49: Semivariograma ajustado do Al. ....	51
FIGURA 50: Semivariograma ajustado da acidez trocável (H+ Al). ....	51
FIGURA 51: Mapa temático de distribuição do pH na área. ....	54
FIGURA 52: Mapa temático de distribuição da MOS na área. ....	54
FIGURA 53: Mapa temático de distribuição do P na área. ....	54
FIGURA 54: Mapa temático de distribuição do K na área. ....	54
FIGURA 55: Mapa temático de distribuição do S na área. ....	55

FIGURA 56: Mapa temático de distribuição do Ca na área.....	55
FIGURA 57: Mapa temático de distribuição do Mg na área.....	55
FIGURA 58: Mapa temático de distribuição do Al na área .....	55
FIGURA 59: Mapa temático de distribuição da Acidez Trocável na área .....	55
FIGURA 60: Mapa temático da T na área.....	55
FIGURA 61: Mapa temático da V na área .....	56
FIGURA 62: Mapa temático da saturação de alumínio (m) na área.....	56
FIGURA 63: Mapa temático da relação Ca/Mg na área.....	56
FIGURA 64: Mapa temático da relação Ca/T na área .....	56
FIGURA 65: Mapa temático da relação Mg/T na área.....	56
FIGURA 66: Mapa temático da relação K/T na área.....	56
FIGURA 67: Mapa temático do $H^+Al/T$ .....	57
FIGURA 68: Semivariograma ajustado para o B.....	59
FIGURA 69: Semivariograma ajustado para o Zn.....	59
FIGURA 70: Semivariograma ajustado para o Fe. ....	60
FIGURA 71: Semivariograma ajustado para o Mn. ....	60
FIGURA 72: Semivariograma ajustado para os resíduos do Cu.....	60
FIGURA 73: Mapa temático da distribuição de B na área. ....	62
FIGURA 74: Mapa temático da distribuição de Zn na área. ....	62
FIGURA 75: Mapa temático da distribuição de Fe na área. ....	62
FIGURA 76: Mapa temático da distribuição de Mn na área .....	62
FIGURA 77: Mapa temático da distribuição de Cu na área.....	62
FIGURA 78: Semivariograma ajustado para a ausência/presença de nematoides. ....	64
FIGURA 79: Semivariograma ajustado para o linear de dano econômico de nematoides .....	64
FIGURA 80: Distribuição da precipitação média para a região de Araguari –MG, segundo dados do INMET nos meses de novembro de 2014 a janeiro de 2015.....	65
FIGURA 81: Mapa temático da probabilidade de ausência de nematoides na área. ....	66
FIGURA 82: Mapa temático da probabilidade da não ocorrência de dano econômico por nematóide na área.....	66

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Modelos teóricos de semivariogramas experimentais (Equações 3 a 5)...	19
TABELA 2: Estatística descritiva dos atributos do solo com a cultura do café da Fazenda Brasil, município de Araguari-MG, no ano de 2014. ....	37
TABELA 3: Assimetria e curtose dos atributos do solo da Fazenda Brasil. ....	40
TABELA 4: Modelos, parâmetros, relação $Co/Co+C$ e grau da dependência espacial dos semivariogramas ajustados para a acidez do solo, matéria orgânica e macronutrientes.	52
TABELA 5: Modelos, parâmetros, relação $Co/Co+C$ e grau da dependência espacial dos semivariogramas ajustados para os micronutrientes .....	60
TABELA 6: Modelos, parâmetros, relação $Co/Co+C$ e grau da dependência espacial dos semivariogramas ajustados para os nematoides. ....	64

## LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1: Estimador de semivariância de Matheron .....	18
EQUAÇÃO 2: Estimador robusto de semivariância de Cressie e Hawkins .....	19
EQUAÇÃO 3: Modelo teórico de semivariogramas experimentais Esférico .....	19
EQUAÇÃO 4: Modelo teórico de semivariograma experimental exponencial. ....	19
EQUAÇÃO 5: Modelo teórico de semivariograma experimental gaussiano.....	19
EQUAÇÃO 6: Equação transformação para krigagem indicadora .....	30
EQUAÇÃO 7: Equação para regressão linear .....	32
EQUAÇÃO 8: Equação para avaliar o grau de dependência espacial. ....	33
EQUAÇÃO 9: Equação para interpolação pelo inverso do quadrado da distância. ....	34
EQUAÇÃO 10: Equação para estimar os valores das variáveis por meio da krigagem. .....	34
EQUAÇÃO 11: Equação para verificar se o estimador da krigagem não está tendencioso. ....	35
EQUAÇÃO 12: Equação para verificar se as variâncias das estimativas da krigagem são mínimas .....	35
EQUAÇÃO 13: Equação para verificar a soma dos pesos das amostras. ....	35
EQUAÇÃO 14: Multiplicador de Lagrange para obter a lagrangiana para a equação de krigagem ordinária. ....	35
EQUAÇÃO 15: Equação da krigagem ordinária e indicadora.....	35
EQUAÇÃO 16: Equação para obter a variância estimada da krigagem ordinária .....	35
EQUAÇÃO 17: Equação de regressão linear do Potássio (k).....	46
EQUAÇÃO 18: Equação de regressão linear do Cobre (Cu). ....	46
EQUAÇÃO 19: Equação de regressão linear da relação k/T.....	46

## RESUMO

ALMEIDA, LEANDRO DA SILVA. **Geoestatística Aplicada à Gestão Ambiental da Fertilidade e de Fitonematoides na Cafeicultura do Cerrado**. 2016. 102p. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia – Uberlândia<sup>1</sup>.

A geoestatística contribui para uma maior eficiência na aplicação de fertilizantes e defensivos na cafeicultura, conseguindo, com o auxílio desta técnica, trabalhar a necessidade pontual dos atributos do solo na propriedade. Permite também descrever com precisão a distribuição espacial dos atributos químicos e de atributos biológicos do solo, como, por exemplo, os nematoides. Assim, o objetivo do estudo foi verificar a dependência espacial e elaborar modelos geoestatísticos que proporcionam o uso eficiente de corretivos, fertilizantes, nematicidas na cafeicultura, com o intuito de ajudar na preservação dos recursos naturais, contribuindo assim para uma cafeicultura sustentável. Buscou-se, também, correlacionar a população de nematoides com os níveis de fertilidade do solo. O experimento foi realizado em uma lavoura cafeeira no município de Araguari-MG, região do triângulo Mineiro, a fazenda possui 65 ha de cafeeiro arábica (*Coffea arabica L.*), utilizando uma malha de um ponto por hectare, totalizando 65 pontos. Foram analisados pH, macronutrientes, matéria orgânica do solo (MOS), micronutrientes e nematoide. Nos resultados constatou-se que os modelos geoestatísticos foram apropriados para descrever os atributos químicos do solo e os fitonematoides à exceção da MOS e do manganês, os quais foram descritos por estatística clássica. No estudo ficou clara a vantagem da agricultura com o uso da geoestatística em relação à agricultura convencional, tanto para fins econômicos, quanto para o meio ambiente, pois quando se trabalha pontualmente pode-se fazer uma melhor gestão dos recursos naturais, tanto no momento da aplicação na propriedade quanto em uma demanda mais consciente. Não foi possível correlacionar a população de nematoides com a fertilidade do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sustentabilidade ambiental; agricultura de precisão; nematoides; cafeicultura sustentável; fertilidade do solo.

---

<sup>1</sup> Orientador: Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães – UFU

## ABSTRACT

ALMEIDA, LEANDRO DA SILVA. **Geostatistics Applied to Fertility Environmental Management and Nematodes in the Cerrado Coffee Cultivation.** 2016. 102p Dissertation (Master of Environmental Quality) - Federal University of Uberlândia - Uberlândia<sup>2</sup>.

The geostatistical contributes to greater efficiency in the application of fertilizers and pesticides in coffee growing, achieving, with the aid of this technique, to work the specific need of soil attributes on the property. It also allows accurately describe spatial distribution of chemical properties and biological properties of the soil, as for example, nematodes. The objective of the study was to verify the spatial dependence and elaborate geostatistical models that provide the efficient use of lime, fertilizers, nematicides in coffee growing, in order to aid in the preservation of natural resources, thus contributing to sustainable coffee farming. We attempted to also relate to the population of nematodes in soil fertility levels. The experiment was performed in a coffee plantation in the municipality of Araguari-MG Mineiro Triangle region, the farm has 65 hectares of arabica coffee (*Coffea arabica* L.), using a mesh of one point per hectare, totaling 65 points. Were analyzed: pH, macronutrients, soil organic matter (SOM), micronutrients and nematode. In the results it was verified that the geostatistical models were appropriate to describe the chemical soil properties and plant parasitic nematodes except for SOM and manganese, which were described by classical statistics. In the study became clear that advantage for agriculture with the use of geostatistics in relation to conventional farming, both for economic purposes, and for the environment, because when you work on time can make a better management of natural resources, both at the time of application on the property and in a more conscious demand. Was not possible to relate the population of nematodes in soil fertility.

**KEYWORDS:** Environmental Sustainability; precision agriculture; nematodes; sustainable coffee growing; soil fertility.

---

<sup>2</sup> Major Professor: Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães

# 1 INTRODUÇÃO

O atual modelo de desenvolvimento hegemônico e seus processos de produção e consumo, baseados no crescimento e na globalização da economia mundial, vêm sendo criticados pelas ameaças à sustentabilidade ambiental, o que obriga os diversos setores produtivos a buscar tecnologia de ponta para enfrentar os grandes concorrentes no mercado internacional. A utilização de recursos naturais gera fortes impactos sobre os serviços dos ecossistemas locais, regionais e globais a partir de suas crescentes demandas.

Para se ter processos produtivos sustentáveis, existe a necessidade de se buscar tecnologias que visem menores intervenções, ou que as intervenções tenham também propósitos de regeneração dos recursos naturais, principalmente do solo e da água. A agricultura se faz presente de maneira muito intensa nesse modelo de produção. Assim, o uso de tecnologias não deve estar apenas voltado para o aumento da produtividade, mas também para o manejo correto e a conservação destes recursos naturais.

No Brasil há mais de 2,2 milhões de hectares cultivados com café, o que representa aproximadamente 2,5 % da área agrícola do país (CONAB, 2015; FAO, 2014). Com o aumento da competitividade, imposto pela globalização, o cafeicultor brasileiro cada vez mais tem de fazer uso de tecnologia, pois há necessidade de produzir mais na mesma área, para manter-se inserido no mercado e, desta forma, cresce também a demanda por agroquímicos em geral. Segundo informações da Associação Nacional para Difusão de Adubos-ANANDA (2015), o consumo dos fertilizantes em 2014 cresceu cerca de 8% em relação a 2013, enquanto que a produção nacional decresceu na ordem de 10%, sendo que para equilibrar esta conta houve um crescimento de 27% nas importações de fertilizantes no mesmo período. Se existe maior demanda no campo, gera-se um efeito em cadeia, pois, para produzir mais fertilizantes, aumenta-se a demanda por energia e por matéria prima, ou seja, ocorre um maior impacto ambiental (negativo) nas áreas de mineração e, por consequência, também maiores gastos de energia muitas vezes oriunda de fontes não renováveis.

Além da nutrição, outro fator limitante para a produção do café é a fitossanidade das lavouras e, dentre os agentes causadores de danos, pode-se relatar os nematoides, em especial o *Meloidogyne exigua*, que é uma das principais pragas que tem ocasionado perdas nas produtividades das lavouras cafeeiras (SALGADO, 2001).



Entender os processos de disseminação dos nematoides, assim como a sua interação com o solo, é essencial para o sucesso no seu manejo, evitando assim o uso inadequado e/ou desnecessário de agrotóxicos.

O fato que muitas vezes ocasiona os prejuízos ambientais é o uso dos fertilizantes e defensivos em campo, pois, quando aplicados em excesso, podem, por processos de lixiviação e erosão, contaminar o solo, as águas superficiais e subterrâneas, além de representar prejuízo financeiro ao agricultor. Por outro lado, quando aplicados em quantidades menores que as necessárias, não atendem a sua finalidade e podem ocasionar outras formas de prejuízos ambientais, como a pressão de seleção de organismos mais resistentes a determinadas moléculas químicas, ou até mesmo a criação de áreas degradadas por serem exauridas as suas propriedades químicas, físicas e biológicas.

Nesse contexto, a geoestatística é uma ferramenta que pode auxiliar no desenvolvimento de uma agricultura sustentável, pois a mesma tem por objetivo a caracterização da distribuição espacial e temporal das grandezas que definem a quantidade e qualidade dos recursos naturais, podendo ser de uso em recursos florestais, geológicos, hidrológicos, biológicos ou ainda em qualquer fenômeno espacial em que as suas características manifestem-se em certa estrutura de espaço e/ ou tempo, a exemplo da contaminação de águas e solos, da temperatura e da pluviometria de uma região (SOARES, 2006).

Desse modo, o emprego adequado da geoestatística poderá melhorar a eficiência da aplicação de fertilizantes e defensivos, conseguindo trabalhar a real necessidade de cada faixa de área na propriedade, evidenciando os modelos que descrevem, com maior exatidão, a distribuição espacial dos elementos químicos e dos nematoides no solo. Assim, o objetivo do trabalho foi verificar e estabelecer modelos geoestatísticos que proporcionam o uso eficiente de corretivos, fertilizantes, nematicidas na cafeicultura, com intuito de ajudar na preservação dos recursos naturais, contribuindo para uma cafeicultura sustentável. Buscou-se, também, correlacionar a população de nematoides com os níveis de fertilidade do solo e um comparativo da aplicação da agricultura com o auxílio da geoestatística com a agricultura convencional.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Geoestatística

A geoestatística tem como base a teoria de variabilidade regional de Matheron, a qual diz que os valores assumidos por uma variável (atributo do solo, por exemplo) dependem da distância de separação entre os dois locais observados. A diferença das variáveis tende a ser menor em locais mais próximos, e maiores para os pontos mais distantes (MOLIN, 1997). A representação desta ideia é dada por semivariogramas que consistem na representação de estruturas com dependência no espaço. Mello et al. (2005) exemplifica esta definição da seguinte forma:

[...] considera-se uma característica dendrométrica  $Z$ , tal como o volume, que pode variar continuamente num espaço geográfico, em função das coordenadas geográficas. Cada valor observado  $z(x_i)$  nos locais  $x_i$ ,  $i=1,2,\dots,n$ , em que  $x_i$  denota coordenada geográfica em duas dimensões, é considerado uma realização da variável aleatória  $Z(x)$ . O conjunto das variáveis aleatórias  $Z(x_1)\dots Z(x_n)$  constitui uma função aleatória ou processo estocástico. A representação da estrutura de variação destas variáveis aleatórias no espaço, quando  $x$  varia, é dada pelo semivariograma.

Após os cálculos das semivariâncias e dos ajustes de modelos teóricos (determinação dos semivariogramas), é necessário interpolar os dados, cujo processo se denomina krigagem, que devem ser calculados de modo que o estimador não seja enviesado e, ainda, que a variância da estimativa seja mínima (ROCHA et al., 2007).

Para o êxito do uso da geoestatística é importante a determinação do semivariograma, ou seja, todo cuidado deve ser tomado na variografia, escolhendo-se o método adequado, de acordo com cada conjunto de dados em determinado espaço e tempo (GUIMARÃES, 2004).

Geoestatística é uma ferramenta útil para analisar a variabilidade espacial, fazer interpolação entre observações pontuais e determinar os valores interpolados com um erro especificado, utilizando um número mínimo de observações (LONG et al., 2014).

O processo de análise geoestatística pode ser dividido em três fases principais, as quais são apresentadas a seguir.

### **2.1.1. Análise descritiva espacial**

Na análise descritiva espacial descreve-se o comportamento geral dos dados. São utilizadas as estatísticas descritivas como: média, mediana, desvio padrão, mínimo, máximo, assimetria e curtose para essa descrição geral da variável. Também podem ser usados gráficos como histogramas e *box-plot* com o objetivo de verificar a distribuição geral dos dados e também inferir sobre a presença de valores discrepantes que possam comprometer a análise. Outra ferramenta descritiva interessante consiste nos gráficos de localização das amostras em relação aos eixos coordenados, pois estes permitem a visualização de possíveis tendências da variável analisada. Cabe ressaltar que na análise geoestatística um dos requisitos é que o fenômeno seja estacionário de segunda ordem ou que pelo menos a hipótese intrínseca seja atendida e ainda a presença de tendências pode comprometer a análise da dependência espacial por meio desta metodologia (GUIMARÃES, 2004). Os conceitos de estacionaridade de segunda ordem e de hipótese intrínseca são apresentados e discutidos em textos de referência na área de geoestatística como Vieira et al. (1983).

### **2.1.2. A Análise de comportamento espacial**

A segunda etapa para o uso da geoestatística é calcular as semivariâncias e modelar os semivariogramas que descrevem a variabilidade espacial do atributo em função da distância  $h$ . O cálculo da semivariância é realizado por meio da covariância entre os valores da mesma variável, obtidos em pontos separados por uma distância  $h$ , conforme uma determinada direção. Isto significa que se houver alteração da direção, a covariância também pode alterar e, neste caso, a presença do fenômeno espacial é anisotrópico. Existem casos em que a covariância não se altera com a mudança de direção e o fenômeno espacial é chamado de isotrópico (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

O comportamento do semivariograma próximo à origem pode apresentar características distintas como parabólico, linear, efeito pepita e pepita puro (FIGURA 1). Os semivariogramas ainda podem ser classificados em contínuos e descontínuos. As variáveis regionalizadas (com distribuição espacial) apresentam alta continuidade na origem, indicando que interpolações devam ser feitas por meio de krigagem. Entretanto, as variáveis que apresentam variância descontínua na origem (efeito pepita puro),

refletem incertezas em pequenas distâncias, impossibilitando realizar a sua inferência espacial, e, portanto, inviabilizando, assim, o uso da geoestatística, como pode ser observado na FIGURA 2. Nestes casos, utilizam-se modelos de interpolação de dados da estatística clássica, como por exemplo linear e exponencial.

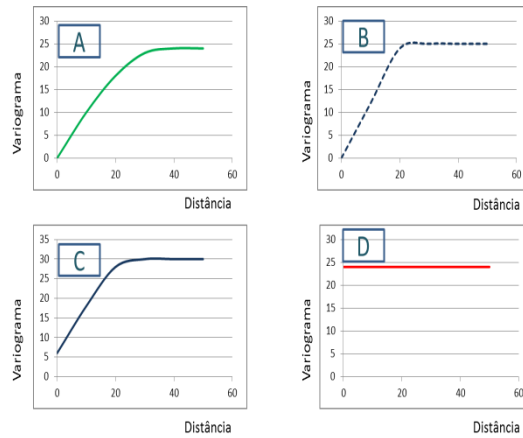


FIGURA 1: Comportamento do semivariograma próximo a origem. Semivariogramas contínuos: A) Alta continuidade na origem; B) média continuidade. Semivariogramas descontínuos: C) com efeito pepita e D) efeito pepita puro.

Adaptado: YAMAMOTO; LANDIM, 2013.

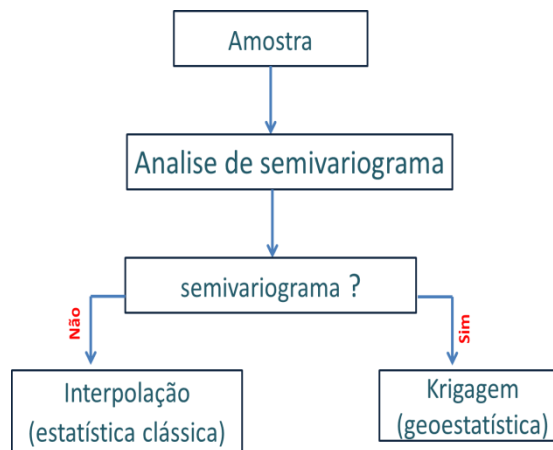


FIGURA 2: Interpolação ou Krigagem, dependendo da obtenção de semivariograma, ou seja, se a variável é contínua ou descontínua.

Adaptado: YAMAMOTO; LANDIM, 2013.

O estimador da semivariância com maior utilização na literatura é o de Matheron (1963) e que é obtido por meio da Equação 1:

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

Onde:  $\gamma(h)$  é a semivariância para a distância  $h$ ,  $N(h)$  é o número de pares da diferença da variável  $Z$  medida na posição  $s$  e  $s+h$  (posição + distância).

Entretanto, Cressie; Hawkins (1980) argumentam que, quando a variável em estudo apresenta assimetria acentuada, deve-se utilizar estimadores robustos e, neste caso, indicam o estimador conforme a Equação 2.

$$\bar{Y}(h) = \frac{1}{2} * \frac{[N(h)^{-1} \sum_{N(h)} \sqrt{(Z(s+h)-Z(s))^4}]^4}{0,457 + \frac{0,497}{N(h)}} \quad (2)$$

Onde:  $\gamma(h)$  é a semivariância para a distância  $h$ ,  $N(h)$  é o número de pares da diferença da variável  $Z$  medida na posição  $s$  e  $s+h$  (posição + distância).

Após a obtenção das semivariâncias experimentais ajustam-se modelos de dependência espacial às semivariâncias experimentais sendo que os modelos utilizados foram:

**TABELA 1:** Modelos teóricos de semivariogramas experimentais (Equações 3 a 5)

Modelo	Equação <sup>1</sup>
Esférico <sup>2</sup>	$y(h) = C_o + C[1,5 \frac{h}{a} - 0,5 \left(\frac{h}{a}\right)^3 \text{ para } h < a \quad (3)$ $y(h) = C_o + C \text{ para } h \leq a$
Exponencial <sup>3</sup>	$y(h) = C_o + C[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right)] \quad (4)$
Gaussiano <sup>4</sup>	$y(h) = C_o + C[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right)^2] \quad (5)$

<sup>1</sup>  $C_o$  = efeito pepita;  $C$  = contribuição;  $C_o + C$  = patamar;  $a$  = alcance; <sup>2</sup> O alcance obtido é o teórico, que é igual ao prático. <sup>3</sup>O alcance obtido é o teórico e deve ser multiplicado por 3 para determinar o alcance prático; <sup>4</sup> O alcance obtido é o teórico e deve ser multiplicado por  $\sqrt{3}$  para achar o alcance prático.

Adaptado: YAMAMOTO; LANDIM, 2013.

Se o objetivo do estudo é apenas descrever a dependência espacial, encerra-se o estudo nesta fase, entretanto, se o objetivo é também realizar estimativas e mapeamentos deve-se avançar para a etapa seguinte.

### 2.1.3. Estimativas Geoestatísticas

As estimativas geoestatísticas podem ser feitas por meio da interpolação por krigagem ou por meio de simulação estocástica (SOARES, 2006). A krigagem é um processo geoestatístico de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço e/ou tempo, com base em valores adjacentes quando considerados interdependentes pela análise do semivariograma. O método da krigagem é diferente dos métodos de estimativas tradicionais como médias móveis e médias ponderadas, pois utilizam a informação da estrutura de dependência em seus cálculos. As estimativas realizadas com esse procedimento não são tendenciosas e ainda apresentam a mínima variância. Basicamente, o processo de krigagem é feito por meio de média ponderada, sendo que na obtenção dos pesos considera-se o modelo de dependência espacial (SOARES, 2006; YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

É necessário, também, escolher o tipo de krigagem que melhor se adapta ao comportamento espacial dos dados. Esta escolha está associada à distribuição da variável em estudo, ou seja, se a distribuição dos dados é normal ou possui assimetria negativa ou positiva. Para as variáveis regionalizadas contínuas, que apresentam distribuição normal ou assimetria negativa, usa-se a krigagem ordinária. Já para as variáveis com assimetria positiva, existe a necessidade de transformação dos dados e, nestes casos, os modelos de krigagem utilizados são: *multigaussiana*, *lognormal* ou *indicadora*; esta escolha depende do processo de transformação de dados utilizado (FIGURA 3) e é descrita em Yamamoto; Landim (2013).

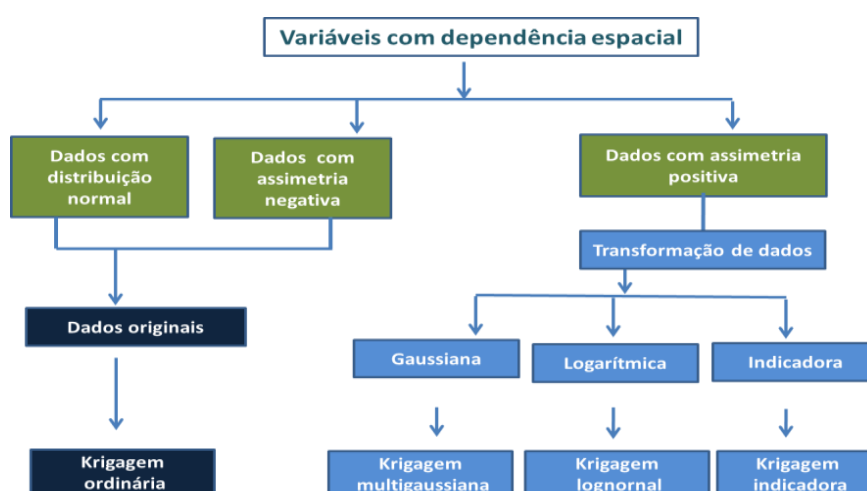


FIGURA 3: Esquema ilustrando os processos de estimação geoestatística

Adaptado: YAMAMOTO ; LANDIM, 2013.

Os métodos de Krigagem permitem estimar uma única variável por vez, sendo que a variável apresenta dependência espacial e/ou temporal. Para correlacionar duas variáveis, espacial ou temporalmente, utiliza-se o processo de correionalização. Nessas situações, a geoestatística possui um conjunto de ferramentas para as coestimativas, incluindo a cokrigagem ordinária e a cokrigagem colocalizada (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Outra técnica de estimação geoestatística que vem ganhando ênfase a partir da década de 1990 é a simulação geoestatística. A diferença básica desta técnica em relação à krigagem é que ela gera várias imagens equiprováveis do fenômeno, enquanto a krigagem gera uma única imagem. Este fato é útil na estimação das incertezas associadas à variável em estudo. Deve-se ressaltar que, tanto na krigagem quanto na simulação, faz-se necessário a determinação do semivariograma. Uma descrição geral dos métodos de simulação pode ser encontrada em Yamamoto; Landim (2013) e trabalhos como o de Silva Junior et al. (2012), utilizaram a técnica de simulação na área de ciência do solo.

#### **2.1.4. Geoestatística aplicada ao meio ambiente**

A geoestatística é uma ferramenta muito útil na elaboração de estratégias de conservação e recuperação do meio ambiente, podendo subsidiar de maneira muito precisa todo o processo de planejamento e tomada de decisões na gestão ambiental das propriedades (SOARES, 2006).

O trabalho desenvolvido por Prado-Perez et al. (2014) estudou, por meio da geoestatística, o armazenamento profundo de CO<sub>2</sub> em aquíferos salinos na região de Alicún de Las Torres na Península Ibérica espanhola. Os autores correlacionaram as características hidrogeoquímicas a fim de buscar soluções para que se possa destinar e armazenar CO<sub>2</sub> em profundidade, como uma forma de sequestrar o carbono da atmosfera, de maneira segura e sem causar impactos na qualidade da água subterrânea. No trabalho, foi possível constatar e verificar a distribuição espacial do Carbono armazenado em rochas calcárias (travertino), estimar o volume médio armazenado e também verificar como o carbono está distribuído espacialmente ao longo da área, utilizando a krigagem ordinária.

O trabalho desenvolvido por Liu et al. (2006), na região de Zhejiang, no sudeste da China, cuja a economia é baseada na produção de arroz, avaliou os níveis dos metais

pesados (zinco, cobre, cromo, chumbo e cádmio) na região, elaborando mapas de contaminação. A técnica de interpolação utilizada foi a krigagem ordinária para o Zn e Cr e krigagem lognormal para Cu, Pb e Cd, descrevendo, portanto, as áreas com maior risco ambiental e ao ser humano. Por meio de krigagem indicadora também foram realizados os mapas de probabilidade de contaminação por Cu, Zn e Cd na região, de acordo com características físicas, químicas e morfológicas dos solos, conseguindo, assim, realizar os mapas de vulnerabilidade à contaminação com estes metais.

Uma das grandes preocupações com relação ao manejo e conservação do solo e da água é a erosão. Entretanto, é muito difícil de avaliar a extensão e a gravidade dos processos erosivos se estes não forem voçorocas. Em pesquisa desenvolvida por Mabit et al. (2008), na bacia no rio Boyer (Canadá), numa região com 217 km<sup>2</sup>, cuja economia é baseada na atividade agrícola, utilizaram marcador Cs137 ligado a matéria orgânica do solo e também correlacionaram com outras características físicas e químicas do solo. Os autores utilizaram técnicas de geoestatística para verificar, através da movimentação do Cs137, os comportamentos erosivos daqueles solos. Por meio de modelos de krigagem ordinária, os autores elaboram um mapa de distribuição espacial das perdas de solo identificando regiões de maiores e menores riscos erosivos, contribuindo com as políticas de preservação e conservação do solo e da água naquela região.

No Brasil, Viera; Lombardi Neto (1995) também trabalharam com a geoestatística para determinar potenciais erosivos das chuvas no estado de São de Paulo, conseguindo caracterizar as áreas do estado cujas chuvas têm maior potencial erosivo durante o ano e também mapeando a erosividade da chuva no inverno (menor volume de chuvas) e no verão (épocas das chuvas).

Sabe-se que a agricultura é responsável por cerca de 10 a 15 % das emissões globais de CO<sub>2</sub>, sendo a segunda maior fonte de emissão antrópica deste gás. Procurando entender e descrever a variabilidade espacial da emissão de CO<sub>2</sub>, no solo, em diferentes condições topográficas, Brito et al. (2010) avaliaram estas emissões em três diferentes posições topográficas, numa fazenda produtora de cana-de-açúcar, no município de Jaboticabal –SP, mostrando diferenças significativas na variabilidade espacial de emissão de CO<sub>2</sub>, de acordo com a topografia do terreno, o que, com certeza, é uma importante contribuição no planejamento de redução de emissão desse gás nas atividades agrícolas.



## **2.2. Cafeicultura e sua importância econômica e ambiental**

Há controvérsias a respeito da época de ingresso da cultura de café no Brasil, mas é certo que isso ocorreu no século XVIII e se tornou uma das commodities agrícolas mais importantes do país. Atualmente, o café é o quinto item agrícola mais exportado do país (CONAB, 2015).

O café pertence ao gênero *Coffea*, sendo que as duas espécies mais importantes no mundo são o *Coffea arabica L.* e *Coffea canephora L.*, conhecidos como café arábica e café conilon, respectivamente (CONAB, 2015).

Hoje o Brasil é maior produtor e exportador mundial de café, tendo colhido na safra 2014, mais de 45,3 milhões de sacas beneficiadas, sendo que deste total 32,3 milhões foram de café arábica e 13 milhões de café conilon. O Vietnã é o segundo maior produtor mundial de café e lá predomina o cultivo de café conilon, cuja produção no mesmo período foi de 29,3 milhões de sacas (CONAB, 2015).

Minas Gerais é o maior estado produtor de café no Brasil e responde por mais de 50% da produção nacional. O cultivo predominante no estado é do café arábica. O Espírito Santo, segundo maior estado produtor, cultiva predominantemente o café conilon e produziu quase 80% da safra brasileira desta espécie (CONAB, 2015).

A importância da cafeicultura, no contexto econômico e ambiental, está na sua magnitude, pois ocupa uma área de mais de 2,2 milhões de hectares plantados no Brasil, sendo que, destes, 78,5% são de cafeeiro arábica (CONAB, 2015). Segundo Turetta et al. (2009), a área destinada à cafeicultura representa 12,5% da área cultivada com culturas permanentes no Brasil. Para destacar a importância da cafeicultura no contexto ambiental, ressalta-se que a sua área é maior que todo o território do estado Sergipe, que possui 2,1 milhões de hectares, por exemplo, e é aproximadamente quatro vezes a área do Distrito Federal, que possui 578 mil hectares. Esses números por si só traduzem a importância de estudar técnicas que busquem uma cafeicultura sustentável.

## **2.3. Atributos do solo e sua relação com o agroecossistema**

Segundo Lopes; Guilherme (2007), o solo é o meio principal para o crescimento de plantas, é uma camada de material biologicamente ativo, resultante de complexas transformações que envolvem alterações de rochas e minerais, a ciclagem de nutrientes

e a produção e decomposição de biomassa. Eles afirmam também que o solo só será realmente produtivo, caso esteja em boas condições de funcionamento, ou seja, com equilíbrio nos atributos químicos, físicos e biológicos, sendo que essa boa qualidade do solo é importante não apenas para a produtividade, mas também para a preservação de outros serviços ambientais essenciais, incluindo o fluxo e qualidade da água, a biodiversidade e o equilíbrio dos gases atmosféricos.

Os atributos de natureza química do solo podem influenciar positivamente ou negativamente o crescimento das plantas, pois estão relacionados com a disponibilidade de nutrientes, presença de elementos tóxicos, presença de metais pesados e o teor de matéria orgânica. Os efeitos dos atributos de natureza biológica no solo estão diretamente relacionados com atividade de microrganismos neste, já os atributos físicos dependem da textura e da estrutura do solo, que influem várias características do solo como: densidade, porosidade, taxa de infiltração de água e erodibilidade, por exemplo, que, segundo Meurer (2007), são determinantes no processo de degradação e produtividade.

Os atributos do solo muitas vezes são difíceis de serem classificados e ou separados, pois estão intimamente relacionados e interagem entre si. Sabe-se ainda que a presença de nutrientes é um dos aspectos fundamentais que garantem a boa qualidade dos solos e o seu bom manejo, principalmente no caso de agroecossistemas (LOPES; GUILHERME, 2007).

Importante ressaltar ainda que o equilíbrio dinâmico do sistema solo – planta – atmosfera é interrompido no momento em que elementos ou componentes estranhos interferem nos parâmetros físico-químicos e biológicos do solo. O solo funciona como um reservatório, com grande capacidade de reter e complexar elementos químicos, mas sua capacidade de suporte é limitada e esse limite precisa ser determinado para cada elemento que está sendo introduzido. A extrapolação dos limites de suporte do solo é que dá origem aos principais problemas de ordem físico-química (GOMES et al., 2008).

O manejo da fertilidade do solo, através do uso eficiente de corretivos agrícolas e fertilizantes (atributos químicos), sejam eles de origem orgânica ou mineral, é responsável, dentre os diversos fatores de produção, por cerca de 50 % dos aumentos de produção e produtividade das culturas (LOPES; GUILHERME, 2007). No entanto, os pesquisadores frisam que o uso inadequado desses insumos pode causar reações adversas no ambiente, alterando seu equilíbrio, dependendo da qualidade e da quantidade de produto aplicada. Doses elevadas causam consumo excessivo de

nutrientes pelas plantas e aumenta a disponibilidade dos elementos no sistema solo-água, levando a desequilíbrios ambientais.

#### **2.4. Nematoides no cafeeiro impactos produtivos e ambientais**

Os nematoides estão em destaque entre as principais pragas que provocam prejuízos ao cafeeiro no país e as espécies mais disseminadas pertencem aos gêneros *Meloidogyne* (nematoides das galhas) e *Pratylenchus* (nematoides das lesões). A redução estimada, no final da década de 70, da produção mundial de café, causada pelos fitonematoides era da ordem de 15%, segundo SASSER (1979). Gonçalves et al. (2004) afirma que a redução da produção brasileira de café pelo ataque de fitonematoides seja da ordem de 20% e, desse total, as espécies de *Meloidogyne* são responsáveis por 75%. Os pesquisadores ainda relatam que é necessário considerar as perdas indiretas, causadas pelo parasitismo dos nematoides como a menor tolerância ao frio e à seca, e as perdas parciais na eficiência de utilização de alguns insumos, principalmente os fertilizantes, que, quando não são aproveitados pelas plantas, podem ainda ser agentes de contaminação do meio ambiente (solo e água).

Existem quatorze espécies de *Meloidogyne* que parasitam o cafeeiro, das quais seis ocorrem no Brasil (*M. paranaensis*, *M. incognita*, *M. exigua*, *M. coffeicola*, *M. goeldii* e *M. hapla*), segundo SANTOS (1997). As mais prejudiciais são *M. exigua*, pela ampla distribuição geográfica, e *M. paranaensis* e *M. incognita* pela intensidade dos danos que causam (GONÇALVES et al., 2004). Já dentre o gênero *Pratylenchus* duas espécies assumem grande importância no cafeeiro que são *P. coffeae* e *P. brachyurus*.

Segundo Sera et al. (2007), na maioria das vezes, o controle de fitonematoides em cafezais é ineficiente e se a área estiver contaminada é praticamente impossível eliminá-los. As estratégias de manejo para reduzir a população de nematoides são: cultural, biológica, química e genética. O controle químico aplicado ao solo quase sempre é ineficiente e, além disso, causa prejuízos à micro e macrofauna do solo, aumentando assim o prejuízo ao ecossistema do solo.

#### **2.5. Agricultura de Precisão e a gestão ambiental das propriedades**

A produtividade das culturas varia espacialmente, e determinar as causas dessas variações é o desafio que enfrenta a agricultura de precisão. As variações espaciais

podem ser estudadas por meio de diferentes métodos estatísticos, que permitem elaborar mapas e delimitar áreas de manejo diferenciadas (FARIAS et al., 2003). Embora esses métodos estatísticos permitam inferir sobre a variabilidade do solo (vertical e horizontal), a dependência espacial entre as amostras somente pode ser modelada por meio de análises geoestatísticas (MANZIONE; ZIMBACK, 2011).

A agricultura de precisão busca entender estas variações por meio da quantificação da variabilidade espacial e temporal dos fatores ligados às interações solo-água-plantas, visando otimizar o uso de insumos agrícolas, realizando a distribuição adequada, em cada setor do campo de produção. O conceito de agricultura de precisão apesar de ser simples é uma prática muito complexa, que exige conhecimentos de sensoriamento, manipulação de dados, controle, localização e outras informações geográficas (MOLIN, 1997).

A agricultura de precisão pode e deve se tornar grande aliada da gestão das propriedades rurais, tanto da gestão econômica, como, principalmente, da gestão ambiental, pois permite a produção de alimentos e outros produtos de alta qualidade por meio do uso racional dos recursos naturais e dos insumos agrícolas, podendo, assim, assegurar uma produção sustentável (FARIA et al., 2003).

A elaboração dos mapas de fertilidade da área de cultivo permite que sejam aplicados os elementos (nutrientes) de acordo com a necessidade quase pontual e não mais uniformemente como é realizado convencionalmente pelos produtores. Com o manejo específico, procura-se minimizar as perdas de insumos, otimizando o sistema de produção. Na agricultura de precisão, o manejo sítio-específico surge em contraposição à visão tradicional que preconiza manejo baseado nas condições médias da lavoura, o que implica na adoção de tratamentos diferenciados, segundo variações na área de cultivo, diminuindo a possibilidade de subdosagens ou superdosagens de fertilizantes, acarretando em condições adversas de desenvolvimento da cultura, além de maiores possibilidades de perdas de nutrientes e poluição de águas subterrâneas e superficiais (HURTADO et al., 2008).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Localização

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Brasil, pertencente ao produtor Ladmir de Lima, localizada no município de Araguari-MG, cujas coordenadas geográficas são: 18°32'55.99"S, 48°24'10.46"O. A altitude é de 940 metros, sendo o acesso dado pela rodovia MG 223 (Araguari /Caldas Novas/Tupaciguara), próximo ao trevo Caldas Novas/ Tupaciguara (FIGURA 4). A propriedade possui 65 hectares cultivados com cafeeiro da espécie arábica (*Coffea arabica L.*), da variedade Mundo Novo, plantados em 1989, com espaçamento de 4,0 X 0,70 metros, cultivados em um Latossolo Vermelho Amarelo (38 % de argila em média). Toda a lavoura cafeeira é irrigada por gotejamento, sendo ainda que a propriedade adota técnicas de fertirrigação e quimigação. A Fazenda Brasil tem praticamente todo o seu manejo mecanizado, excetuando-se as operações nas quais não é possível a mecanização como, por exemplo, a desbrota e algum repasse da colheita. A fazenda conta ainda com certificações como o Certifica Minas<sup>®</sup> e a Utz Certified<sup>®</sup> , sendo assim comprometida com o manejo sustentável.



FIGURA 4: Localização da área experimental-Fazenda Brasil

Fonte: Google Earth. (Marcação: o autor, 2014)

### 3.2. Amostragem

Foram coletadas amostras de solo 0 a 20 cm de profundidade, na projeção da copa do cafeeiro, tanto para a interpretação dos resultados dos atributos do solo, quanto para a avaliação dos nematoides, conforme Cantarutti et al., (1999) e Goulart (2009), respectivamente. Todas as amostras coletadas foram georeferenciadas. A malha utilizada foi de 1 hectare ( FAULIM et al., 2004), totalizando 65 pontos amostrais, sendo que a distancia mínima em utm foi de 77.

Na FIGURA 5 são apresentados os pontos amostrais (malha) da área de estudo, sendo que as amostras de solo destinadas à análise dos atributos químicos foram coletadas no mês de setembro de 2014 e as amostras de solo destinadas a análise dos nematoides foram coletadas no mês de fevereiro de 2015. A coleta de solos para avaliar a população de nematoides foi realizada no mês de fevereiro para coincidir com o período de maior nível populacional dos mesmos na área (AVELINO et al., 2009; GOULART, 2009). Para ambas as análises, a amostra composta foi constituída de nove amostras simples, isto para cada ponto da malha, sendo que o ponto central da malha foi georeferenciado, conforme esquematizado na FIGURA 6, e os demais pontos foram retirados aleatoriamente dentro da área da malha.

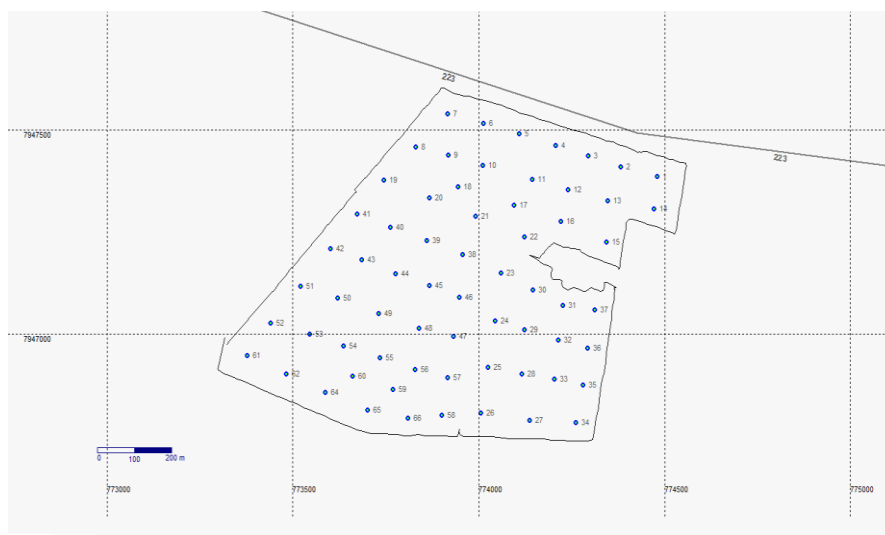


FIGURA 5: Malha amostral da área em estudo (Total de 65 pontos)

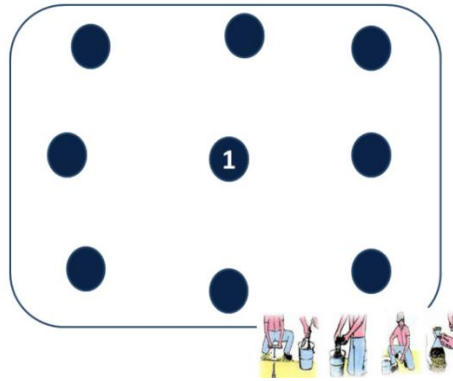


FIGURA 6: Esquema de coleta de solo para cada ponto da malha, sendo um ponto central georeferenciado e os demais pontos coletados dentro malha para compor a amostra composta.

### 3.3. Atributos analisados

Para cada ponto da malha foi realizada a análise dos atributos químicos do solo. Foram determinados os seguintes atributos: pH; matéria orgânica (MOS); fósforo (P); potássio (K); enxofre (S); cálcio (Ca); magnésio (Mg); alumínio (Al); hidrogênio (H); capacidade de troca de cátions (T); saturação de bases (V); saturação de alumínio (m); relação Ca/Mg; relação Ca/T; relação Mg/T; relação K/T; relação H+Al/T; boro (B); zinco (Zn); Ferro (Fe); Manganês (Mn) e cobre (Cu) todas de acordo com Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (DONAGEMA et al., 2011). Todas as análises foram realizadas no laboratório de análise de solo da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

Em todos os pontos da malha também foram analisadas a população de nematoides pelo método de peneiramento com flotação e centrifugação em solução de sacarose (JENKINS, 1964) para a extração dos nematoides do solo. Para a extração dos nematoides das raízes, usou-se o método do liquidificador peneiramento e flutuação centrifuga em solução de sacarose (COOLEN; D'HERDE, 1972). Identificação de espécies de nematoide foi pela configuração perineal. Utilizou-se metodologia descrita por Tihohod (1993). Galhas com fêmeas maduras foram selecionadas e, sob microscópio estereoscópico, as fêmeas, foram removidas com o auxílio de estilete para placas de Petri contendo 2 a 3 gotas de ácido láctico 45%. Terminada a extração, foram colocadas sobre uma lâmina de vidro com uma gota de ácido láctico 45%. A região anterior do corpo foi cortada e o conteúdo do nematoide, removido através de leve pressão. A partir daí foram preparados os cortes perineais de cada amostra coletada, os

quais foram dispostos em lâmina de microscopia contendo uma gota de glicerina. Com o auxílio de um estilete, posicionaram-se os cortes perineais no fundo da gota, pressionando-os levemente e enfileirando-os para facilitar a observação ao microscópio ótico. Foram colocados os cortes em cada lâmina. Após a preparação das lâminas, foi realizada a identificação, de acordo com Taylor; Sasser (1983). Todas as análises realizadas pelo laboratório de nematologia da UFU.

Com os resultados das análises de solo e dos nematoides, foi gerado o banco de dados georeferenciado, conforme apresentado nos ANEXOS A e B, respectivamente. Para o estudo dos nematoides, os resultados da análise foram transformados em variáveis discretas em relação a dois valores de referência, utilizando a seguinte forma indicada por Yamamoto e Landim (2013), na Equação 6.

$$I(x, zc) = \{0, \text{ se } z(x) > zc; \text{ ou } 1, \text{ se } z(x) \leq zc\} \quad (6)$$

Onde I é o valor transformado; x é o valor observado do atributo e zc é o valor de referência.

Assim, os dois valores de referência utilizados foram: primeiro a presença e ausência de nematoides, ou seja, maior que 1 (um) atribuiu se a variável discreta 0 (zero) e menor ou igual de 1 (um) atribuiu se a variável discreta 1 (um). O segundo critério foi o linear de dano econômico (necessidade ou não de controle) (ANEXO B). O linear econômico adotado foi de 150 nematoides (ovo, juvenis e adultos) por 150 cm<sup>3</sup> de solo, mais 1g (grama) de raízes (BARBOSA et al., 2004; DI VITO et al., 2000). No mesmo sentido que para a ausência e presença de nematoides, acima de 150 nematoides por 150 cm<sup>3</sup> de solo atribuiu-se a variável discreta zero e menor ou igual a este valor atribuiu-se a variável discreta um.

### **3.4. Análises dos dados**

Com os dados organizados, as análises dos resultados foram procedidas com o auxílio do programa R versão 3.2.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015), utilizando o pacote de dados geoR (RIBEIRO JÚNIOR; DIGGLE, 2001).

Foram realizadas análises estatísticas e geoestatísticas subdivididas nas seguintes etapas:



### **3.4.1. Análise descritiva dos dados**

Nesta etapa foram realizadas as estatísticas descritivas de todos os atributos, visando conhecer o comportamento geral dos dados e verificar possíveis valores atípicos, que pudessem comprometer as análises seguintes.

Para cada atributo do solo, foram gerados os gráficos de *box-plots* a fim de identificar possíveis valores de *outliers* de cada atributo na área. Nos atributos que apresentaram *outliers*, estes pontos foram suprimidos da análise. Também foi gerada a média, mediana, desvio padrão, variância dos dados, assimetria e curtose dos dados.

### **3.4.2. Análise descritiva espacial dos dados**

Inicialmente foram realizadas as análises de tendência dos dados por meio de gráficos de dispersão para as direções leste (x) e norte (y) de cada atributo do solo.

Para os atributos que apresentaram tendência pelo menos em uma das direções, as análises seguintes foram realizadas com os resíduos dos dados obtidos por meio da regressão linear, sendo que nestes casos específicos, ao final do processo, ou seja, depois de realizar a krigagem dos resíduos, os dados originais foram retomados através da equação da regressão para gerar o mapa temático do atributo para a área.

Nesta etapa também foram gerados os mapas de localização dos pontos amostrais na área e os histogramas de todos os atributos analisados, a fim de verificar o comportamento da variável na área e a assimetria ou simetria dos dados, respectivamente, que pode interferir na modelagem espacial e no processo de interpolação pela krigagem (YAMAMOTO; LAMDIM, 2013).

### **3.4.3. Análise do comportamento espacial e modelagem dos semivariogramas**

Esta é a etapa mais dispendiosa da análise, pois nela é verificado o comportamento espacial ou não estruturado (independência espacial) dos atributos do solo e posteriormente são ajustados os modelos dos semivariogramas, caso ocorra a dependência espacial.

A análise de dependência espacial foi realizada através da semivariância dos dados, que é uma medida de dissimilaridade dos dados (GUIMARÃES, 2004). O cálculo foi realizado preferencialmente pela fórmula indicada por Matheron (1963), e,

em algumas oportunidades, quando os dados apresentaram assimetria acentuada, foi utilizado o indicador mais robusto proposto por Cressie; Hawkins (1980).

Os parâmetros do semivariograma foram estimados a sentimento, conforme proposto por Vieira et al. (1983), associados a validação cruzada, ou seja, foram ajustados vários modelos e verificada a qualidade dos ajustes por meio da validação cruzada, sendo selecionados aqueles que melhor representavam os atributos em campo.

O processo de validação foi realizado conforme descrito em Guimarães (2004) e Soares (2006), confrontando os valores medidos pelos estimados, observando os seguintes critérios:

Se para cada um dos  $n$  locais onde se tem um valor medido  $Z(x_i)$ , estima-se um valor através da krigagem,  $Z^*(x_i)$ , então fez o gráfico dos valores pareados de  $Z(x_i)$ ,  $Z^*(x_i)$  e foi calculada a regressão linear entre eles. A regressão (Equação 7) foi obtida por:

$$Z(x_i) = a + b Z^*(x_i) \quad (7)$$

onde  $a$  é a intercessão,  $b$  é o coeficiente angular da reta e  $r^2$  é o coeficiente de correlação entre  $Z^*(x_i)$  e  $Z(x_i)$ .

Assim, se a estimativa ( $Z^*(x_i)$ ) for idêntica ao valor medido ( $Z(x_i)$ ), então  $a$  será nulo,  $b$  e  $r^2$  são iguais à unidade (um), e o gráfico de  $Z(x_i)$  vs  $Z^*(x_i)$  será uma série de pontos na linha 1:1. Na medida em que os valores de  $a$  aumentam de 0 (zero) para valores positivos, isto indica que o estimador  $Z^*(x_i)$  está superestimando valores pequenos de  $Z(x_i)$  e subestimando valores grandes. À medida que  $a$  decresce de 0 (zero) para valores negativos, o contrário acontece.

Na prática é impossível obter o coeficiente linear nulo e o angular igual a 1, desta forma, neste estudo, determinou-se os limites inferiores e superiores do intervalo de confiança de 95% para os parâmetros do modelo linear para auxiliar na decisão de não rejeição da hipótese de que os mesmos atendiam às condições supracitadas.

Entretanto, Soares (2006) entende que um teste de validação cruzada com bons índices finais não necessariamente significa que o modelo é o mais adequado a fenômeno de análise. Guimarães (2004) afirma que em muitas vezes a sensibilidade de quem está trabalhando com os dados é de fundamental importância para a opção de modelo de semivariograma.

Desse modo, a qualidade da estimativa foi medida pelo julgamento desses parâmetros, alinhada com o conhecimento sobre a área.

Foram testados os modelos esféricos, exponencial e gaussiano apresentados nas Equações 3, 4 e 5.

Após o ajuste do modelo teórico do semivariograma, avaliou-se o grau de dependência espacial, conforme proposto por Cambardella et al. (1994), conforme Equação 8.

$$GD = \frac{Co}{Co+C} \quad (8)$$

Onde: GD= grau de dependência espacial; Co = Efeito Pepita; C = contribuição (Co+C = patamar),

Sendo: GD < 0,25 Forte;

≥ 0,25 GD ≤ 0,75 Moderada

GD > 0,75 Fraca

É importante frisar que, mesmo que a dependência seja classificada como fraca, a interpolação dos dados deve ser realizada por métodos geoestatísticos, pois conforme argumentam Landim (2003) e Vieira et al. (1983), a krigagem produz estimativas não tendenciosas com variância mínima e este tipo de interpolação apresenta resultados mais precisos, quando comparados a outros métodos não espaciais, quando os dados apresentam dependência.

#### **3.4.4. Interpolação dos dados e geração dos mapas temáticos dos atributos do solo.**

Ao final da etapa anterior, houve duas possibilidades: a) atributos com dependência espacial (forte, moderada ou fraca); b) atributos sem dependência espacial.

Quando os atributos não apresentaram dependência espacial, ou seja, apresentaram efeito pepita puro, estes foram interpolados pelo método do inverso do quadrado das distâncias, que, conforme estudo realizado por Krajewski; Gibbs (1966), é o método de interpolação por estatística clássica mais assertivo.

A interpolação por meio do inverso do quadrado da distância foi realizada pela Equação 9.

$$X_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} * X_i\right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2}\right)} \quad (9)$$

$X_p$ : variável interpolada;  $X_i$ : valor da variável da  $i$ ésima localidade vizinha;  $d_i$ : distância euclidiana entre o  $i$ ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado.

Os atributos que apresentaram dependência espacial foram interpolados por meio da geoestatística, usando a Krigagem Ordinária ou Krigagem indicadora. A *Krigagem* ordinária é o método mais utilizado pela praticidade e pelos resultados que ele proporciona (YAMAMOTO; LAMDIM, 2013). A Krigagem indicadora foi utilizada nos dados transformados em 0 e 1 dos nematoides para presença e ausência e também nível dano econômico e nível de não ação, conforme já descrito.

A Krigagem utiliza o semivariograma em sua modelagem, pois ele permite verificar e modelar a dependência espacial; a partir destas estimativas pode-se elaborar o mapeamento da variável (GUIMARÃES, 2004; SOARES, 2006; YAMAMOTO & LAMDIM, 2013).

Para a aplicação da krigagem assume-se: que sejam conhecidas as realizações  $z(x_1), z(x_2), \dots, z(x_n)$  da variável  $Z(x)$ , nos locais  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ; que o semivariograma da variável já tenha sido determinado; e que o interesse seja estimar um valor  $z^*$  na posição  $x_0$ .

O valor estimado  $z^*(x_0)$  é obtido pela equação 10.

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (10)$$

em que:  $n$  é o número de amostras de  $Z(x)$  envolvidas na estimativa de  $Z^*(x_0)$ , e  $\lambda_i$  são os pesos associados a cada valor medido,  $Z(x_i)$ .

Os pesos  $\lambda_i$  são variáveis de acordo com a distância entre o ponto a ser estimado  $Z^*(x_0)$  e os valores  $Z(x_i)$  envolvidos nas estimativas (GUIMARÃES, 2004) e esse autor assim como Vieira et al. (1983) e Yamamoto; Landim (2013) descrevem, com detalhes, os procedimentos para a obtenção dos pesos na krigagem ordinária. Esse processo envolve a condição de não tendenciosidade e variância mínima para o estimador e utiliza o semivariograma ajustado para a obtenção das semivariâncias entre os valores observados e entre estes e o valor a ser estimado, ressaltando a importância da seleção do modelo de semivariograma que descreva adequadamente o comportamento espacial da variável.

De forma semelhante foi realizada a krigagem indicadora, sendo que nesse procedimento obtém-se as probabilidades acumuladas e utiliza-se o semivariograma da variável indicatriz, conforme descrevem Yamamoto; Landim (2013).

Sendo que Guimarães (2004); Yamamoto; Landim (2013) afirmam que a melhor estimativa de  $z^*(x_0)$  é obtida quando:

- o estimador é não tendencioso (Equação 11):

$$E[Z^*(x_0) - z(x_0)] = 0 \quad (11)$$

- a variância da estimativa é mínima (Equação 12):

$$Var[Z^*(x_0) - z(x_0)] = \text{mínimo} \quad (12)$$

Ainda segundo os autores para que  $Z^*$  seja uma estimativa não tendenciosa de  $Z$ , a soma dos pesos das amostras tem que se igualar a 1 (Equação 13).

$$\sum \lambda_i = 1 \quad (13)$$

E para obter a variância mínima sob a condição de não viés ou de restrição (Equação 13), utiliza-se a técnica dos multiplicadores de Lagrange (Equação 14), da qual se obtém a lagrangiana em relação a  $\mu$ , chega-se ao sistema de equação de *Krigagem* ordinária (Equação 15), sendo que estes resultados também podem ser resolvido por forma matricial conforme descrito por Yamamoto e Landim (2013).

$$L(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, \mu) = C(0) - 2 \sum_i \lambda_i C(x_0, x_i) + \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j C(x_i, x_j) - 2\mu (\sum_j \lambda_j - 1) \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i y Z(x_i, x_j) + \mu = y(x_i, x_j) \quad (15)$$

em que:  $\mu$  é o multiplicador de Lagrange.

A variância estimada, em termos da função de covariância é dada pela Equação 16.

$$6_E^2 = \mu + \sum \lambda_i y(x_i, x_0) \quad (16)$$

A interpolação dos dados, para as variáveis que apresentaram dependência espacial e não apresentaram tendência em uma das direções, foi de 2 em 2 utm, estimando ao todo 99.999 pontos para a área não coberta pela amostragem. As variáveis que apresentaram tendência e também aquelas que não apresentaram dependência espacial foram interpoladas na distância de 10,02 X 9,84 utm, estimando ao todo 8.547 pontos, em função de restrições de processamento computacional no software utilizado.

Finalizando o processo, com base nos valores interpolados, foram gerados os mapas com classes estimadas para cada atributo do solo e mapa de classes probabilidades acumuladas de ocorrências para a ausência de nematoides ou classes de probabilidade para não danos agrícolas no café.

Os resultados destes mapas foram, de forma descritiva, comparados com os manejos convencionais e aqueles adotados pela empresa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Estatística descritiva

Para conhecer o comportamento dos atributos inicialmente foram calculadas as médias, medianas, variâncias, máximos e mínimos, desvios padrões (TABELA 2). Também foram gerados gráficos de *box plot* ( ANEXO C) , sendo que estes foram utilizados com o objetivo de identificar valores discrepantes (*outlines*) que poderiam comprometer as análises, pois segundo Mingoti; Rosa (2008), quando um conjunto de dados apresenta discrepância ou valores extremos, pode ocorrer o comprometimento da estimativa dos semivariogramas, dessa forma, distorcendo as análises; os pesquisadores reforçam ainda que a presença de um único valor de *outliers*, já pode comprometer as análises.

TABELA 2: Estatística descritiva dos atributos do solo com a cultura do café da Fazenda Brasil, município de Araguari-MG, no ano de 2014. “Continua...”

Atributo	Unidade	Média	Mediana	DP <sup>1</sup>	Var <sup>2</sup>	Máx <sup>3</sup>	Min <sup>4</sup>
pH em água (pH)		5,98	6,03	0,35	0,13	6,78	5,14
Mat. Organica (MO)	%	2,14	2,17	0,59	0,35	3,31	1,08
Fósforo (P)	mg.dm <sup>-3</sup>	95,99	80,99	40,91	1673,46	164,37	39,75
Potássio (K)	mg.dm <sup>-3</sup>	203,05	178,00	77,47	6002,20	359,00	95,00
Enxofre (S)	mg.dm <sup>-3</sup>	28,15	23,57	14,53	211,26	74,54	8,68
Cálcio (Ca)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,13	2,10	0,39	0,15	3,00	1,10
Magnésio (Mg)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,64	0,60	0,13	0,02	0,90	0,30
Alumínio (Al)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,01	0,00	0,03	0,00	0,15	0,00
Hidrogênio +Alumínio	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,94	2,70	0,74	0,55	5,31	1,87
C.T. de Cations (T) <sup>5</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	6,22	6,21	0,43	0,19	7,10	5,41
S. de Bases (V) <sup>6</sup>	%	53,07	54,31	9,78	95,69	69,05	24,74
S. de Alumínio (m) <sup>7</sup>	%	0,51	0,00	1,55	2,41	7,92	0,00
Relação Ca/Mg	%	3,37	3,33	0,38	0,14	4,50	2,67
Relação Ca/T	%	34,41	35,35	6,80	46,25	47,48	15,61
Relação Mg/T	%	10,32	10,37	2,19	4,80	14,47	4,26
Relação K/T	%	8,34	7,09	3,06	9,35	15,51	3,68
Relação H+Al / T	%	46,93	45,69	9,78	95,69	75,26	30,95
Boro (B)	mg.dm <sup>-3</sup>	0,75	0,68	0,45	0,20	1,67	0,13
Zinco (Zn)	mg.dm <sup>-3</sup>	6,91	5,40	3,72	13,87	12,30	2,40
Ferro (Fe)	mg.dm <sup>-3</sup>	24,94	23,10	7,56	57,21	51,30	12,60
Manganês (Mn)	mg.dm <sup>-3</sup>	1,33	1,30	0,40	0,16	2,20	0,60

TABELA 2: “Continuação...”

Atributo	Unidade	Média	Mediana	DP <sup>1</sup>	Var <sup>2</sup>	Máx <sup>3</sup>	Min <sup>4</sup>
Cobre (Cu)	mg.dm <sup>-3</sup>	2,88	3,00	1,07	1,14	5,30	1,10
Nematoide Presença <sup>8</sup>		0,75	1,00	0,43	0,19	1,00	0,00
Nematoides Danos <sup>8</sup>		0,89	1,00	0,31	0,10	1,00	0,00

<sup>1</sup> DP=desvio padrão; <sup>2</sup> Var= Variância <sup>3</sup> Max= Máximo; <sup>4</sup> Min= Mínimo; <sup>5</sup> C.T. de Cations = capacidade de troca de cátions; <sup>6</sup> S. de Bases = Saturação de bases; <sup>7</sup> S. Alumínio = Saturação de Alumínio; <sup>8</sup> foi trabalho com as variáveis discretas 0 e 1.

O valor médio do pH, em água do solo de 5,8, é classificado como um nível bom agronomicamente. Entretanto, o valor de máximo de 6,78 já é considerado um pH alto, nível no qual haverá deficiência de micronutrientes e o valor mínimo de 5,14 já é considerado baixo, onde há presença de alumínio tóxico nas raízes do cafeeiro (ALVAREZ et al., 1999; VENDRAME et al., 2007).

O teor de matéria orgânica do solo (MOS) oscilou entre 1,08 a 3,31 com a média e mediana de 2,14 e 2,17, respectivamente; esses valores estão muito próximos aos observados por Tognon et al. (1998), no diagnóstico do solo do cerrado brasileiro, quando 65 % dos solos analisados estiveram entre 1 e 3 % de matéria orgânica. Sabe-se que no solo de cerrado a MOS é a responsável pelo ciclo e a reserva de nutrientes e o seu fornecimento para as plantas. A disponibilidade de fósforo, que é um dos nutrientes mais limitantes para as culturas em solos de cerrado, está diretamente relacionada com os níveis da MOS (CARVALHO et al., 2014). O pH, as cargas negativas que resultam na capacidade de troca de cátions (T) e a agregação que estabiliza as partículas e reduz a erosão são também fortemente associados com a MOS (CARVALHO et al., 2014). Cerca de 50% da T é oriunda da MOS (ROSOLEN et al., 2012; VERDADE, 1956).

Os valores médios dos macronutrientes P, K e S do solo são considerados muito bons (altos), já os teores do Ca e do Mg do solo são considerados médios e o teor de Al é considerado muito baixo, o que, no caso específico do Al, é interessante, já que é um elemento tóxico às plantas (ALVAREZ et al., 1999).

As relações entre os nutrientes no solo são muito importantes para o equilíbrio e funcionamento nas plantas, pois um nutriente pode inibir a absorção de outro nutriente, ou pode ter efeito sinérgico na planta. Segundo Matiello et al. (2006); Medeiros et al. (2008), os valores ideais de Ca na CTC do solo deve estar em torno de 40 a 50 %, os de Mg 15 a 20 % e os de K em torno de 3 a 5%. Observa-se que no solo analisado, apesar de níveis adequados destes nutrientes, conforme apresentado, as relações dos nutrientes



na CTC estão fora dos níveis ideais, sendo respectivamente na média de 34,41%; 10,32 % e 8,34 %, para Ca, Mg e K, o que compromete a absorção de nutrientes pelo cafeeiro.

A relação considerada ideal para Ca/Mg no cafeeiro é de 3 a 5:1 (Alvarez et al., 1999). No caso dessa relação, o solo apresenta em média 3,31, podendo-se afirmar que está dentro da faixa ideal. Importante ainda verificar que no solo H+Al (acidez trocável), chega-se a ocupar até 75% da CTC, em média ocupa 46,93 %, o que é um fator de atenção já que deveria ocupar menos de 40%.

Os valores médios dos micronutrientes B, Zn, Fe, Mn e Cu são classificados, segundo Alvarez et al. (1999), como: bom, alto, bom, muito baixo e alto respectivamente. Importante ressaltar que o excesso de nutrientes também é muito prejudicial à planta, e ainda pode vir a ser contaminante do ambiente. Atributos químicos como Zn, Cu e Mn, importantes e essenciais às plantas, quando aplicados em demasia, são muito prejudiciais tanto às plantas como a toda a microfauna do solo, prejudicando muito o ambiente, além de poder vir a ser contaminante para outros seres vivos (DIAS JÚNIOR et al., 1998).

Os valores considerados contaminantes do solo, para esses micronutrientes, seriam em  $\text{mg dm}^{-3}$  para o Zn de 50, para o Cu de 30, para o Mn de 600 (FADIGAS et al., 2002). No caso do solo analisado, esses micronutrientes ainda não se encontram próximos a esses valores.

## **4.2. Análise Descritiva Espacial**

A assimetria (ass.) e a curtose (curt.) (TABELA 3) são importantes na escolha dos métodos de cálculos e, por consequência, na interpretação dos semivariogramas e no método de krigagem a serem utilizados (YAMAMOTO; LADIM, 2013).

TABELA 3: Assimetria e curtose dos atributos do solo da Fazenda Brasil. UFU – Uberlândia – 2016.

Atributo	Unidade	Curtose	Assimetria
pH em água (pH)		-0,20	-0,41
Mat. Orgânica (MO)	%	-0,68	0,16
Fósforo (P)	mg.dm <sup>-3</sup>	-1,18	0,44
Potássio (K)	mg.dm <sup>-3</sup>	-1,00	0,62
Enxofre (S)	mg.dm <sup>-3</sup>	2,53	1,54
Cálcio (Ca)	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	0,28	-0,32
Magnésio (Mg)	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	0,21	-0,04
Alumínio (Al)	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	6,34	2,76
Hidrogênio + Alumínio	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	1,21	1,24
C.T. de Cátions (T)	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	-0,80	0,21
S. de Bases (V)	%	0,48	-0,92
S. de Alumínio (m)	%	9,34	3,09
Relação Ca/Mg	%	0,05	0,47
Relação Ca/T	%	0,40	-0,66
Relação Mg/T	%	0,50	-0,45
Relação K/T	%	-0,88	0,62
Relação H+Al / T	%	0,48	0,92
Boro (B)	mg.dm <sup>-3</sup>	-0,89	0,49
Zinco (Zn)	mg.dm <sup>-3</sup>	-1,73	0,23
Ferro (Fe)	mg.dm <sup>-3</sup>	3,38	1,61
Manganês (Mn)	mg.dm <sup>-3</sup>	-0,40	0,44
Cobre (Cu)	mg.dm <sup>-3</sup>	-1,07	0,01
Nematoides Presença		-0,56	-1,21
Nematoides Danos		4,86	-2,59

O coeficiente de assimetria é uma medida utilizada para demonstrar como e quanto à distribuição de frequência se afasta da simetria: se  $ass. > 0$ , a distribuição é assimétrica à direita; se  $ass. < 0$ , a distribuição é assimétrica à esquerda; e se  $ass. = 0$ , a distribuição simétrica (GUIMARÃES, 2000).

Mais importante que a normalidade dos dados é a ocorrência do efeito proporcional em que a média e a variância dos dados não sejam constantes na área de estudo, tendo em vista que os semivariogramas apresentam patamares bem definidos (CAVALCANTE et al., 2007).

Já o coeficiente de curtose (curt.) representa a dispersão ou achatamento da distribuição em relação a um padrão, geralmente a curva normal. Se  $curt. = 0$ , a distribuição é mesocúrtica; se  $curt. < 0$ , a distribuição é platicúrtica; e se  $curt. > 0$ , a distribuição é leptocúrtica (SILVA et al., 2010).

Com base nas informações da Tabela 3, nota-se que os atributos S, Al, H+ Al, m, Fe, nematoides presença e nematoides danos tendem a se afastar da simetria e os atributos P, S, K, Al, H+ Al, m, Zn, Fe e nematoides danos apresentaram curtose relativamente alta, sendo que os mesmos devem ser investigados com maiores detalhes quanto a possíveis *outliers* ou tendências nos dados que comprometam a análise geoestatística, por meio do estimador de Matheron. Vieira et al. (1983) ressaltam que a normalidade não é um pressuposto básico para o uso da geoestatística, como acontece em outras metodologias estatísticas, mas que a tendência à simetria deve ser observada quando se usa o estimador de Matheron. Já Cressie; Hawkins (1980) indicam que, quando ocorre assimetria à direita acentuada, pode-se substituir o estimador de semivariância de Matheron por um estimador robusto.

Na análise descritiva espacial também foram elaborados os mapas de distribuição dos elementos na área do estudo e também a verificação de tendência dos dados nas direções leste (x) e norte (y) e o histograma do conjunto de dados, conforme apresentado nas FIGURAS de 7 a 30. Os histogramas, assim como a assimetria e a curtose, são importantes na escolha do método de cálculo, conforme relatam Yamamoto; Landim (2013), e conforme é exemplificado na FIGURA 3.

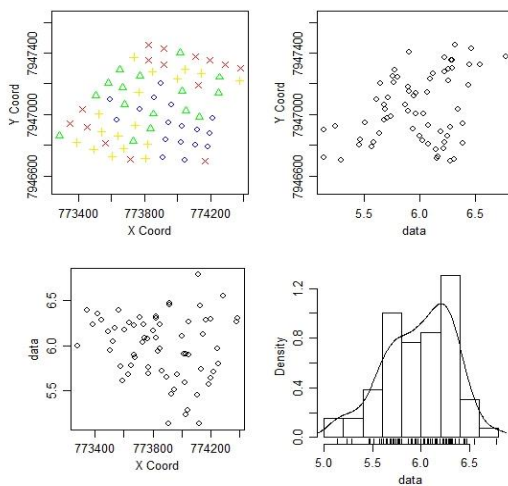


FIGURA 7: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do pH

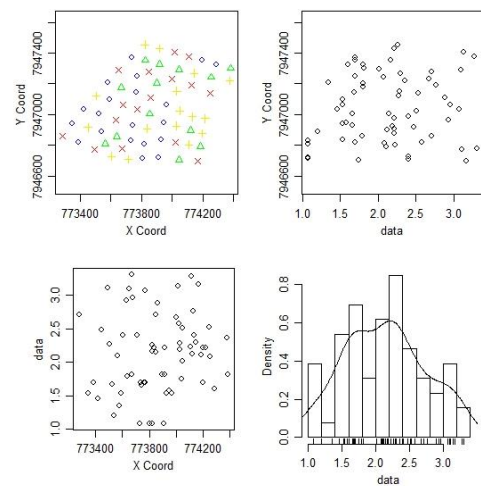


FIGURA 8: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma da MOS

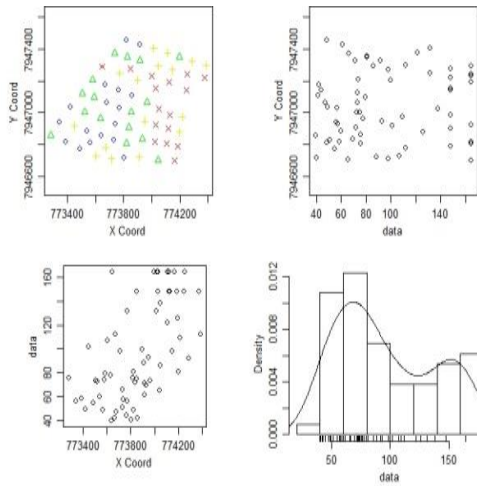


FIGURA 9: Gráficos de posição, dispersão nas direções x e y e histograma do P.

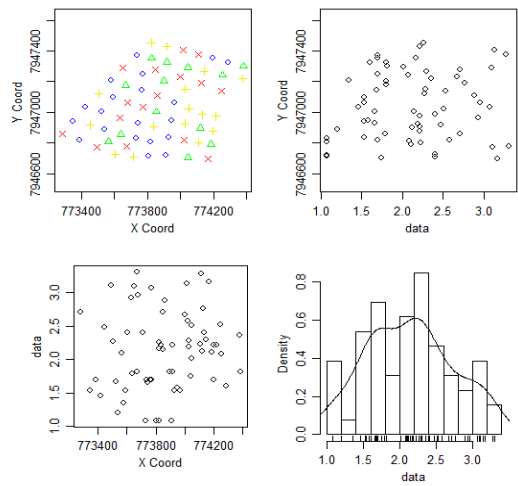


FIGURA 10: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do K.

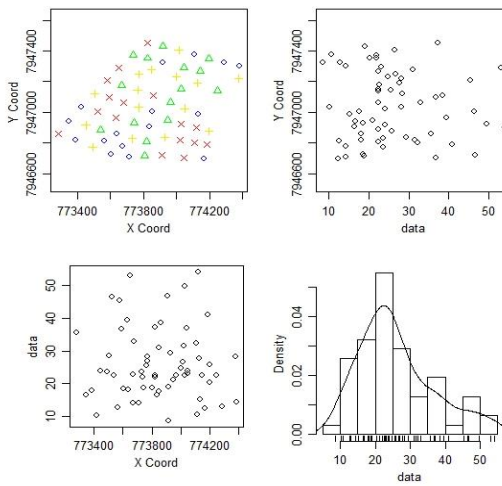


FIGURA 11: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do S.

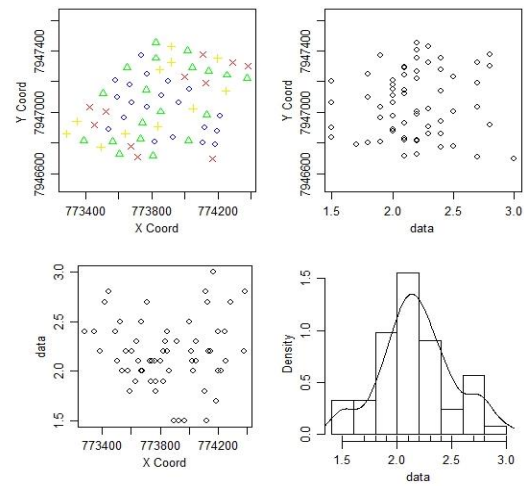


FIGURA 12: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Ca

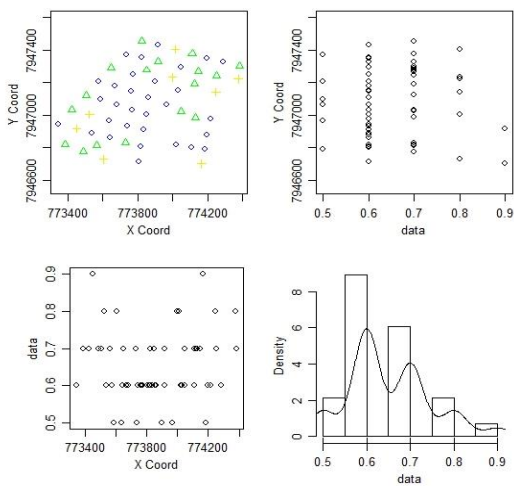


FIGURA 13: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Mg.

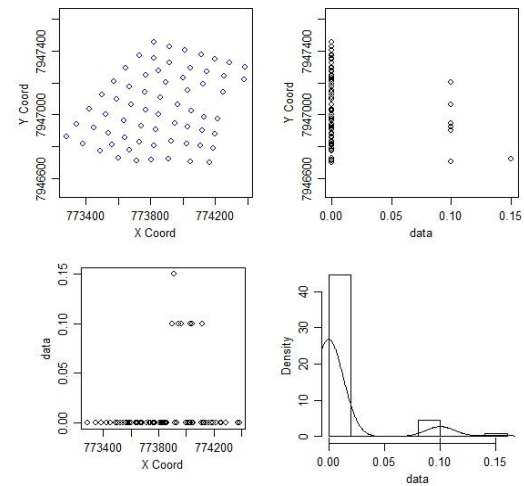


FIGURA 14: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Al.

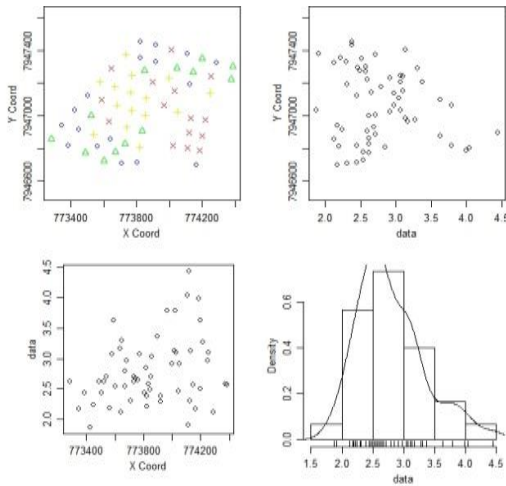


FIGURA 15: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do H+ AI

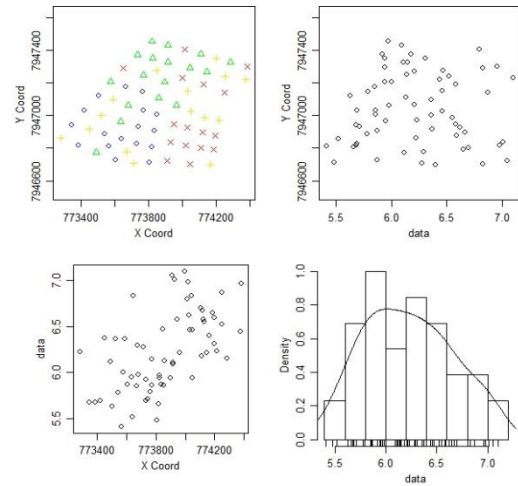


FIGURA 16: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do T.

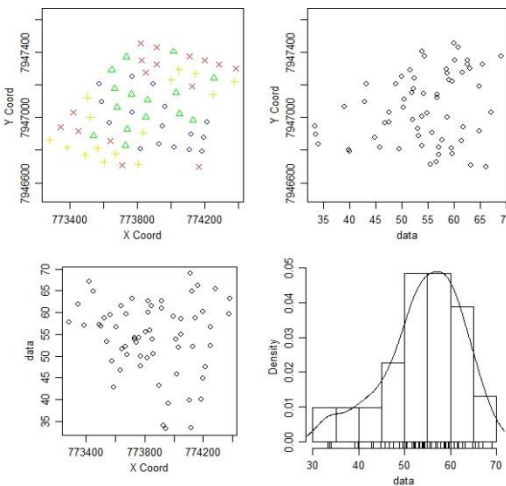


FIGURA 17: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do V.

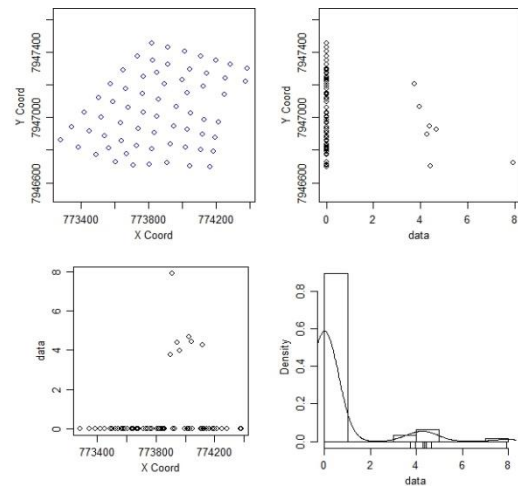


FIGURA 18: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do m.

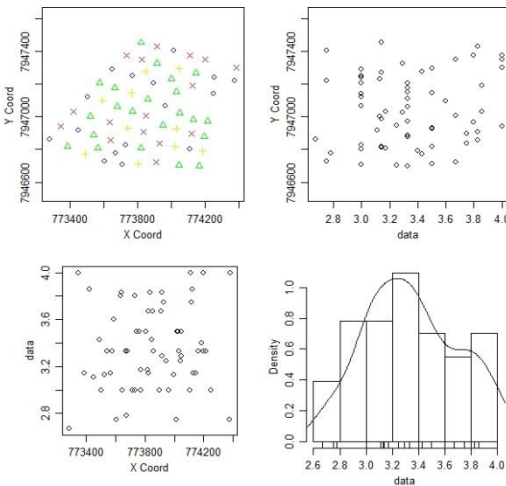


FIGURA 19: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Ca/Mg.

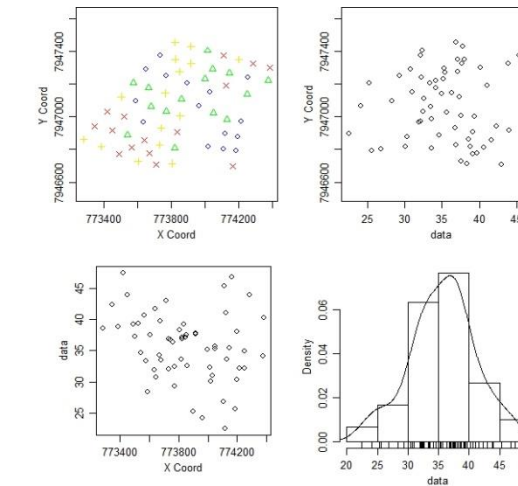


FIGURA 20: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Ca/T.

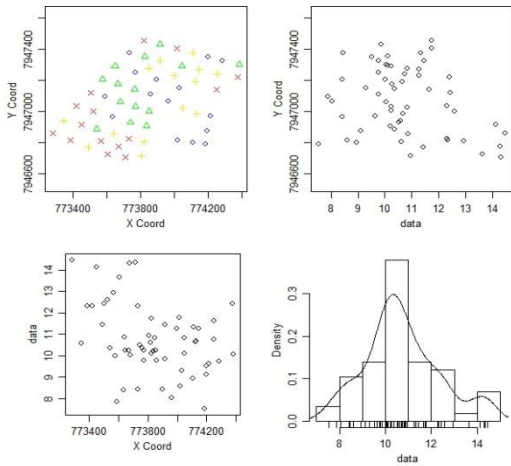


FIGURA 21: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Mg/T.

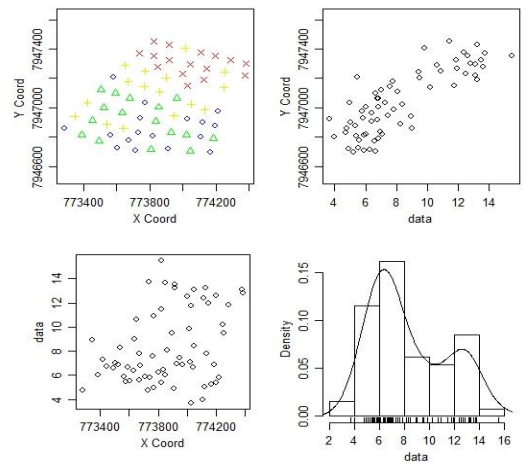


FIGURA 22: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do K/T.

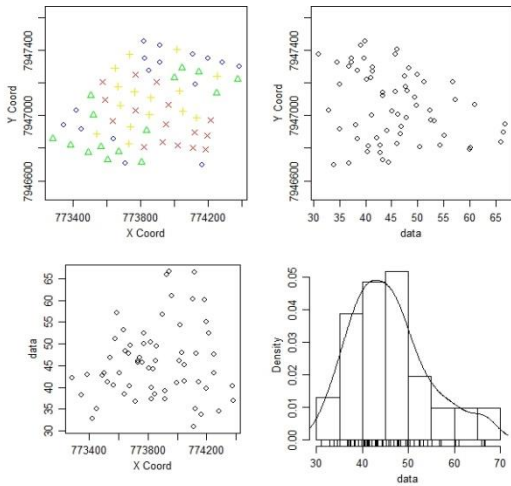


FIGURA 23: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do H+Al/T.

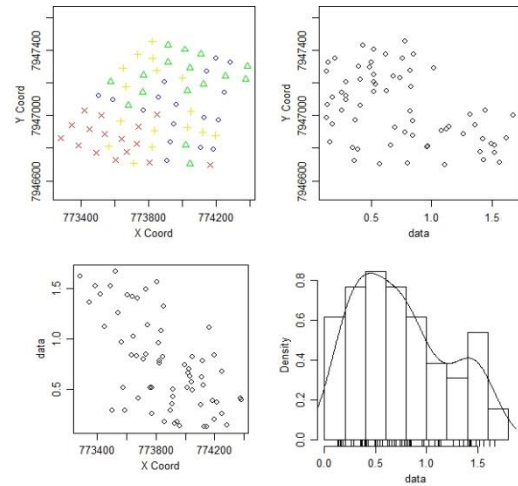


FIGURA 24: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Boro.

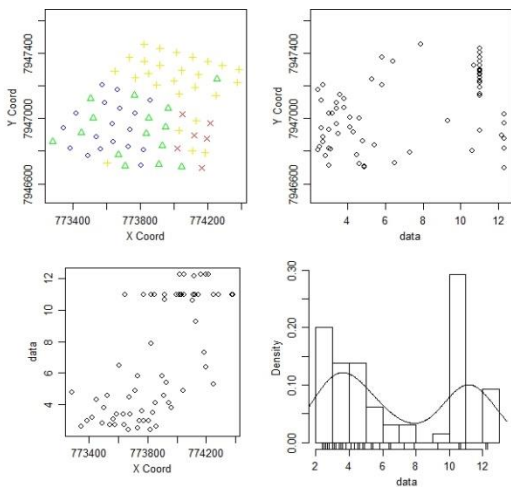


FIGURA 25: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Zn.

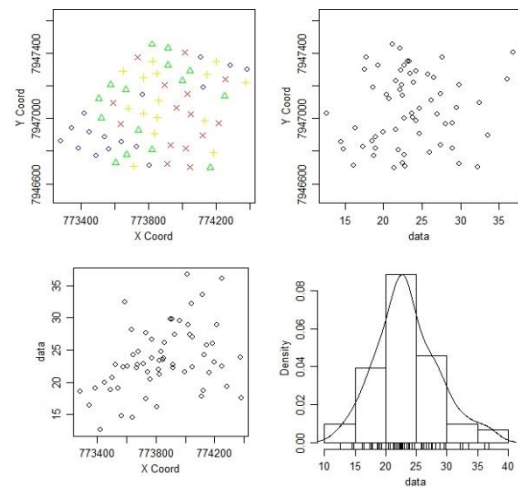


FIGURA 26: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Fe.



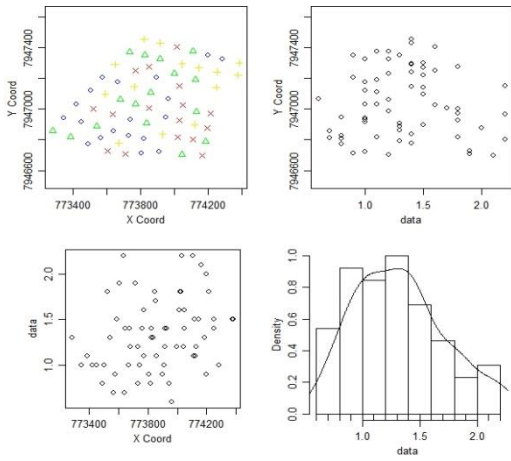


FIGURA 27: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Mn.

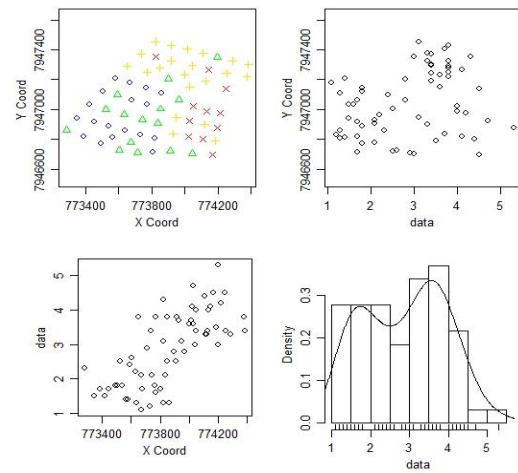


FIGURA 28: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Cu.

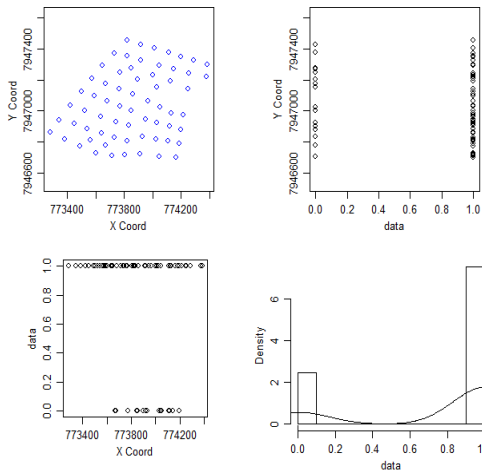


FIGURA 29: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Nematoides (presença).

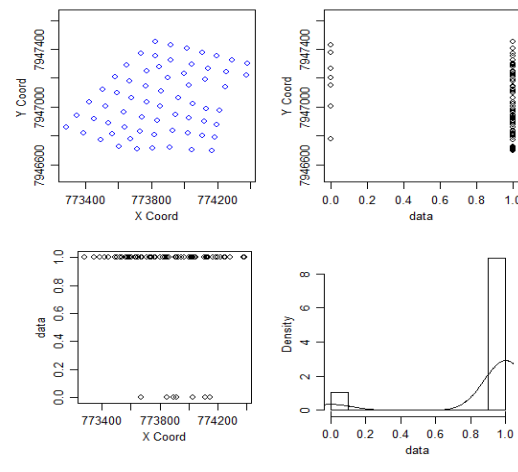


FIGURA 30: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma do Nematoides Danos.

A estatística do quartil (Q1, Q2 e Q3) é a ordenação crescente que divide o conjunto de dados em quatro partes iguais. O primeiro quartil, Q1, é o número que deixa 25% das observações abaixo e 75% acima, enquanto que o terceiro quartil, Q3, deixa 75% das observações abaixo e 25% acima. Já Q2 é a mediana, deixa 50% das observações abaixo e 50% das observações acima (PORTAL ACTION, 2015). Nessa análise é possível verificar se os atributos do solo apresentam comportamentos semelhantes em algum ponto da área, ou seja, tendência.

De modo semelhante, e com o objetivo de complementar a análise anterior, verifica-se, para ambas as direções, se os atributos apresentam tendência significativa através dos gráficos de dispersão (GUIMARÃES, 2000).

As Figuras 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 26 indicam que as ocorrências das observações de acordo com os quartis estão distribuídos em toda a área e os gráficos de dispersão dos valores em relação a X e em relação a Y indicam não ocorrer tendência significativa nos dados. Já os histogramas mostram, nesses casos, que não ocorrem assimetria acentuada para essas variáveis. Esses fatos sugerem a não necessidade de transformação de dados ou de investigação de tendências para a aplicação da metodologia de análise geoestatística usando o estimador de Matheron (VIERA et al., 1983).

Na FIGURA 14 e na FIGURA 18, devido ao grande número de valores iguais a zero, ocorre a predominância de apenas um quartil (Q1) em toda a área. Nos gráficos de dispersão e nos histogramas pode ser visualizado que a maioria dos valores é igual a zero; como a assimetria é à esquerda ainda pode se trabalhar com os dados sem a necessidade de transformação (YAMAMOTO; LANDIM, 2013)

Na FIGURA 25, que representa o atributo Zn, observa-se a predominância de um quartil (representado pelo símbolo “+” em amarelo), na parte superior, entretanto, ao verificar a tendência nas direções X e Y, esta não é significativa não havendo a necessidade de transformar os dados.

Já os atributos potássio (K) e cobre (Cu) e a relação do potássio na CTC (K/T) apresentaram tendência em uma das direções (FIGURAS 10, 28 e 22), sendo, no caso do K e KT na direção norte (y), e o Cu na direção leste (x); nesses três casos, foi necessário, ao invés de trabalhar com os dados originais, trabalhar com o resíduo dos dados obtidos através da regressão linear. Os modelos de regressão linear que descrevem a tendência para estas variáveis são apresentados nas equações 17, 18 e 19 respectivamente para K, Cu e K/T.

$$y = 0,2829 x - 2.248.250,2 \quad (17)$$

$$R^2 = 64\%$$

$$y = 0,0114 x - 90.939,09 \quad (18)$$

$$R^2 = 68\%$$

$$y = 0,0028 x - 2.188,73 \quad (19)$$

$$R^2 = 52\%$$



Sendo assim foram usados os resíduos para esses atributos em todas as fases dos cálculos, só retomando aos valores originais, ou seja, ao valor real do elemento, para a geração dos mapas temáticos desses elementos na área.

No caso dos gráficos de histogramas dos nematoides (FIGURAS 29 e 30), é importante ressaltar que eles medem as frequências da presença destes na área, e também o linear de dano econômico destes no solo. Observa-se nos gráficos que os nematoides estão presentes em mais de 20% das amostras (FIGURA 29) e em pouco mais de 10% estão acima do linear de dano econômico (FIGURA 30).

Nas FIGURAS 31, 32 e 33, são apresentadas as estatísticas descritivas espaciais dos elementos K, Cu e da relação K/T, relativas aos resíduos; observe que as tendências foram eliminadas e, por este motivo, podendo ser realizadas sem comprometimento as análises geoestatísticas.

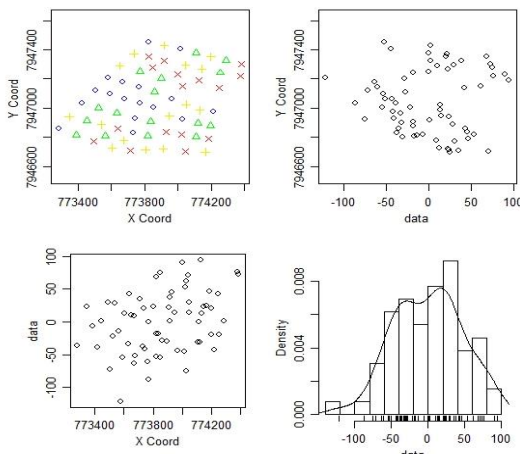


FIGURA 31: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma dos resíduos do K.

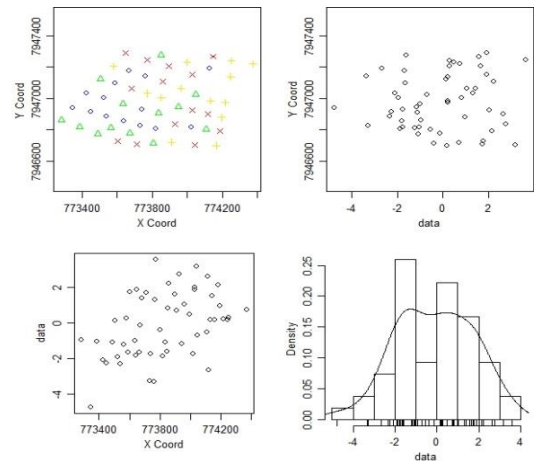


FIGURA 32: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma dos resíduos do da relação K/T.

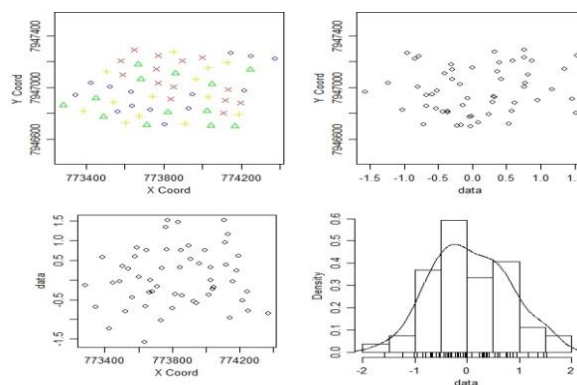


FIGURA 33: Gráficos de posição, dispersão sentido x e y e histograma dos resíduos do Cu.

### 4.3. Análise do comportamento espacial e mapeamento dos atributos do solo

Para melhor compreensão do comportamento dos atributos do solo, estes foram divididos em três grupos sendo:

- Acidez do solo, matéria orgânica e macronutrientes (todas as suas relações);
- Micronutrientes;
- Nematoides.

#### 4.3.1. Comportamento espacial e mapeamento da acidez do solo, matéria orgânica e macronutrientes

Para cada um destes atributos do solo, foram ajustados os modelos de semivariogramas, cujos modelos finais estão apresentados nas FIGURAS 34 a 50, sendo que todos foram ajustados a sentimento e escolhidos aqueles que apresentaram melhores parâmetros (TABELA 4), quando avaliados pela validação cruzada, conforme indicam Vieira et al. (1983).

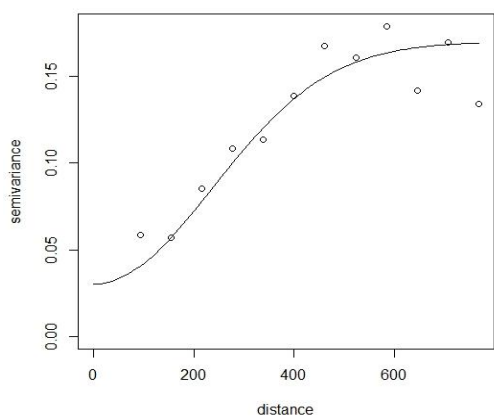


FIGURA 34: Semivariograma ajustado do pH.

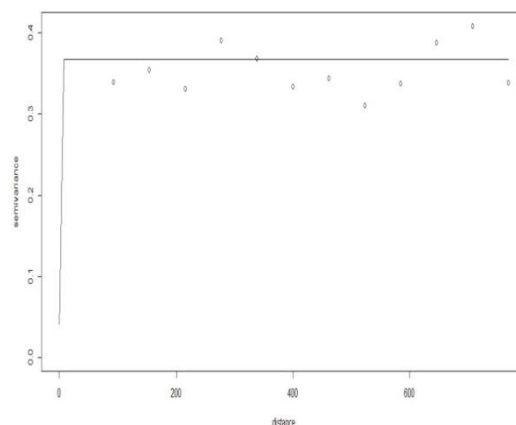


FIGURA 35: Semivariograma ajustado da MO

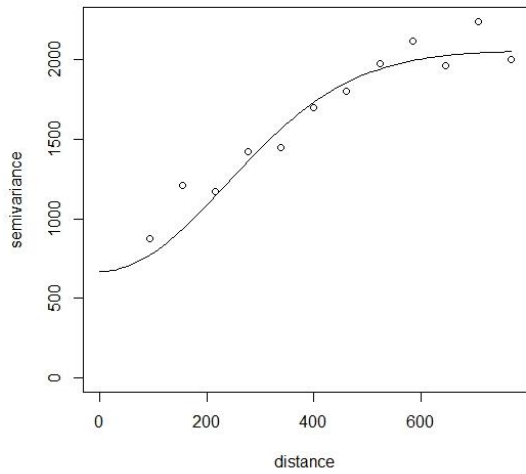


FIGURA 36: Semivariograma ajustado da P.

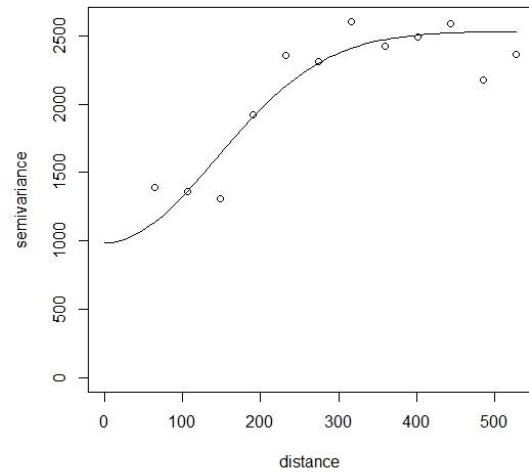


FIGURA 37: Semivariograma ajustado dos resíduos de K.

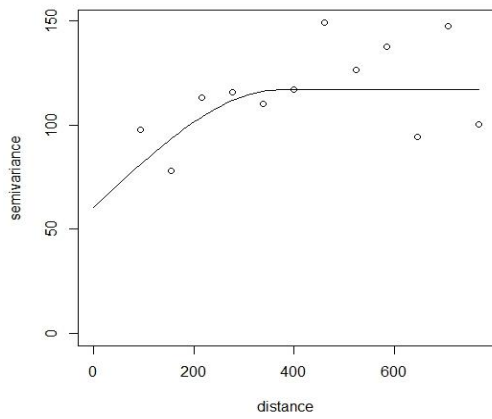


FIGURA 38: Semivariograma ajustado do S.

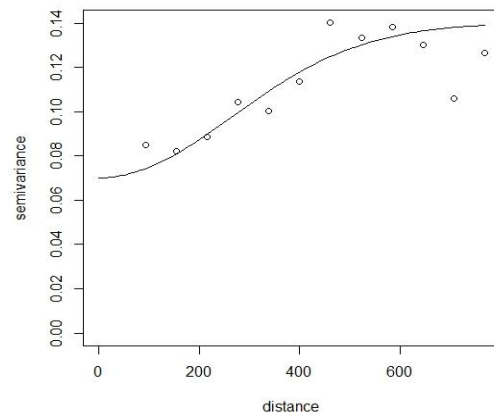


FIGURA 39: Semivariograma ajustado do Ca.

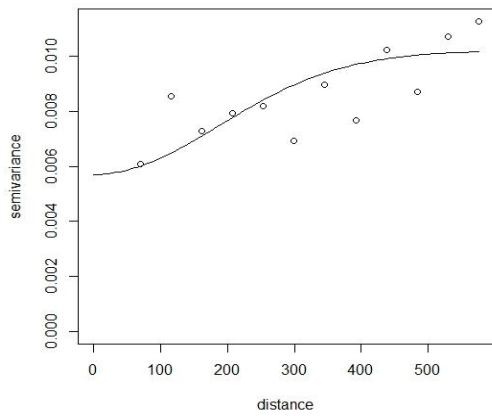


FIGURA 40: Semivariograma ajustado do Mg.

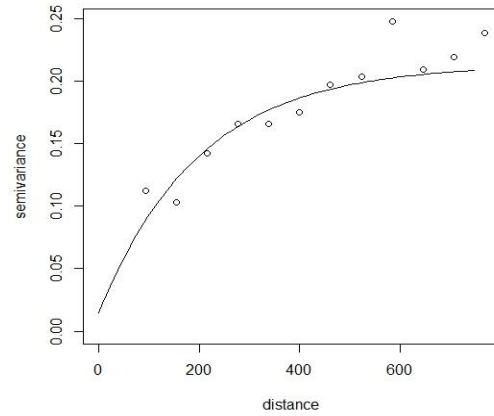


FIGURA 41: Semivariograma ajustado da T.

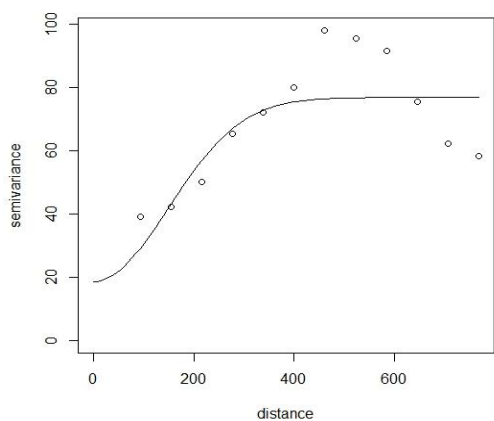


FIGURA 42: Semivariograma ajustado da V.

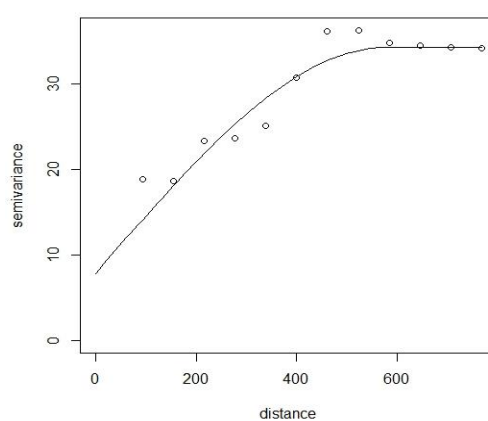


FIGURA 43: Semivariograma ajustado da relação Ca/T.

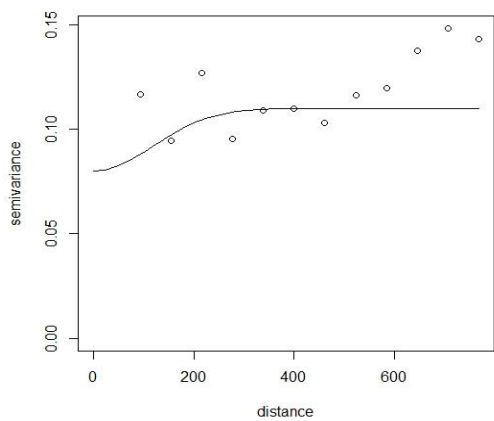


FIGURA 44: Semivariograma ajustado da relação Ca/Mg.

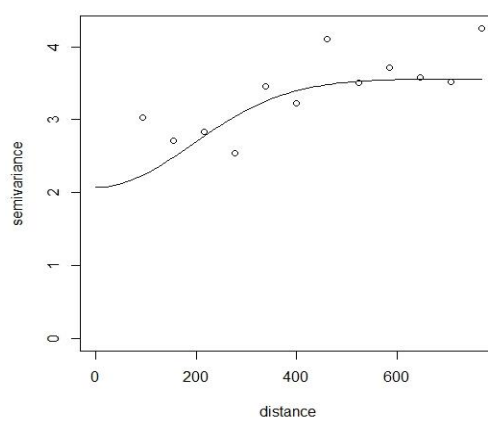


FIGURA 45: Semivariograma ajustado da relação K/T.

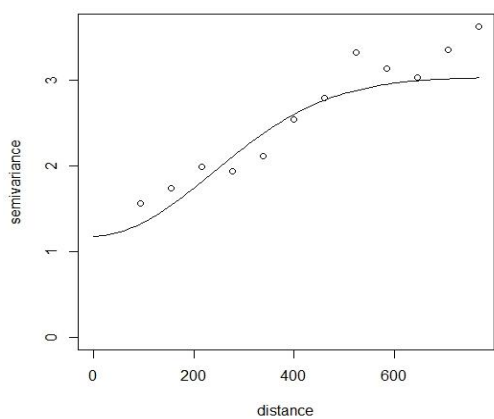


FIGURA 46: Semivariograma ajustado da relação Mg/T.

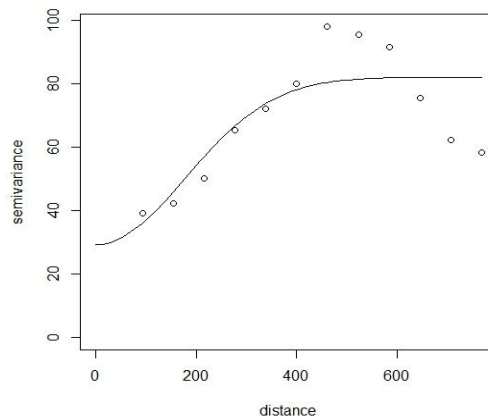


FIGURA 47: Semivariograma ajustado da relação H+Al/T.

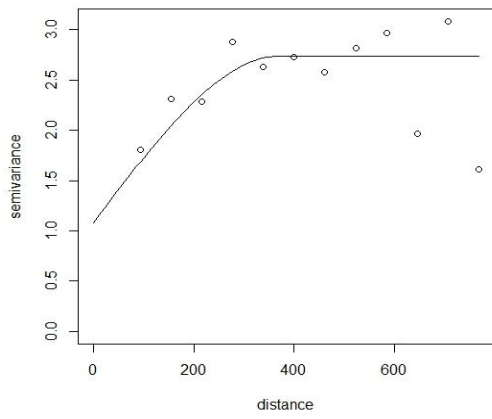


FIGURA 48: Semivariograma ajustado da saturação de alumínio (m).

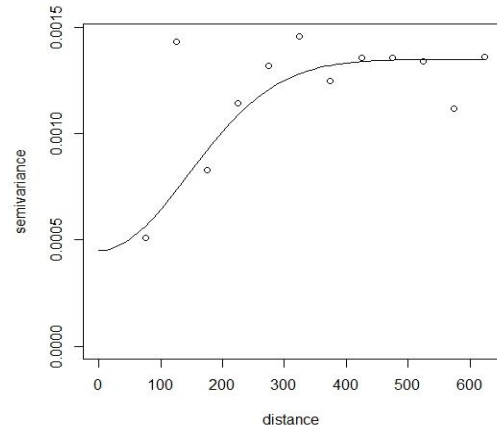


FIGURA 49: Semivariograma ajustado do Al

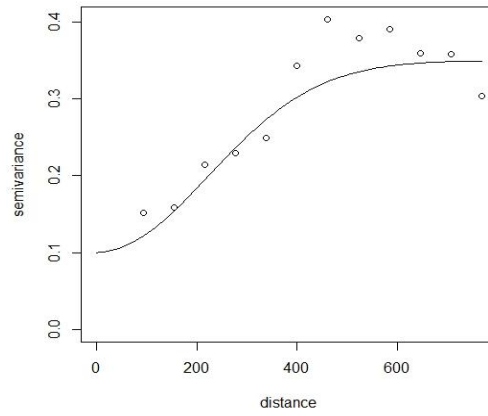


FIGURA 50: Semivariograma ajustado da acidez trocável (H+ Al).

TABELA 4: Modelos, parâmetros, relação  $C_0/C_0+C$  e grau da dependência espacial dos semivariogramas ajustados para a acidez do solo, matéria orgânica e macronutrientes. Fazenda Brasil.

Atributo	Modelo	C <sup>1</sup>	C <sub>0</sub> <sup>1</sup>	Alcance Prático	C <sub>0</sub> /C <sub>0</sub> +C <sup>1</sup>	GD <sup>3</sup>
pH	Gaussiano	0,14	0,03	575,99	0,18	Forte
MO	EPP <sup>4</sup>	----	----	----	----	Ausente
P	Gaussiano	1.392,62	666,04	575,99	0,32	Moderado
K <sup>2</sup>	Gaussiano	1.548,48	985,40	346,13	0,39	Moderado
S	Esférico	56,43	60,46	374,12	0,52	Moderado
Ca	Gaussiano	0,07	0,07	647,53	0,50	Moderado
Mg	Gaussiano	0,005	0,01	458,49	0,56	Moderado
Al	Gaussiano	9x10 <sup>-4</sup>	5x10 <sup>-4</sup>	350,62	0,33	Moderado
H+ Al	Gaussiano	0,25	0,10	539,62	0,29	Moderado
CTC	Exponencial	0,20	0,02	600,00	0,07	Forte
V	Gaussiano	58,33	18,56	359,73	0,24	Forte
M	Esférico	1,66	1,08	374,12	0,39	Moderado
Ca/Mg	Gaussiano	0,03	0,08	287,80	0,73	Moderado
Ca/T	Esférico	26,49	7,85	581,86	0,23	Forte
MG/T	Gaussiano	1,86	1,18	575,60	0,39	Moderado
K/T <sup>2</sup>	Gaussiano	1,49	2,07	467,70	0,58	Moderado
H+Al/T	Gaussiano	53,02	29,16	431,70	0,35	Moderado

<sup>1</sup> Co = efeito pepita; C = contribuição; Co +C = patamar; <sup>1</sup> método de Cambardella et al. (1994) <sup>2</sup> modelo ajustado com resíduos; <sup>3</sup> GD= Grau de dependência; <sup>4</sup> EPP=efeito pepita puro.

Para a MOS (FIGURA 35), o semivariograma se comportou como efeito pepita puro, caracterizando assim a independência espacial dos dados. Para o atributo MOS a análise geoestatística encerrou-se aqui, já que a mesma não apresentou dependência espacial. As análises subsequentes da MOS foram realizadas por meio da estatística clássica, fato que pode ser explicado pela densidade dos pontos, ou seja, a menor

distância entre pontos na malha não foi suficiente para quantificar a dependência espacial da MOS (VIEIRA, 2000).

Sanchez et al. (2005), trabalhando com geoestatística e cafeicultura na região de cerrado mineiro, em duas superfícies geomórficas diferentes, encontraram, como o melhor ajuste para todos os macronutrientes avaliados por eles, o modelo esférico. No presente estudo, apenas o S e a saturação por alumínio (m) foram ajustados ao modelo esférico. O trabalho dos autores mostra, ainda, que para a MOS, na superfície geomórfica um, ela apresentou dependência espacial moderada e na superfície geomórfica dois, assim como neste estudo, apresentou efeito pepita puro.

Santos et al. (2015), trabalhando com o café no norte do estado Capixaba, ajustou os modelos esféricos para Ca e K, exponencial para Mg e gaussiano para o fósforo, todos os modelos com um grau de dependência espacial classificado como forte; semelhante a este estudo foi apenas o modelo ajustado para o P, já que, mesmo os graus de dependência desses quatro atributos no presente estudo foram classificados como moderados.

Oliveira et al. (2009), trabalhando com a cultura do citros no Amazonas, ajustou modelos esféricos para pH, Ca, K, Mg e MOS e modelo exponencial para P, todos diferentes do encontrado neste estudo. Os autores encontram semelhante a este estudo o grau de dependência espacial do pH (forte) e do Ca (moderado), e ainda vale destacar que os autores encontram uma forte dependência espacial para a MOS que no presente estudo comportou com efeito pepita puro.

Observe na TABELA 4 que os atributos do solo pH, CTC, V e Ca/T apresentaram forte grau de dependência espacial ( $GD < 0,25$ ), os demais atributos deste grupo foram considerados de moderada dependência espacial ( $GD > 0,25 < 0,75$ ), é claro exceção da MOS que não apresentou dependência espacial. Observe ainda que o alcance real máximo foi do Ca de 647,53 utm e o mínimo foi da relação Ca/Mg que foi de 287,80 utm. Baixos valores de alcance podem influir negativamente na qualidade das estimativas, uma vez que poucos pontos são usados para realização da interpolação na estimativa de valores em locais não medidos (LIMA et al., 2010).

É importante salientar que, mesmo que vários autores consigam resultados similares, esta não deve ser a busca, pois se sabe que os atributos do solo são muito variáveis e sofrem interferência do material origem, manejo utilizado no solo, a cultura cultivada, dentre outras interferências, sendo assim muito complexo comparar os resultados.

Mas a importância da aplicação de técnicas mais precisas na avaliação de atributos do solo, como a geoestatística na atividade cafeeira, vem sendo discutida em vários estudos como os de Ferraz et al. (2012), Lima et al. (2013), Oliveira et al. (2008), Santos et al. (2015), Silva et al. (2007), Silva et al. (2010) e Silva e Lima (2012), nos quais os autores verificam a dependência espacial dos atributos em áreas cultivadas com cafeeiro.

Nas FIGURAS de 51 a 66 são apresentados os mapas temáticos de distribuição dos atributos do solo na área.

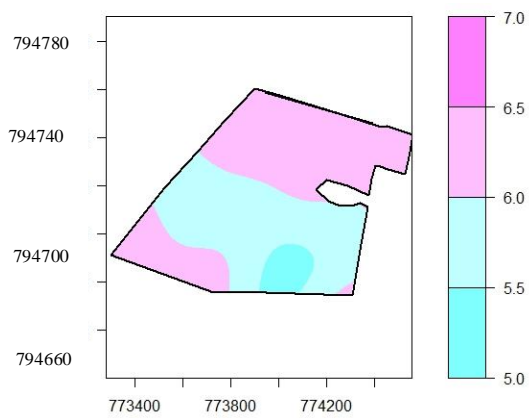


FIGURA 51: Mapa temático de distribuição do pH na área

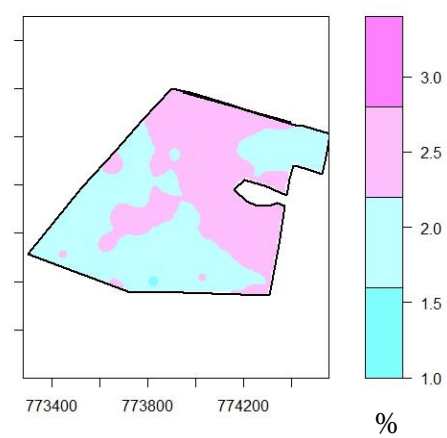


FIGURA 52: Mapa temático de distribuição da MOS na área

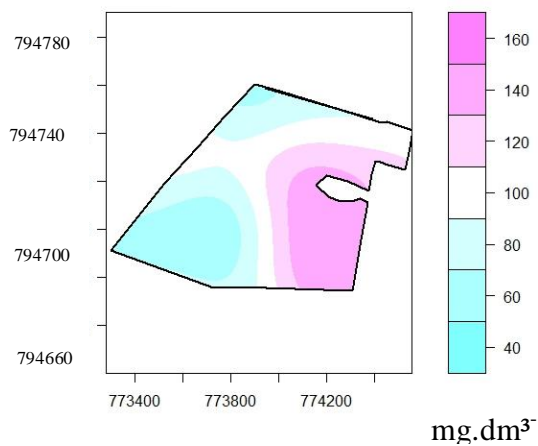


FIGURA 53: Mapa temático de distribuição do P na área

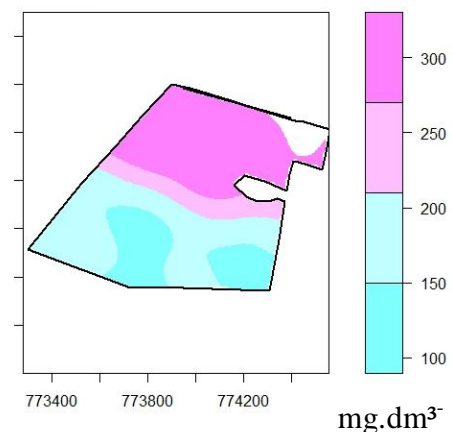


FIGURA 54: Mapa temático de distribuição do K na área



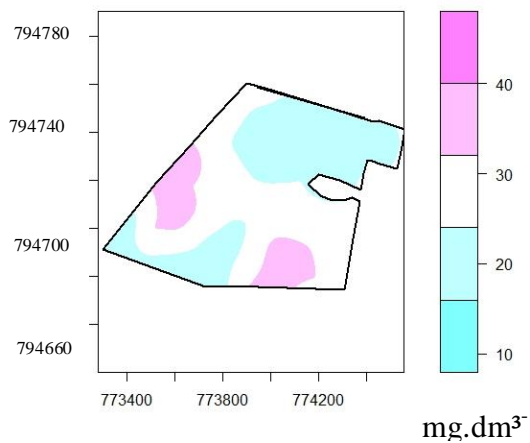


FIGURA 55: Mapa temático de distribuição do S na área.

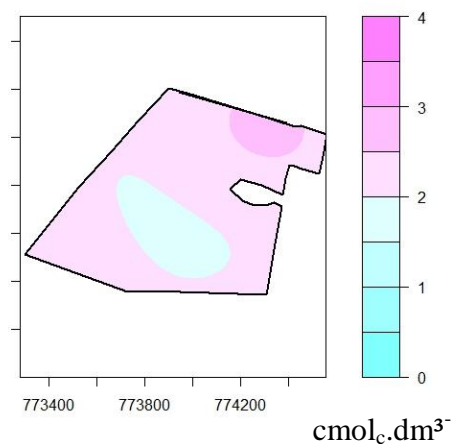


FIGURA 56: Mapa temático de distribuição do Ca na área

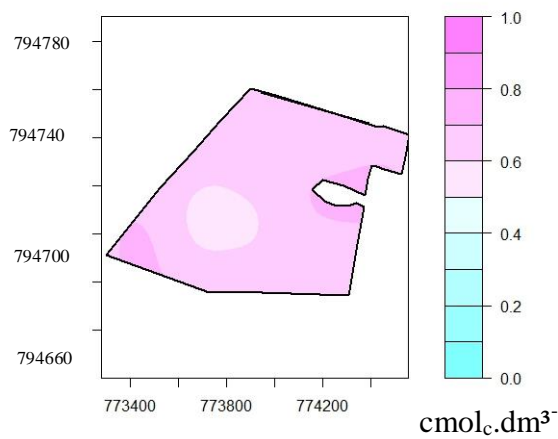


FIGURA 57: Mapa temático de distribuição do Mg na área.

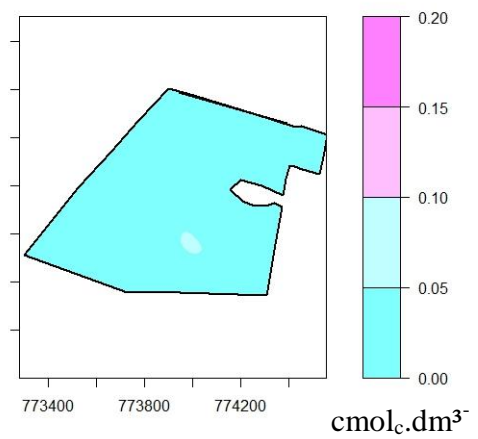


FIGURA 58: Mapa temático de distribuição do Al na área

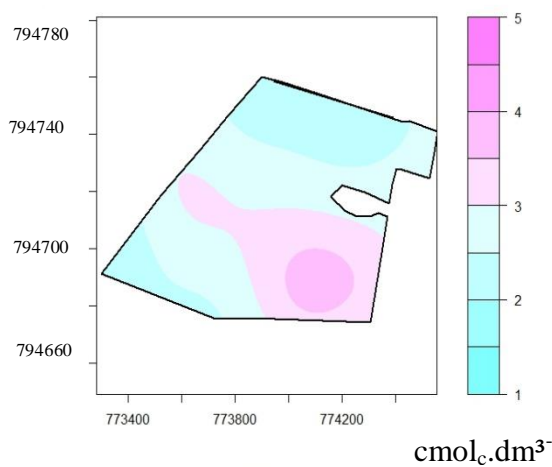


FIGURA 59: Mapa temático de distribuição da Acidez Trocável na área

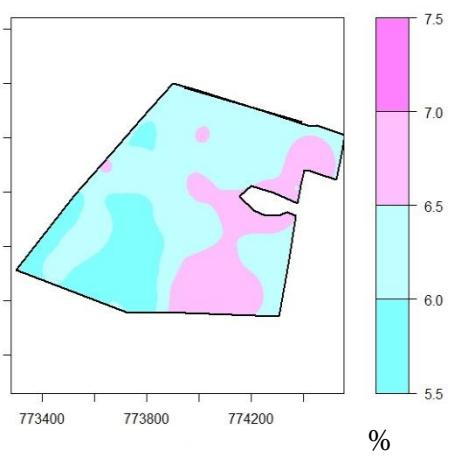


FIGURA 60: Mapa temático da T na área

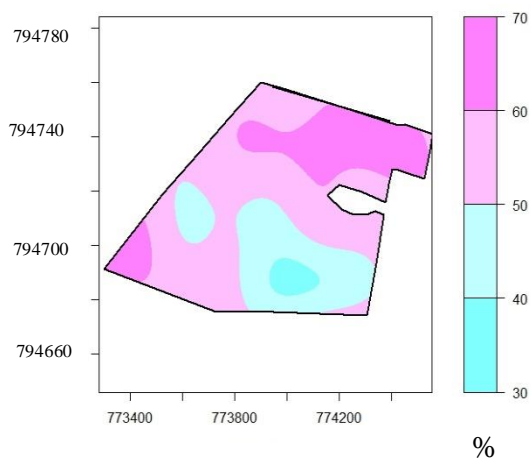


FIGURA 61: Mapa temático da V na área

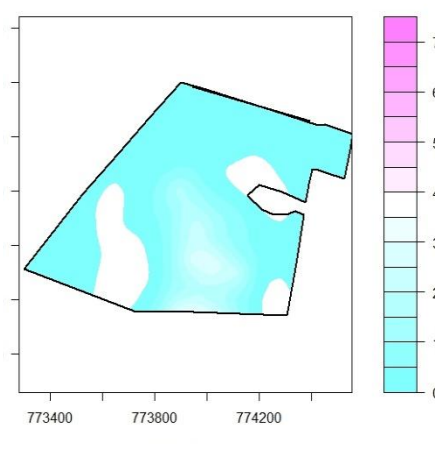


FIGURA 62: Mapa temático da saturação de alumínio (m) na área

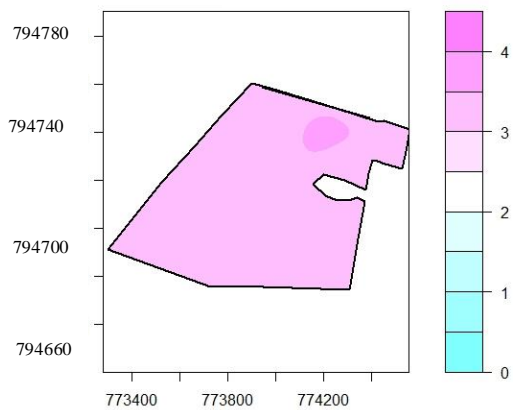


FIGURA 63: Mapa temático da relação Ca/Mg na área

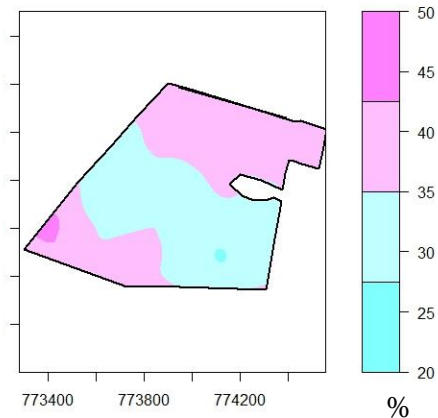


FIGURA 64: Mapa temático da relação Ca/T na área

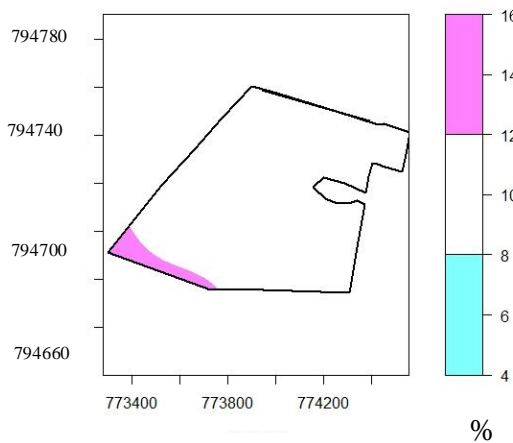


FIGURA 65: Mapa temático da relação Mg/T na área

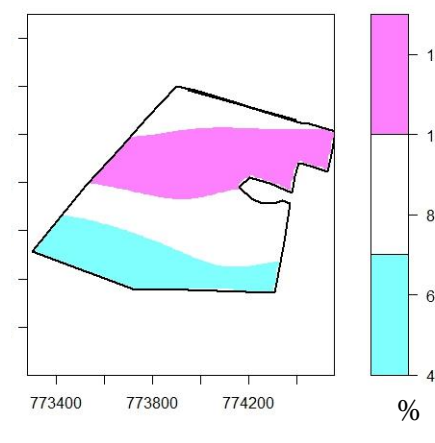


FIGURA 66: Mapa temático da relação K/T na área

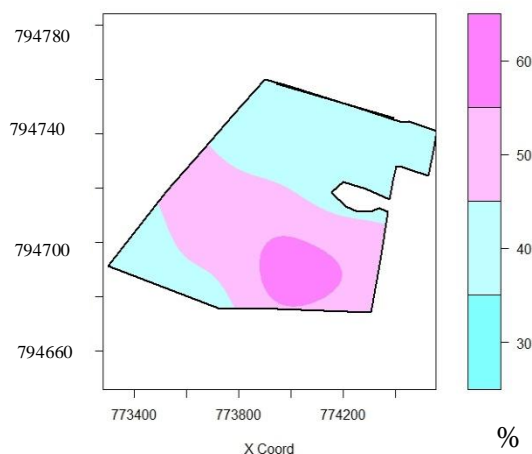


FIGURA 67: Mapa temático do H+Al/T

À exceção do mapa da MOS (FIGURA 52), que foi gerado por meio da interpolação pelo inverso do quadrado da distância (IQD), todos os demais mapas foram gerados através da *Krigagem* ordinária.

Nos ajustes dos mapas, sempre se buscou a identificação de áreas de manejo fáceis para o produtor realizar os seus tratos culturais na Fazenda Brasil, ou seja, nas quais o produtor possa realizar o manejo na propriedade, de modo simples e eficiente, possibilitando uma maior assertividade no uso da técnica, pois a divisão em classes homogêneas é passo importante na evolução do manejo uniforme (convencional) para o localizado.

Na divisão das áreas de manejo foram utilizados os critérios relativos a cada atributo do solo conforme proposto por Alvarez et al. (1999), no Manual de Recomendações do Uso de Fertilizantes e Corretivos Em Minas Gerais (5ª Aproximação).

No mapa temático do pH (FIGURA 51), pode ser observada uma pequena faixa, onde há necessidade de correção do solo neste ano ( $\text{pH} < 5,5$ ), e tem se duas faixas de pH entre 6,0 e 6,5 e uma faixa central de pH entre 5,5 e 6,0 que, a princípio, não há necessidade de correção neste ano, mas, entretanto, é uma zona de monitoramento mais constante, já que o pH está mais próximo do limite de intervenção.

No mapa temático da MOS (FIGURA 52), é possível observar duas faixas bem definidas de matéria orgânica neste solo; a primeira em torno de 1,6 a 2,2% e a segunda de 2,2 a 2,8% de matéria orgânica do solo. Estas faixas podem direcionar as aplicações de materiais de origem orgânica na propriedade, principalmente o resíduo da produção

(palha do cafeeiro), contribuindo para o acúmulo de matéria orgânica no solo que, no caso de solo de cerrado, conforme já discutido no item 5.1 deste trabalho, é de grande importância para a CTC e para a preservação das características químicas, físicas e biológicas.

Os atributos do solo P, K e S (FIGURAS 53, 54 e 55) estão divididos em áreas de manejo. Entretanto, para estes elementos, na área estudada, essa divisão é importante para o monitoramento, pois, devido ao longo tempo, utilizando adubações convencionais com a atividade cafeeira, os teores desses elementos no solo, encontram-se em níveis considerados muito bom (altos), ou seja, sem a necessidade de adubação complementar no momento.

É importante ainda observar, nas faixas da FIGURA 53, que o valor limite para o P, para ser considerado Muito Bom, é de 18 mg/dm<sup>3</sup>. No solo estudado, a zona mínima de fertilidade do P está acima de 30 mg dm<sup>-3</sup> desse elemento, sendo que o solo ainda apresenta uma faixa acima de 150 mg dm<sup>-3</sup>. Valores altos também são encontrados para K e S (FIGURAS 54 e 55), cujo linear de muito bom, é respectivamente 120 mg dm<sup>-3</sup> e 10 mg dm<sup>-3</sup>; no solo, as faixas já se iniciam acima desses lineares.

Os atributos Ca e Mg (FIGURAS 56 e 57) apresentam-se bastante constantes no solo; apenas pequenas manchas, entretanto, com pouca variabilidade entre elas, o que fica bem nítido no mapa da relação Ca/Mg (FIGURA 63), no qual observa-se praticamente uma única zona de manejo, com apenas uma pequena área, onde a relação oscila de 3 a 3,5 para 3,5 a 4,0; mesmo assim nos dois casos a relação dos atributos é considerada ótima, conforme já discutido.

O Al, no solo (FIGURA 58), tem o padrão de distribuição bem homogêneo, sendo que, em praticamente 100% da área, o seu teor é de 0 a 0,05 mg dm<sup>-3</sup> de disponibilidade; já com relação à saturação de alumínio (m) (FIGURA 62) se consegue visualizar algumas oscilações; entretanto, conforme se espera, nelas também os teores estão abaixo de um nível preocupante, pois todas as faixas estão em um nível considerado muito baixo (< 15% m), com quase totalidade da área abaixo de 2 % de m.

A saturação de bases (V) ideal do cafeeiro é de 60 %; observa-se no mapa (FIGURA 61) que apenas uma pequena faixa pode ser considerada ideal (60-70%); a maior parte está próxima ao ideal (50 a 60%), entretanto, ainda não é o ideal. Há algumas que se encontram abaixo de 50% de V, que seriam faixas mais preocupantes.

O solo tem uma T média oscilando entre 5,5 a 7,0  $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  (4,31 a 8,61  $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ , valores de referência). Foi possível identificar três faixas de manejo diferentes (FIGURA 60). Essas faixas são importantes principalmente para o planejamento do parcelamento dos fertilizantes, e na indicação de áreas onde é mais importante o incremento de matéria orgânica, buscando aumentar ainda mais a CTC nestas áreas.

Os mapas da relação do Ca/T, Mg/T, K/T e Al/T (FIGURAS 64 a 67), respectivamente, caracterizam na área além dos pontos onde a relação não está favorável, conforme já discutido, que atributo está se sobressaindo em cada região da área em estudo. Observe, na FIGURA 67, uma pequena faixa de 55 a 65% de saturação por H+Al na T e uma grande faixa ao redor desta oscilando de 45 a 55% e o restante da área de 35 a 45%, levando em consideração que o ideal, para a cultura do café, são as bases ocupar em torno de 60% da T; temos áreas em que elas estão ocupando menos de 50%, conforme já discutido em relação à saturação de bases.

#### 4.3.2. Comportamento espacial e mapeamento dos micronutrientes

Para cada um dos micronutrientes estudados, foram ajustados os modelos de semivariograma, apresentado nas FIGURAS 68 a 72, sendo que todos os modelos foram ajustados a sentimento e escolhidos aqueles que apresentaram melhores parâmetros (TABELA 5) quando avaliados (validação cruzada).

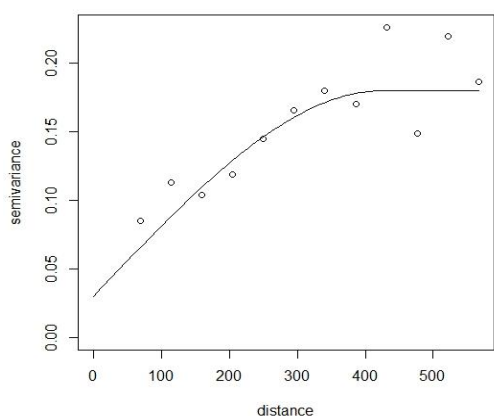


FIGURA 68: Semivariograma ajustado para o B

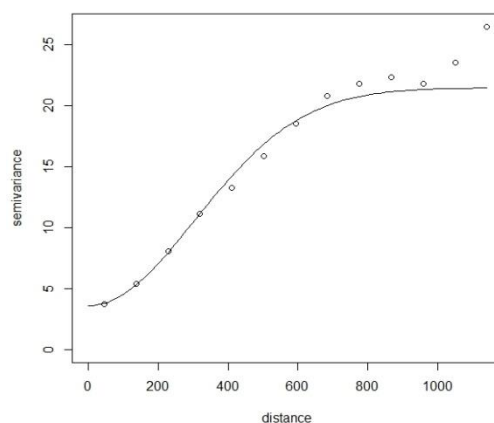


FIGURA 69: Semivariograma ajustado para o Zn

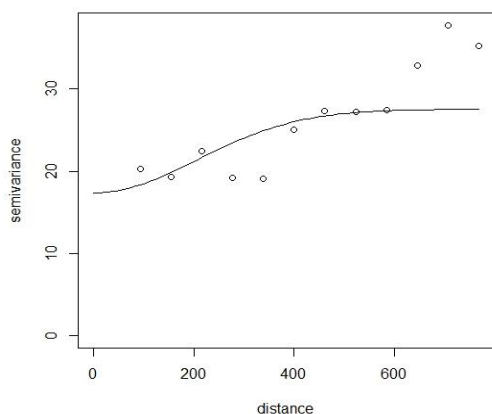


FIGURA 70: Semivariograma ajustado para o Fe.

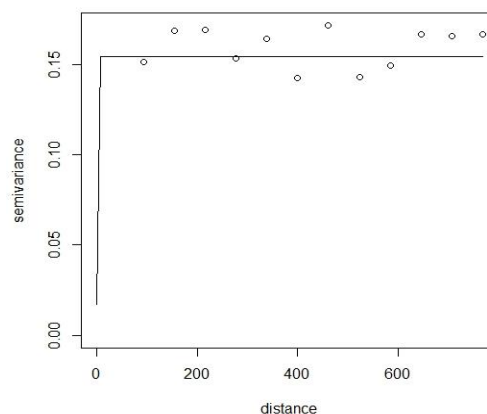


FIGURA 71: Semivariograma ajustado para o Mn.

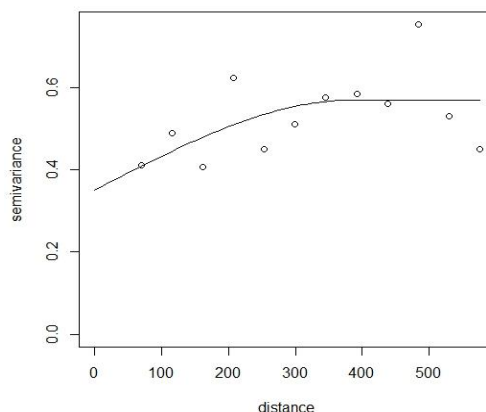


FIGURA 72: Semivariograma ajustado para os resíduos do Cu.

TABELA 5: Modelos, parâmetros, relação  $C_0/C_0+C$  e grau da dependência espacial dos semivariogramas ajustados para os micronutrientes.

Atributo	Modelo	C	$C_0$	Alcance Prático	$C_0/C_0+C^1$	GD <sup>3</sup>
B	Gaussiano	0,15	0,03	475,29	0,17	Forte
Zn	Gaussiano	17,86	3,57	747,47	0,17	Forte
Fe	Esférico	20,31	7,07	498,27	0,26	Moderado
Mn	EPP <sup>4</sup>	----	----	----	----	Ausente
Cu <sup>2</sup>	Esférico	0,22	0,35	389,27	0,61	Moderado

<sup>1</sup>  $C_0$  = efeito pepita; C = contribuição;  $C_0 + C$  = patamar; <sup>2</sup> método de Cambardella et al. (1994) <sup>3</sup> modelo ajustado com resíduos; <sup>4</sup> GD= Grau de dependência; EPP= efeito pepita puro.

Apenas para o Mn, que não apresentou dependência espacial para as distâncias amostradas, comportando como efeito pepita puro, a interpolação dos dados, assim como para a matéria orgânica, foi realizada pelo método do inverso do quadrado das distâncias (IQD), fato este que pode ser explicado por que a menor distância da malha (77 utm) não ser suficiente para quantificar a sua dependência espacial (LIMA et al., 2010).

Esse resultado é diferente do obtido por Zonta et al. (2014), no qual eles verificaram forte dependência espacial para Mn, trabalhando em solos de cerrado com a cultura do algodão.

Comparando os resultados deste trabalho com os de Zonta et al. (2014), houve consonância apenas para o B, que, em ambas as pesquisas, tiveram forte dependência espacial, sendo que no estudo de Zonta et al. (2014), o Zn teve fraca dependência e o Cu naquela oportunidade teve dependência forte.

Zanão Júnior et al. (2010) observaram para o atributo Fe, também em solos de cerrados, uma moderada dependência espacial para três profundidades diferentes; eles observaram também dependência moderada para Cu, Mn, Zn e B, neste caso, estando em consonância com este trabalho, apenas o Cu.

Conforme já destacado na descrição dos macronutrientes, mesmo que vários autores consigam resultados similares, esta não deve ser a busca, pois os atributos do solo são muito variáveis e sofrem interferência do material origem, do manejo utilizado no solo e da cultura cultivada. Os resultados acima discutidos são de culturas anuais, sendo assim muito complexo comparar os resultados.

Os mapas temáticos dos micronutrientes, à exceção ao de Mn, foram gerados por meio de krigagem ordinária, já o de Mn foi pelo IQD. Os mapas são apresentados nas FIGURAS 73 a 77.

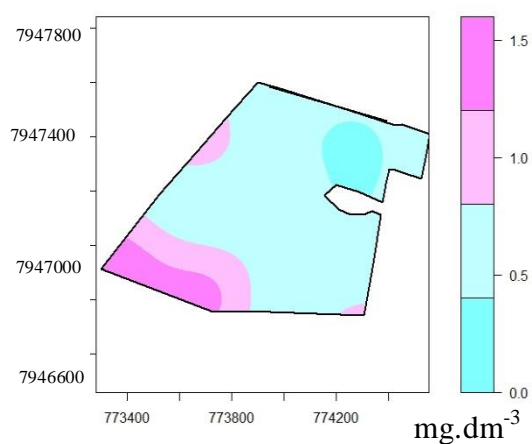


FIGURA 73: Mapa temático da distribuição de B na área.

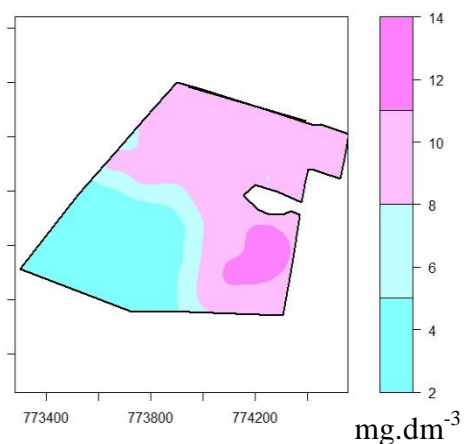


FIGURA 74: Mapa temático da distribuição de Zn na área.

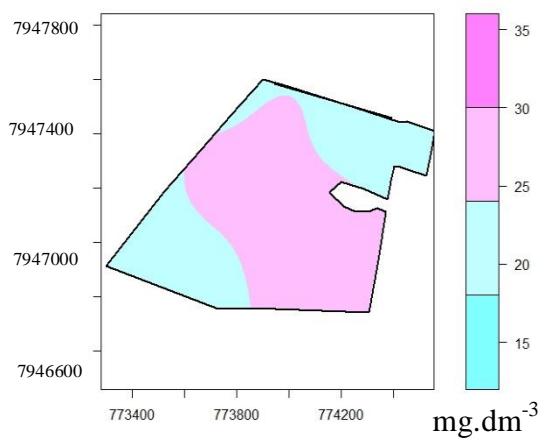


FIGURA 75: Mapa temático da distribuição de Fe na área.

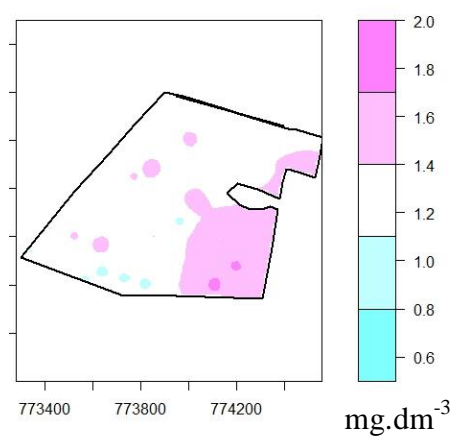


FIGURA 76: Mapa temático da distribuição de Mn na área

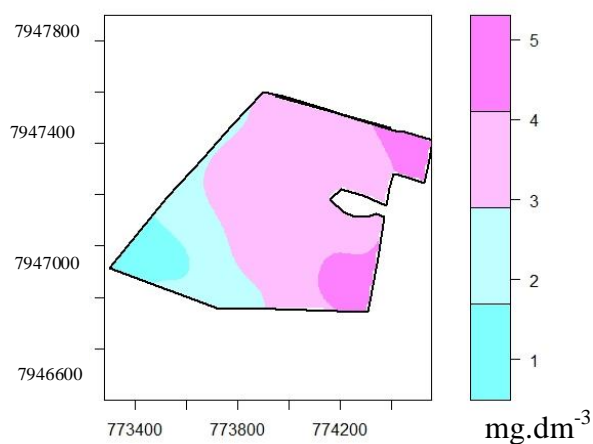


FIGURA 77: Mapa temático da distribuição de Cu na área.



De forma semelhante aos macronutrientes, procurou-se identificar as áreas de manejo que são aplicáveis no campo, baseadas também no Manual de Recomendações do Uso de Fertilizantes e Corretivos Em Minas Gerais- 5ª Aproximação (Alvarez et al., 1999).

O B (FIGURA 73) apresenta uma pequena mancha em azul mais forte, onde pode ser considerada de muito baixa a baixa a sua disponibilidade no solo, e grande parte da área com disponibilidade de média a boa; já em uma pequena parte da área, em tonalidades com altos teores de B, considerados muito bons a altos.

Os atributos Zn e o Cu (FIGURAS 74 e 77), em praticamente 100 % da área estudada, apresentaram-se com valores de distribuição considerados altos. O teor de Zn na área tem limite inferior de  $2 \text{ mg dm}^{-3}$ , que já é um valor alto, quando o comparamos com os parâmetros da literatura, sendo que este atributo chega a possuir na área uma zona de  $11 \text{ a } 14 \text{ mg.dm}^{-3}$ , valor muito alto. O Cu também tem sua zona limite inicial na área de  $1,8 \text{ mg.dm}^{-3}$ , que também é um valor alto. Nesses dois casos em específico, no manejo do solo, ao logo do tempo, deve se tomar cuidado para os níveis de toxidez desses elementos à planta, à microfauna e à microflora do solo. Também deve atentar-se para problemas relacionados à poluição da água, pois o excesso pode ser carregado para os mananciais por meio das chuvas.

O Fe se distribui na área em duas faixas de manejo específicas, uma em torno  $18 \text{ a } 24 \text{ mg dm}^{-3}$  e a segunda de  $24 \text{ mg dm}^{-3} \text{ a } 30 \text{ mg dm}^{-3}$ , sendo que os dois limites são classificados como disponibilidade média de Fe no solo (FIGURA 75).

O Mn, único mapa dos micronutrientes cujos dados foram interpolados pelo IQD (FIGURA 76), assim como o Fe, apresentou duas áreas de manejo quanto a sua disponibilidade no solo. Entretanto, nessas duas áreas, a disponibilidade do nutriente é considerada baixa pela classificação proposta por Alvarez et al. (1999).

### **4.3.3. Comportamento espacial e mapeamento dos nematoides**

Foram ajustados para os nematoides os semivariogramas apresentados nas FIGURAS 78 e 79, sendo que esses modelos foram ajustados a sentimento e escolhidos os que apresentaram melhores parâmetros quando validados. Os parâmetros e os modelos ajustados são apresentados na TABELA 6.

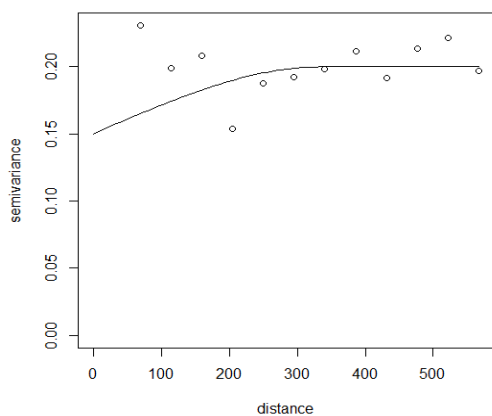


FIGURA 78: Semivariograma ajustado para ausência/presença de nematoides.

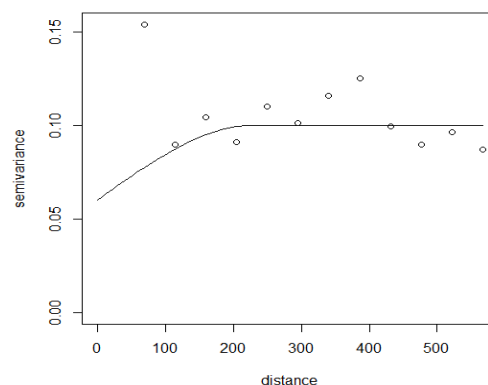


FIGURA 79: Semivariograma ajustado para o linear de dano econômico de nematoides.

TABELA 6: Modelos, parâmetros, relação  $C_0/C_0+C$  e grau da dependência espacial dos semivariogramas ajustados para os nematoides.

Nematoides	Modelo	C	C <sub>0</sub>	Alcance		GD <sup>2</sup>
				Prático	C <sub>0</sub> /C <sub>0</sub> +C <sup>1</sup>	
Ausência/presença	Esférico	0,05	0,15	337,3	0,74	Moderado
Linear de dano	Esférico	0,04	0,06	229,9	0,60	Moderado

<sup>1</sup> C<sub>0</sub> = efeito pepita; C = contribuição; C<sub>0</sub> + C = patamar; <sup>2</sup> método de Cambardella et al. (1994) <sup>2</sup>GD= Grau de dependência.

Os dois semivariogramas, ajustados para os nematoides, são classificados como moderados quanto ao grau de dependência espacial, resultados semelhantes aos encontrados por Dinardo-Miranda; Fracasso (2010), avaliando a dependência espacial de fitonematoides em cana.

Mesmo deixando para realizar a amostragem dos nematoides no mês de fevereiro, período no qual se esperava que o nível populacional fosse o maior, segundo Avelino et al. (2009); Goulart (2009), conforme já descrito, o ano de 2015 foi muito atípico na região, pois o volume de chuvas, no mês de janeiro, por exemplo, foi menos de 1/3 do esperado para o mês. O volume médio das chuvas esperado para o mês de janeiro é de aproximadamente 320 mm e, neste ano de 2015, na região, choveu pouco mais de 90 mm e, além disso, a distribuição das chuvas foi muito irregular. Já a partir de novembro de 2014, conforme pode ser observado na FIGURA 80, de acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia –INMET, (2015), prejudicando assim a

reprodução e desenvolvimentos dos nematoides já que o ambiente não foi favorável no ano 2015, pois segundo Freire et al. (2007), com menor umidade a população de nematoides tende a diminuir.

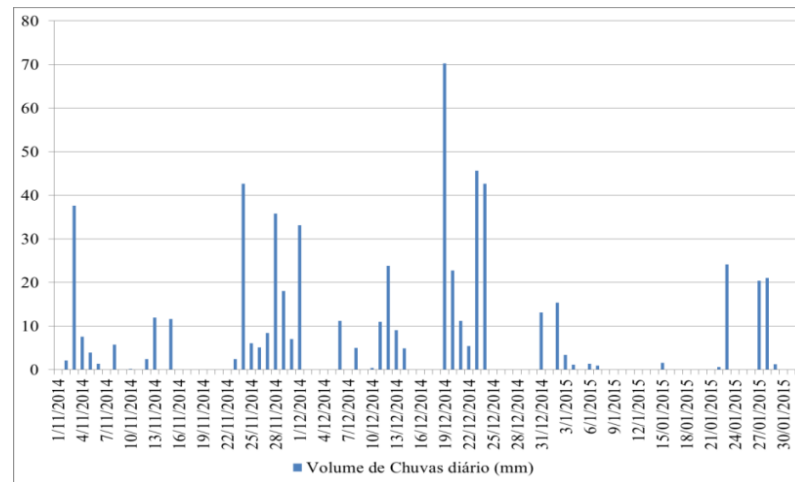


FIGURA 80: Distribuição da precipitação média para a região de Araguari –MG, segundo dados do INMET nos meses de novembro de 2014 a janeiro de 2015.

Além do tempo atípico, o manejo da propriedade também contribuiu para a redução da população de nematoides, pois nas seis safras que antecederam a safra da amostragem, o produtor aplicou os ingredientes ativos Tiametoxan + Ciproconazol (inseticida/fungicida) no mês de novembro e Tiametoxan (inseticida) no mês de março. Esses agrotóxicos não possuem a finalidade e/ou eficiência no controle de nematoides, mas acredita que podem contribuir para o controle destes, já que são agrotóxicos classificados como muito perigosos ao meio ambiente.

Os mapas temáticos, gerados por krigagem indicadora, representam assim a probabilidade de não infestação e de ausência de danos econômicos dos nematoides (*Meloidogyne exigua*) na área, conforme apresentado nas FIGURAS 81 e 82.

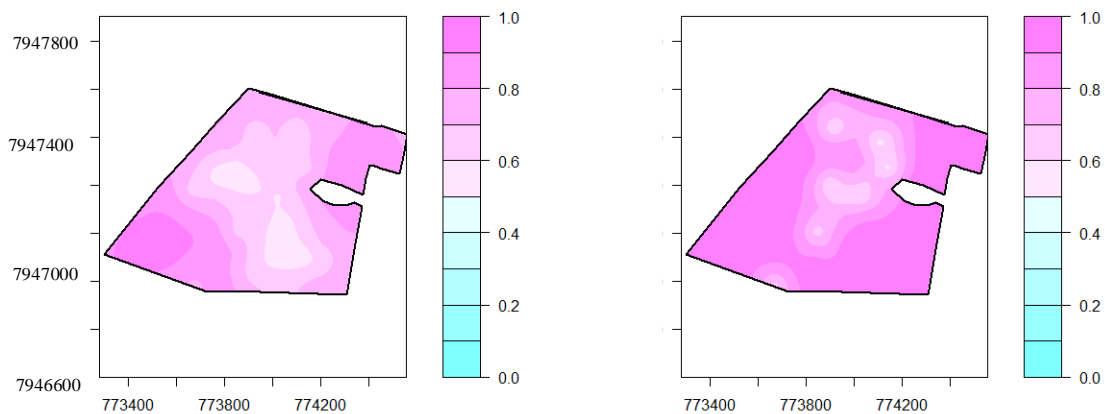


FIGURA 81: Mapa temático da probabilidade de ausência de nematoides na área.

FIGURA 82: Mapa temático da probabilidade da não ocorrência de dano econômico por nematoide na área.

Observa-se a região mais centralizada da área em estudo, tanto para o risco de não infestação (FIGURA 81), quanto para o risco do linear de dano econômico (FIGURA 82), oscilando em até 50 %. Observa-se uma faixa um pouco menor para o risco de dano econômico. Essa foi a situação no dia em que foi monitorado, pois Di Vito et al. (2000), avaliando o desenvolvimento de *Meloidogyne exigua*, no cafeeiro, observaram a grande capacidade de desenvolvimento destes, na cultura, pois onde inicialmente a densidade populacional era de 0,125 juvenis de segundo estágio (J2) por cm<sup>3</sup> de solo, dentro de quatro meses, aumentou 422,4 %, indo para 52,8 J2 por cm<sup>3</sup> de solo, mostrando, assim, a grande disseminação dos nematoides. Dessa forma, ao se propor o linear de dano econômico, o índice em campo da população deve ser monitorado constantemente.

A identificação das áreas de manejo para nematoides é de grande importância, pois, para se obter um controle eficiente deles, no campo, deve-se conhecer a sua localização e quais são as áreas de maior risco de contaminação, podendo, assim, planejar na propriedade os tratos culturais nas áreas infestadas e não infestadas. Com este planejamento, todos os tratos culturais devem ser realizados de modo a evitar expansão da contaminação na propriedade. Isto porque, depois que os nematoides chegam à lavoura, a única forma efetiva de eliminá-los é a rotação de culturas que, no caso das culturas perenes, como o café, é muito difícil. Entretanto, a rotação deve fazer parte do planejamento no médio e longo prazo (CAMPOS; VILLAIN, 2005).

Na área de estudo não foi possível identificar, claramente, como nos estudos de Pinheiro et al. (2008); Avelino et al. (2009), com a cultura da soja e do cafeeiro, respectivamente, alta correlação dos atributos químicos do solo com as populações de nematoides; isto possivelmente devido à baixa população de nematoides na área (ANEXO B). Nas avaliações de Pinheiro et al. (2008); Avelino et al. (2009), eles identificaram claramente o aumento da população de nematoides à medida que se aumenta os teores de Ca, Mg e Mn, e, em algumas de suas conclusões, associam este aumento ao maior desenvolvimento das raízes das plantas. Eles ainda ressaltam que para se conseguir essas correlações faz-se necessário trabalhar em áreas com elevadas populações de, o que não foi observado na área de estudo.

O que também deve ser levado em consideração, com relação ao baixo desenvolvimento dos nematoides nesta área, são os ótimos índices em geral de fertilidade do solo, pois esses índices permitem ao cafeeiro uma boa nutrição e isto vem favorecer a resistência da planta ao ataque de fitonematoides e outras pragas e doenças (LIMA et al., 2011). Em vários trabalhos publicados se tem a relação entre a boa nutrição da planta e a menor incidência de doenças, como por exemplo: A redução da severidade do oídio em videira foi associada ao aumento dos níveis de N, P e K (REUVENI et al., 1993), o retardamento do desenvolvimento de míldio na cebola foi associado ao potássio (DEVELASH; SUGHA, 1997), a incidência de cercospora em plantas de café foi reduzida com o aumento da adubação de K e Ca (GARCIA JUNIOR et al., 2003).

#### **4.4. Gestão do uso de fertilizantes químicos e sustentabilidade ambiental**

O uso das faixas de manejo, propostas (itens 4.3.1 e 4.3.2) por este trabalho, é de fundamental importância para o aprimoramento do uso de fertilizantes agrícolas, buscando uma aplicação mais localizada, de acordo com a necessidade de cada faixa de solo dentro da propriedade, e de acordo com a sua capacidade de retenção, pois os impactos decorrentes do uso incorreto dos fertilizantes são muitos. O primeiro impacto ao ambiente está na produção de fertilizantes, por exemplo, para a transformação do nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>) para uma forma possível de uso agrícola, o que requer muita energia. Atualmente a produção de fertilizantes nitrogenados é responsável pela demanda primária de 1,2 % da energia mundial (TALLAKSEN et al., 2015). No mundo, cerca de 110 milhões de toneladas de fertilizante nitrogenado é usado todos os

anos (HEFFER; PRUD'HOMME, 2013) e a demanda tem previsão de crescer de 1 a 1,5% ao ano durante os próximos cinco anos. (FAO, 2012).

Tallaksen et al. (2015), em estudos realizados na Suécia e EUA, apontam um consumo médio de 60 MJ por quilo de N produzido. No Brasil, Mendes Júnior (2011), avaliando o gasto energético para a produção de fertilizantes industriais nitrogenados, com ênfase na produção de ureia, constatou que são necessários 96,48 MJ para a produção de um quilo de ureia (27 kWh por quilo de ureia produzida), sendo que 86% desta energia vem de fontes não renováveis (fósseis), isto se considerar a energia elétrica que é oriunda de fontes renováveis.

O segundo efeito, que está diretamente associado ao primeiro (grande demanda de energia), a ser considerado, é o aumento da emissão dos gases de efeito estufa, já que a energia demandada normalmente, para a produção de fertilizantes, atualmente, é baseada em matriz fóssil. Avaliações dos ciclos agrícolas têm documentado que os fertilizantes nitrogenados contribuem significativamente para a produção de gás do efeito de estufa (TALLAKSEN et al., 2015), por exemplo, ao calcular a pegada de carbono de alimentos ou biocombustíveis líquidos. Um estudo realizado por Börjesson; Tufvesson (2011) concluiu que fertilizantes nitrogenados representaram 3,26% das emissões totais de gases de efeito estufa, provenientes da produção de etanol a partir de trigo sueco; e na produção de colza para biodiesel, a produção de fertilizantes nitrogenados representou até 29% das emissões dos gases.

O terceiro impacto importante pode ser observado na extração de minerais, pois a atividade mineradora tem deixado muitos impactos sociais e ambientais inaceitáveis, de longo prazo, em muitas partes do mundo. Esses impactos variam de deslocamento geográfico e cultural das comunidades indígenas a contaminação da água, ar e terra, com subprodutos tóxicos de extração e processamento que não foram suficientemente bem contidas e / ou tratados (MORAN et al., 2014).

O quarto impacto a ser considerado é a contaminação da água e do solo, devido à aplicação desses fertilizantes pela agricultura, pois o solo funciona como um reservatório, com grande capacidade de reter e complexar elementos químicos, mas sua capacidade de suporte é limitada e esse limite precisa ser determinado para cada elemento estranho que está sendo introduzido. A extrapolação dos limites de suporte do solo é que dá origem aos principais problemas de ordem físico-química do solo (GOMES et al., 2008).

Pelos processos erosivos, as águas superficiais são enriquecidas com nutrientes, principalmente N e P, o que constitui a eutrofização, cujas principais consequências, segundo Mota; Sperling (2009), são: alteração do sabor, odor, turbidez e cor da água; redução do oxigênio dissolvido; mortandade de peixes e outros animais; redução da balneabilidade dos corpos d'água.

Outro aspecto relevante diz respeito à contaminação das águas subterrâneas, que podem vir a se contaminar por meio da lixiviação dos nutrientes no perfil do solo. Fósforo, enxofre e metais pesados, por serem retidos com maior energia no complexo argilo-húmico do solo, lixiviam muito pouco, não sendo considerados de grande risco para a contaminação das águas subsuperficiais (MATOS, 2014).

Nesse sentido, as perdas de nutrientes provenientes da agricultura são um dos principais constituintes da poluição da água. Os custos para a sociedade, da poluição da água, proveniente da agricultura, pode incluir, além dos danos ao ambiente e aos ecossistemas, a redução na renda da agricultura, aquicultura e pesca e aumento dos custos de tratamento de água potável (SMITH; SICILIANO, 2015).

As observações realizadas neste estudo, por meio dos mapas temáticos, mostram que, no geral, os elementos estão dentro do recomendado para a cafeicultura, entretanto, com áreas que necessitam de complementação ou que estão acima do limite. Esse fato leva a crer que, caso ocorra uma aplicação pela média, pode-se ter excessos que provoquem os danos acima citados. Deve-se ressaltar ainda que os elementos P, K, S, Zn e Cu já se encontram bem acima do limite mínimo requerido para a cultura e que com atenção especial isso deve ser visto, pois, nestes casos, o risco de contaminação é muito maior.

#### **4.4.1. Agricultura convencional x Agricultura de precisão**

A agricultura de precisão é com certeza uma técnica que pode vir a contribuir com a melhor gestão ambiental, nas propriedades agrícolas, otimizando assim o uso de recursos como fertilizantes e corretivos do solo e até mesmo os defensivos agrícolas.

A krigagem é a técnica utilizada no presente estudo e este método proporciona maior exatidão na estimativa dos valores em pontos não amostrados e maior precisão na elaboração dos mapas, desde que este possua dependência espacial (CORÁ; BERALDO, 2006; CARVALHO et al., 2009; MANZIONE et al., 2002; RAGAGNIN et al., 2010).

O solo em estudo está localizado na região de cerrado e vem sendo cultivado com café há mais de 25 anos. Sabe-se que o cerrado ocupa quase toda área do Brasil central, com aproximadamente 200 milhões de hectares, em sua maior parte, na região Centro-Oeste. A maioria dos solos de vegetação de cerrado tem sido diagnosticada como de baixa fertilidade natural, apresentando interferência direta na disponibilidade de nutrientes para as plantas se desenvolverem e atingirem altas produtividades (KLINK; MACHADO, 2005).

Entretanto, ao analisar os valores médios de nutrientes do solo da Fazenda Brasil na área de café (TABELA 2), constatou-se que quase todos os itens avaliados possuem valores considerados altos e isto é decorrente de vários anos de adubação em agricultura convencional, muitas vezes até sem análises de fertilidade do solo, baseando se em adubações de anos anteriores.

A correção do solo do cafeeiro, recomendada em Minas Gerais, é para se elevar o pH para acima de 5,5 e elevar a saturação de bases (V) para 60%; no solo em estudo a saturação de bases média está em 53,07 % (TABELA 2). Se o produtor optar pela agricultura convencional ele terá uma necessidade de calcário de aproximadamente 430 kg de por hectare, cálculo feito utilizando-se o método de saturação de bases (Alvares et al., 1999). Entretanto, observa-se na FIGURA 61 (saturação de bases) que o solo possui uma faixa acima de 60% de V e possui uma grande mancha abaixo de 50 % de V, chegando ao valor mínimo de 24 % de V (TABELA 2). Então aqui ficam as perguntas que devem ser realizadas diariamente: a) a agricultura convencional estará contribuindo para uma maior eficiência de gestão desta propriedade? b) e o que isto tem a ver com meio ambiente?

As respostas são relativamente claras quando se observa que aplicar 430 kg de calcário na área, acima de 60 % de saturação, estará havendo um excedente nesta área, ou seja, gasto “desnecessário” e o risco de contaminação do ambiente. Por outro lado, ao se aplicar a mesma dose nas áreas abaixo de 50 %, principalmente a faixa abaixo de 40 % de V, não haverá total correção de solo e, com isso, menor crescimento das raízes das plantas, ou seja, além de não se alcançar o potencial produtivo da planta pode-se haver perdas ambientais, pela não capacidade da planta em absorver outros nutrientes, que dependem desta correção.

Em termos econômicos e técnicos, além dos prejuízos já citados ao meio ambiente e à produção, vamos detalhar o exemplo da necessidade de correção do solo: o calcário hoje com o PRNT de 90 %, posto na propriedade, está custando por volta de R\$



95,00 a tonelada. Se usarmos a média para corrigir o solo da propriedade, com o calcário supracitado, seriam necessárias 32 toneladas para fazer a correção do solo na área da Fazenda Brasil. Agora, se a correção for realizada por faixa, aplicando-se as doses realmente necessárias, observa-se que: a primeira faixa, em azul mais escuro (faixa I), com uma necessidade média de calcário de 1,8 toneladas por hectare (já com o PRNT de 90%); a outra faixa, em azul um pouco mais claro (faixa II), necessita em média de 1,03 toneladas deste calcário; e na terceira faixa (faixa III) até seria tecnicamente dispensável a aplicação de calcário, nesta safra; essa faixa é representada na FIGURA 61, pela cor rosa claro, e seria necessário 0,32 toneladas do referido calcário por hectare. Esses seguimentos representam aproximadamente 3,5 %, 22,5 % e 72,5% da área, ou seja, seria necessário para corrigir a faixa I: 4 toneladas; a faixa II: 15 toneladas; e a faixa III: 3,5 toneladas. Totalizando, seriam 22,5 toneladas a serem adquiridas, número 30 % menor que quando se faz a correção pela média, uma economia de R\$ 864,00 na propriedade apenas com calcário.

Continuando a discussão, observa-se que a aplicação de calcário nas faixas I, II, quando se utiliza a média é 70 % e 52 % menor que a realmente necessária para corrigir essas faixas; já na faixa III, a aplicação pela média é 34 % maior que a quantidade realmente necessária; na última faixa (rosa mais escuro) fica claro que toda a correção do solo é desnecessária. Esses números por si só já expressam a grande importância do uso de ferramenta como a geoestatística para gerir a aplicação de insumos nas propriedades.

A análise acima é a mesma para todos os demais nutrientes. É importante destacar mais uma vez que, na área, elementos como P, K, S, Zn e Cu estão em níveis altos no solo, conforme já discutido, e, assim, a continuidade da aplicação pode favorecer ainda mais a contaminação do solo e da água. Entretanto, quando não se conhece a distribuição dos atributos do solo na área, ou seja, quando não se têm, identificadas para cada atributo, as áreas onde são necessárias as correções, e também as áreas totalmente dispensáveis de intervenções, fica muito difícil a gestão da área. Isso porque as faixas da cultura onde a disponibilidade do atributo é menor podem apresentar os sintomas de deficiência que são identificados visualmente em campo, o que certamente levará o produtor e os técnicos a aplicarem fertilizantes na área como um todo, na ânsia de não perder a produção, e isso ocorre porque simplesmente desconhecem o comportamento do nutriente na sua área.

#### 4.5. Controle de nematoides e qualidade ambiental

O controle de fitonematoides em cafeeiro, segundo Campos; Villain (2005), pode ser dividido em quatro subgrupos, sendo eles:

- Exclusão: medidas que evitem que o parasita entre em novas áreas, neste caso, a importância da zona de manejo é com relação à adoção de um programa de manejo na propriedade para que se evite a expansão da contaminação na área;
- Terapia: aplicação de nematicidas para redução da população do parasita ou sua eliminação.
- Imunização: medidas como a enxertia sobre cultivares resistentes ou tolerantes
- Outras técnicas ainda em estudo: adição de matéria orgânica ao solo e o controle biológico.

Na sequência serão abordados estes quatro subgrupos de controle de nematoides, sob uma ótica de eficiência no controle e preservação da qualidade ambiental, com o auxílio da geoestatística.

A exclusão é o impedimento dos nematoides colonizarem novas áreas, por este motivo é necessário o zoneamento da propriedade e até mesmo de uma região, ou seja, quando existe o risco dos fitonematoides invadirem determinadas áreas, a exclusão é de fundamental importância no manejo. Observa-se que, na área estudada, são claras as regiões de maior probabilidade de ter a praga e também de haver danos econômicos (FIGURAS 80 e 81). O zoneamento possibilitará planejar as atividades da propriedade, de modo a sempre começá-las pelas áreas isentas de nematoides; depois avançar para as áreas com nematoides e, ao final de cada atividade, fazer a desinfecção de equipamentos, antes de começar qualquer nova atividade. Desse modo, faz-se a contenção da expansão da praga sem uso de qualquer meio que possa contaminar ou comprometer a qualidade do ambiente.

A aplicação de nematicidas é uma técnica que busca a redução da população de nematoides da área, mas, segundo Dong; Zhang (2006), tem seu uso cada vez mais restrito, por sua alta toxicidade e baixa eficácia de controle, depois de repetidas aplicações. Segundo Campos; Villain (2005), o uso de nematicidas pode diminuir temporariamente ou evitar o aumento da população de nematoides. Os autores relatam ainda que a grande preocupação no uso de nematicidas é que estes produtos são

dispersos em água, ficando confinados a uma zona do sistema radicular superficial ou regionalizados, causando, nos nematoides, uma seleção ou até mesmo a modificação do comportamento, ao invés de matar.

Além disso, os produtos aplicados normalmente têm grande impacto sobre a microfauna e microflora do solo, podendo, além de tudo, contaminar cursos de água. Ippolito et al. (2015) reforçam que os pesticidas agrícolas são os principais responsáveis pela morte de animais e perdas de biodiversidade nos ecossistemas mundiais. Segundo esses autores, cerca de 40 % das bacias hidrográficas do mundo correm riscos de contaminação por pesticidas.

Ritzinger; Facelli (2006) relatam que o uso indiscriminado de nematicidas, além de onerar a produção, coloca em risco a saúde dos aplicadores, consumidores e pode exercer forte pressão de seleção sobre os organismos presentes no solo, selecionando formas capazes de degradar o ambiente rapidamente. Uma das possíveis razões para o intenso uso de nematicidas concentra-se no fato de que as primeiras pesquisas com esses produtos indicavam que o seu uso regular promovia um aumento na produção, desestimulando a realização de pesquisas sobre alternativas de controle.

Usando também os mapas temáticos (Figuras 80 e 81), é possível minimizar os danos causados por esses agrotóxicos, quando o seu uso for realmente necessário, pois estão delimitadas as áreas a serem tratadas com esses produtos, evitando assim maiores prejuízos ao meio ambiente.

A enxertia sobre material resistente vem sendo adotadas para a convivência com os nematoides. Entretanto, Barbosa et al. (2010) verificaram, em pesquisa desenvolvida no estado do Rio de Janeiro, que o plantio com variedades enxertadas, em comparação com áreas infestadas com o nematoide (*Meloidogyne exigua*), levaram os mesmos níveis de atrasos no desenvolvimento da cultura (50 % na altura e 30 % no número de ramos plagiotrópicos), resultando numa queda de 21 sacas na produtividade quando comparados com as testemunhas cultivadas em áreas livres de nematoides, num período de 5 anos.

Barbosa et al. (2014) verificaram também que os genótipos enxertados produziram 41% a menos que em pés francos nas áreas isentas de nematoides. Resultados semelhantes aos de Dias et al. (2008), que verificaram que a enxertia para controle de nematoides provocou atrasos no desenvolvimento das plantas e um menor desenvolvimento da variedade de porta enxerto quando utilizada com este fim.

Assim, ressalta-se a importância de utilização de táticas de manejo, de modo a não deixar o nível populacional dos nematoides de cafezais aumentar, evitando novas áreas infestadas, tendo em vista o decréscimo de produtividade observado nos genótipos suscetíveis ao nematoide em áreas infestadas (BARBOSA et al., 2014). Uma tática de manejo importante é o zoneamento da propriedade conforme proposto neste trabalho.

Outras técnicas de controle, que podem ser utilizadas e vêm sendo muito estudadas em campo, são o controle biológico e adição de matéria orgânica.

O controle biológico vem sendo considerado uma das alternativas, dentro de uma abordagem integrada, em que se busca assegurar o desenvolvimento sustentável da agricultura. Assim, o uso de inimigos naturais é promissor e torna-se um fascinante campo de investigação, sendo potencialmente útil dentro das medidas duráveis e podendo reduzir populações de fitonematoides para limiares abaixo do linear de dano econômico (CADIOLI et al., 2009).

Uma variedade de microrganismos, tais como fungos, bactérias e actinomicetes tem sido usada com sucesso como agentes de biocontrole de nematoides em culturas diferentes (CAMPOS; VILAIN, 2005).

Desse modo, um bom agente de controle biológico deve ser capaz de competir e persistir no ambiente rizosfera e proporcionar benefícios continuados para culturas anuais (ZHANG et al., 2015).

O uso de matéria orgânica para o controle de fitonematoides vem crescendo e, principalmente associado ao controle biológico, a adição de matéria orgânica por si só, não é muito eficiente, mas é uma técnica complementar de controle (CADIOLI et al., 2009).

O mecanismo de ação da matéria orgânica na supressão de fitonematóides tem sido atribuído, na maioria das vezes, à melhoria da estrutura dos solos. Esta inclui desde mudanças no pH, na umidade e em propriedades químicas e físicas do solo, resultando em maior aeração, capacidade de retenção de água, melhoria na nutrição da planta ou no desenvolvimento de microrganismos que competem com os nematoides fitopatogênicos, por meio da liberação de nutrientes à planta, aumento da população de predadores ou de microrganismos parasitas existentes no solo, ou por meio da liberação de metabólitos tóxicos devido à sua decomposição, como compostos fenólicos, NH<sub>3</sub> ou nitrito, íons de Ca<sup>+2</sup> (CADIOLI et al., 2009).

Cadioli et al. (2009) ressaltam ainda que essas mudanças são altamente dependentes da relação C/N do material utilizado, do favorecimento ao crescimento e

desenvolvimento de espécies antagonicas existentes no solo, dos metabólitos liberados por meio de sua de composição e da quantidade do material aplicado, seja para a supressão do fitoparasita, seja para a tolerância da planta. O manejo da matéria orgânica baseia-se no uso de esterco animal, rotação e intercultivo com culturas rentáveis ou para cobertura do solo, adubação verde, compostagem.

#### **4.6. Agricultura de Precisão um alerta à imprecisão**

Nos últimos anos, graças aos avanços científicos e tecnológicos no campo da informática e comunicação, intrínsecas ao processo de globalização, tem se observado um grande avanço e difusão de softwares e aplicativos comerciais destinados à análise e tratamento de dados espaciais aplicados aos diversos campos do conhecimento. A gama de avanços tecnológicos e a conseqüente redução de custos, aliada à facilidade e simplicidade de uso de plataformas destinadas ao processamento da informação, têm permitido que cada vez mais pessoas tenham acesso à utilização e aplicação de tecnologias de análise espacial, o que tem permitido uma crescente popularização e disseminação da utilização dessas tecnologias para aplicação nas mais diversas áreas (REZENDE et al., 2015).

Todavia, a associação de procedimentos de análise de dados espaciais e técnicas estatísticas requerem conhecimentos básicos no tocante às duas áreas, no sentido de conferir aos produtos gerados qualidade nas informações apresentadas e, conseqüentemente, aplicabilidade prática. É comum na utilização de softwares de SIG e de análises estatísticas no geral, a utilização da configuração padrão (default), que é definido automaticamente pelo software a partir das variáveis inseridas, sem levar em conta as particularidades dos dados, procedimentos metodológicos e ajustes necessários aos modelos, o que pode desembocar em modelos equivocados ou sem validade (REZENDE et al., 2015).

Rosa (2011) destaca que há um descompasso existente entre a tecnologia disponível e a efetivamente utilizada para tomada de decisões, sendo que tal contraste pode ser justificado pelo ritmo lento com que o conhecimento teórico e procedimental necessário se dissemina entre os utilizadores.

Esse desconhecimento pode levar a decisões não confiáveis ou com pouca precisão nas propriedades que muitas vezes geram informações que, ao invés de

contribuir para uma melhor gestão, acabam acarretando mais perdas nas propriedades, tanto ambientais, quanto perdas econômicas.

Além disso, a agricultura de precisão vem trabalhando muitas vezes com estatística clássica, sem considerar a dependência espacial dos atributos do solo e esta variabilidade espacial vem sendo relatada desde o início do século passado por autores como Montgomery, 1913; Waynick 1918; Harris 1920; todos citados por Viera et al. (2000). O autor destaca ainda que, em 1971, surgiu a geoestatística aplicada à agricultura, que é uma ferramenta que possibilita analisar esta variabilidade no solo. Assim, ao analisar os atributos no solo da propriedade Fazenda Brasil, verificou-se que apenas a MOS e Mn, dentre todos os atributos analisados, não apresentaram dependência espacial para as distâncias analisadas.

Observa-se que, neste caso, para os elementos MOS e Mn faz-se necessário usar outra técnica de interpolação, que no caso deste trabalho adotou o IQD. Usar os programas de geoestatística sem o devido conhecimento pode levar também a resultados que não condizem com a realidade, conforme Rezende et al. (2015) destacam que o *default* dos programas sempre ajustaram modelos de semivariograma, até mesmo se os dados não apresentaram dependência espacial. Então, no caso da geoestatística, é sempre importante o conhecimento para avaliar o modelo de semivariograma que está sendo ajustado, o melhor para aquela situação e se realmente representa o comportamento do semivariograma.

## 5 CONCLUSÕES

Os modelos geoestatísticos, ora apresentados para os atributos químicos do solo, trazem muitos benefícios para a atividade cafeeira, podendo-se, assim, fazer uso dos fertilizantes, nos locais em que há realmente necessidade, e conforme as quantidades mais adequadas. Pode-se, também, monitorar área com excesso de nutrientes evitando assim contaminações dos recursos naturais.

A análise espacial se mostra também de grande valia no manejo de fitonematoides, já que se consegue visualizar as áreas infestadas e também as áreas livres de infestação, podendo, desse modo, se planejar as atividades da propriedade de modo a não espalhar a infestação. E, além disso, pode-se direcionar a aplicação de agrotóxicos (químicos ou biológicos), nas áreas onde realmente seja necessário o controle.

Devido à pequena presença de nematoides, no solo em estudo, não foi possível correlacioná-los com a fertilidade do solo.

Por fim, conclui-se que é muito mais vantajosa a agricultura de precisão, tanto para fins econômicos, quanto para o meio ambiente, quando comparada com a agricultura convencional, sendo que na agricultura de precisão obtém-se, uma melhor gestão dos recursos naturais por se ter todos eles mapeados e também por se ter mapeadas todas as áreas de risco.

## 6 REFERÊNCIAS

ALVAREZ V. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS – ANDA. **Consumo de fertilizantes**. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/index.php?mpg=&ver=por>>. Acesso em: 04 jun. 2015.

AVELINO, J. et al. Relationships between agro-ecological factors and population densities of *Meloidogyne exigua* and *Pratylenchus coffeae* sensu lato in coffee roots, in Costa Rica, **Applied Soil Ecology**, Netherlands, v. 43, n.1, p. 95-105, set. 2009.

BARBOSA, D.H.S.G. et al. Field Estimates of Coffe Yield Losses and Damage Threshold by *Meloidogyne exigua*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 28, n. 3, p. 49-54. jun. 2004.

BARBOSA, D. H.S.G.; SOUZA, R. M.; VIEIRA, H. D. Field assessment of coffee (*Coffea arabica* L.) cultivars in *Meloidogyne exigua*-infested or –free fields in Rio de Janeiro State, Brazil, **Crop Protection**, London, v. 29, n 2, p. 175-177, fev. 2010.

BARBOSA, D.H.S.G. et al. Efeito da Enxertia e do Nematóide *Meloidogyne exigua* Crescimento Radicular e a Produtividade de Cafeeiros. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 4, p. 427 - 434, out./dez. 2014.

BÖRJESSON, P., TUFVESSON, L. M. Agricultural crop-based biofuels – resource efficiency and environmental performance including direct land use changes, **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v.19, n. 2–3, p. 108-120, jan./fev. 2011.

BRITO, L. F. et al. Spatial variability of soil CO<sub>2</sub> emission in different topographic positions. **Bragantia**, Campinas, v. 69, Suplemento, p. 19-27, 2010.

CADIOLI, M. C. et al . Efeito de isolados de *Paecilomyces lilacinus* no desenvolvimento de cafezais e na população de *Meloidogyne paranaensis*. **Ciência Agrotécnica**, Lavras , v. 33, n. 3, p. 713-720, jun. 2009.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society America Journal**, Medison, v.58, n. 5, p.1240-1248, 1994.

CAMPOS, V.P.; VILLAIN, L. Nematode parasites of coffee, cocoa and tea. In: LUC, M., SIKORA, R.A., BRIDGE J. (Ed.) **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. Wallingford UK. CAB International. 2005. p. 529-579.

CANTARUTTI, R. B.; AVAREZ, V. H.; RIBEIRO, A. C. Amostragem do solo 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: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.13-20.



- CARVALHO, A. M. et al. Soil fertility status, carbon and nitrogen stocks under cover crops and tillage regimes. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 45, n. 5 (especial), p. 914-921, 2014.
- CARVALHO, J. R. P.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Comparação de métodos para ajuste de modelos de semivariograma da precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.4, p.443-448, jun./ago. 2009.
- CAVALCANTE, E. G. S. et al. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 394-400, març./abr. 2007.
- COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. **A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue**. Ghent: State Nematology and Entomology Research Station, 1972. 77p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Estimativas de Safras Agrícolas. **Levantamento Café**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 06 jun. 2015.
- CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.374-387, maio 2006.
- CRESSIE, N., HAWKINS, M. Robust estimation of the variogram I. **Mathematical Geology**, Berlin, v. 12, n. 2, p.115-125, abr.1980.
- DEVELASH, R. K.; SUGHA, S. Factors affecting development of downy mildew (*Peronospora destructor*) of onion (*Allium cepa*). **Journal of Agricultural Sciences**, Indian, v. 67. n. 2, p71-74. maio1997.
- DIAS, F. P. et al. Desenvolvimento de Cafeeiros enxertados “Apoatã IAC 2258” cultivados em recipientes de 250 litros. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 385-390, mar./abr. 2008.
- DIAS JUNIOR, H. E. et al., Metais Pesados, Densidade e Atividade microbiana em solo de contaminado por rejeitos da indústria de zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 631-640, dez. 1998.
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V. Spatial and temporal variability of plant-parasitic nematodes population in sugarcane. **Bragantia**, Campinas, v. 69, supl. p. 39-52, 2010.
- DI VITO, M.; CROZZOLI, R.; VOVLAS, N. Pathogenicity of *Meloidogyne exigua* on coffee (*Coffea Arabica L.*) In Pots. **Nematropica**. Flórida, v. 30, n. 1, p55-61, jan.2000.
- DONAGEMA, G. K. et al. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.
- DONG, L. Q.; ZHANG, K. Q. Microbial control of plant-parasitic nematodes: a five-party interaction. **Plant Soil**, The Hague, v. 288, n. 1-2, p. 31-45, 2006.

FADIGAS, F. S. et al. Concentrações naturais da metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 2, p. 151-159, ago. 2002.

FARIAS, P. R. S. et al. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.235-241, ago. 2003.

FAULIM, G. D. C. et al. Estudo da Espacialidade da Maturação de Café (*Coffea arabica L.*) Visando a Confecção de mapas de produtividade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO - CONBAP, 2004, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: CONBAP, 2004. CD-ROM.

FERRAZ, G. A. E S. et al . Variabilidade espacial e temporal do fósforo, potássio e da produtividade de uma lavoura cafeeira. **Engenharia Agrícola** , Jaboticabal , v. 32, n. 1, p. 140-150, fev. 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION -FAO **Current World Fertilizer Trends and Outlook to 2016**. Rome, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Resources statistics. Land - 2012**. FAOSTATS, Rome, 2014.

FREIRE, E. S. et al . Infectividade de juvenis do segundo estágio de *Meloidogyne incognita* em tomateiro após privação alimentar em solo e água em diferentes condições. **Summa Phytopathol**, Botucatu , v. 33, n. 3, p. 270-274, set. 2007.

GARCIA JUNIOR, D. et al. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.28, n.3, p.286-291. maio/jun.2003.

GOMES, M. A. F. et al. **Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos bioquímicos, fertilizantes e corretivos**. 2 ed. rev. amp. – Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2008. 62 p.

GONÇALVES, W. et al. Manejo de nematóides na cultura do cafeeiro. In: REUNIÃO ITINERANTE DE FITOSSANIDADE DO INSTITUTO BIOLÓGICO – CAFÉ, 10., 2004, Mococa. **Anais ...** São Paulo: Instituto Biológico, 2004. p. 48-66.

GOULART, A. M. C. **Coleta de amostras para análise de nematoides: recomendações gerais**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 2009. 31 p.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho-escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**. 2000. 85 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Universidade Federal de Uberlândia. v.1, 2004. p.78 (Apostila).

HEFFER, P.; PRUD'HOMME, M. **Fertilizantes Outlook 2013-2017**. Internacional Fertilizer Industry Association (IFA). Paris. 2013.

HURTADO, S.M.C. et al. **Agricultura de precisão**: possibilidade de manejo da adubação nitrogenada para o milho no cerrado. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 48 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Banco de dados Meteorológicos para ensino e pesquisa-BDMEP**. 2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/inicio.php>>. Acesso em: 04 de janeiro de 2016.

IPPOLITO, A. et al., Modeling global distribution of agricultural insecticides in surface waters, **Environmental Pollution**, London, v. 198, n. 2. p. 54-60, fev. 2015.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugal flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**. Saint Paul, v.48, n.9, p.692, dez.1964.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, Belo Horizonte. v. 1, n. 1, p. 148-155. jul. 2005.

KRAJEWSKI, S. A.; GIBBS, B. L. **Understanding contouring**: a practical guide to spatial estimation using computer and variogram interpretation. Gibbs Associations, Boulder. CO, 2001. 100p.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Ed. UNESPE, 2003, 253 p.

LIMA, J. S. S. et al. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. **Revista Árvore**, Viçosa , v. 34, n. 1, p. 127-136, fev. 2010 .

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza , v. 44, n. 1, p. 16-23, mar. 2013 .

LIMA, R. L. S. et al. Efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento e teor de macronutrientes de mudas de pinhão manso. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza , v. 42, n. 4, p. 950-956, dez. 2011.

LIU, X.; WU, J.; XU, J. Characterizing the risk assessment of heavy metals and sampling uncertainty analysis in paddy field by geostatistics and GIS. **Environmental Pollution**. London, v. 141, n. 2, p 257-264. maio 2006.

LONG, X. H. et al., Applying geostatistics to determine the soil quality improvement by Jerusalem artichoke in coastal saline zone. **Ecological Engineering**, Netherlands, v.70, n. 4, p. 319–326, set. 2014.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do Solo e Produtividade Agrícola. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. 2007. p.1-64.

MABIT, L. et al. Spatial variability of erosion and soil organic matter content estimated from <sup>137</sup>Cs measurements and geostatistics. **Geoderma**. Amisterdan, v. 145, n. 34. p.245-251. jun. 2008.

- MANZIONE, R. L.; RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial multivariada na avaliação de parâmetros químicos do solo. In: BALASTREIRE, L. A. **Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no período de 1999-2001**. Piracicaba: [s.n.], 2002. 347 p.
- MANZIONE, R.L.; ZIMBACK, C.R.L. Análise Espacial Multivariada Aplicada na Avaliação da Fertilidade do Solo. **Engenharia na Agricultura**. Viçosa, v. 19, n. 3, p. 227-235, jun.2011.
- MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Littleton, v.58, p.1246-1266, 1963.
- MATIELLO, J.B; GARCIA, A.W.R; ALMEIDA, S.R. Teores de Ca, Mg e K no solo e sua influência no desequilíbrio nutricional da lavoura cafeeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 32., Poços de Caldas, 2006. **Resumos...** Varginha: Fundação Pró Café, 2006, p. 27.
- MATOS A.T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa: Ed. UFV. 2014. 241p.
- MEDEIROS, J. C. et al. Relação cálcio: magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Revista Semina**. Londrina. v.29, n. 4, p.799-806, out/dez. 2008.
- MELLO, J.M. et al. Ajuste e Seleção de Modelos Espaciais de Semivariograma Visando à Estimativa Volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**. Botucatu, v.69, n.4, p.25-37, dez. 2005.
- MENDES JÚNIOR, A. A. **Participação da energia fóssil na produção dos fertilizantes industriais nitrogenados com ênfase na uréia**. 2011. 43 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2011.
- MEURER, E. J. Fatores que Influenciam o Crescimento e Desenvolvimento das Plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.), **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. p.65-90.
- MINGOTI, S. A.; ROSA, G. A note on robust and non-robust variogram estimators. **Revista Escola de Minas (REM)**, Ouro Preto, v. 61, n. 1, p. 87-95, mar. 2008.
- MOLIN, J. P. Agricultura de precisão: parte 1: o que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 108-121, 1997.
- MORAN, C. J. et al. Sustainability in mining, minerals and energy: new processes, pathways and human interactions for a cautiously optimistic future. **Journal of Cleaner Production**, London, v. 84,n. 1, p. 1-15. dez. 2014.
- MOTA, F. S. B.; SPERLING M. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: ABES, 2009 .428p.

- OLIVEIRA, P. C. G. et al . Variabilidade espacial de propriedades químicas do solo e da produtividade de citros na Amazônia Oriental. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande , v. 13, n. 6, p. 708-715, dez. 2009 .
- OLIVEIRA, R. B. et al . Comparação entre métodos de amostragem do solo para recomendação de calagem e adubação do cafeeiro conilon. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal , v. 28, n. 1, p. 176-186, mar. 2008 .
- PINHEIRO, J. B. et al. Influência da nutrição mineral na distribuição espacial do nematoide de cisto da soja. **Nematologia Brasileira**. Piracicaba. v.32. n.4. p.270-278. jul.2008.
- PORTAL ACTION. **Estatística de descrição de quartis**. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/>>. Acesso em: 07 de dezembro de 2015.
- PRADO-PÉREZ, A.J.et al. A combined methodology using electrical resistivity tomography, ordinary kriging and porosimetry for quantifying total C trapped in carbonate formations associated with natural analogues for CO2 leakage, **Journal of Applied Geophysics**, Amsterdam, v. 105, n.3. p. 21-33. jun.2014.
- RAGAGNIN, V. A.; SENA JUNIOR, D. G.; SILVEIRA NETO, A. N. Recomendação de calagem a taxa variada sob diferentes intensidades de amostragem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande , v. 14, n. 6, p. 600-607, dez. 2010.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, 2015. Vienna: Disponível em:< <http://www.r-project.org> >. Acesso em: 4.11 de 2015
- REUVENI, M. et al. The influence of NPK fertilization rates on susceptibility to powdery mildew of field-grown wine grapes. **Journal of Small Fruit and Viticulture**, Abingdon, n.2 p.31-41. 1993.
- REZENDE, P. S. et al. Um Alerta ao Uso Incorreto de Programas em Geoestatística – Estudo de Caso Programa GS+®. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 4, 2015, Botucatu, **Anais...**, Botucatu: SGeA. Botucatu, maio 2015. Disponível em: <<http://www.bibliotekevirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/simposios/923-sgea-2015/geoprocessamento/8431-um-alerta-ao-uso-incorreto-de-programas-em-geoestatistica-estudo-de-caso-programa-gs.html>>. Acesso em: 05/01/2016.
- RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. geoR: a package for geostatistical analysis. **R-NEWS**, Pelotas, v. 1, n. 2, p. 15-18, 2001.
- RITZINGER, C. H. S. P.; FANCELLI, M. Manejo integrado de nematóides na cultura da bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal , v. 28, n. 2, p. 331-338, ago. 2006 .
- ROCHA, M. M.; LOURENÇO, D. A.; LEITE, C. B. B. Aplicação de Krigagem com Correção do Efeito de Suavização em Dados de Potenciometria da Cidade de Pereira Barreto. **Revista do Instituto de Geociências**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 37-48, out. 2007.

- ROSA, R. Análise espacial em geografia. **Revista da Associação Nacional de Pós Graduação em Geografia - ANPEGE**, Uberlândia. v. 7, n. 3, p. 275-289, out. 2011.
- ROSOLEN, V. et al. Variações nos teores do C total e isotópico do solo após substituição do cerrado em sistemas agrícolas no Triângulo Mineiro. **Sociedade & natureza**, Uberlândia, v. 24, n. 1, p. 157-168, jan/abr. 2012.
- SANCHEZ, R. B. et al. Variabilidade espacial de propriedades de Latossolo e da produção de café em diferentes superfícies geomórficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 489-495, dez. 2005.
- SALGADO, S. M. L. et al. Resistência do cafeeiro Iapar 59 ao *Meloidogyne exigua* Goeldi, 1987. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., Vitória. **Anais...** Vitória, 2001. p. 1307-1403.
- SANTOS, E. O. J. et al. Variabilidade espacial de macronutrientes em uma lavoura de café conilon no Norte do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 469-476, set. 2015.
- SANTOS, J. M. dos. **Estudo das principais espécies de *Meloidogyne goeldi* que infectam o cafeeiro no Brasil com descrição de *Meloidogyne goeldii* sp.1997.**153f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade Estadual Paulista “ Júlia de Mesquita Filho”, Botucatu, 1997
- SASSER, J. N. **Plant-parasitic nematodes: the farmer's hidden enemy.** Raleigh: North Carolina State University Graphics, 1979. 115 p.
- SERA, G. H. et al. Progenies de Coffea Arabica cv IPR-100 resistentes ao nematóide *Meloidogyne paranaensis*. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 1, p. 43-49, jan. 2007.
- SILVA, F. M. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 401-407, abr. 2007.
- 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**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 15-22, fev. 2010.
- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. Multivariate analysis and geostatistics of the fertility of a humic rhodic hapludox under coffee cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 36, n. 2, p. 467-474, mar. 2012.
- SILVA JUNIOR, J. F. et al. Simulação geoestatística na caracterização espacial de óxidos de ferro em diferentes pedofomas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1690-1703, dez. 2012.
- SMITH, L. E. D.; SICILIANO, G. A comprehensive review of constraints to improved management of fertilizers in China and mitigation of diffuse water pollution from agriculture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 209, n.1 p. 15-25, nov. 2015.
- SOARES, A. **Geoestatística para ciências da terra e do ambiente.** 2. ed. Lisboa: IST Press, 2006. 2014 p.

TAYLOR, A.L.; SASSER, J.N. **Biología, identificación y control de los nematodos del nódulo de la raíz (espécies de *Meloidogyne*)**. Raleigh: Universidad del Estado de Carolina del Norte, 1983. 111p.

TALLAKSEN, J. et al. Nitrogen fertilizers manufactured using wind power: greenhouse gas and energy balance of community-scale ammonia production. **Journal of Cleaner Production**, v.107, n.16. p.626-635. nov. 2015.

TIHOHOD, D. **Nematologia agrícola aplicada**. Jaboticabal: FUNEP;UNESP, 1993. 372p.

TOGNON, A.A.; DEMATTE, J.L.I.; DEMATTE, J.A.M.. Teor e distribuição da matéria orgânica em latossolos das regiões da floresta amazônica e dos cerrados do Brasil central. **Scientia Agricola**, Piracicaba , v. 55, n. 3, p. 343-354, jun.1998 .

TURETTA, A. P. D., et al. **Perfil Agrícola do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 21 p.

VENDRAME, P. R. S. et al . Disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco em solos sob pastagens na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília , v. 42, n. 6, p. 859-864, jun. 2007.

VERDADE, F. C. Influência da matéria orgânica na capacidade de troca de cátions do solo. **Bragantia**. Campinas, v.15, n.4, p.35-42, jan.1956. (Boletim Técnico do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo).

VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**. Berkeley, v. 31, n. 3, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: BORÉM, A. et al. (Ed.). **Agricultura de Precisão**. Viçosa. : Editora UFV. 2000. p. 93-108.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p.1-54.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade Espacial do potencial de Erosão das Chuvas do Estado de São Paulo . **Bragantia**. Campinas, v.54, n.2. p. 405-412. 1995.

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

ZANAO JUNIOR, L. A. et al . Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa , v. 57, n. 3, p. 429-438, jun. 2010.

ZHANG, J. et al. Biological control of the cereal cyst nematode (*Heterodera filipjevi*) by *Achromobacter xylosoxidans* isolate 09X01 and *Bacillus cereus* isolate 09B18, **Biological Control**, San Diego, v.92, n.1. p. 1-6, jan. 2016.

ZONTA, J. H. et al. Variabilidade espacial da Fertilidade do Solo em área cultivada com Algodoeiro no Cerrado do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** , Campina Grande, v. 18, n. 6, p. 595-602, jun. 2014.



## 7 ANEXOS

ANEXO A- Banco de dados dos atributos químicos do solo. Resultados das análises de solos tabuladas, já de acordo com suas coordenadas em utm. Resultados das análises safra 2014/2015, Fazenda Brasil, Araguari –MG ” continua”

Amostra nº	Leste utm	Norte utm	pH	MO %	P mg dm <sup>-3</sup>	K mg dm <sup>-3</sup>	S mg dm <sup>-3</sup>	Ca cmolc dm <sup>-3</sup>	Mg cmolc dm <sup>-3</sup>	Al cmolc dm <sup>-3</sup>	H+ Al cmolc dm <sup>-3</sup>
1	774384.63	7947300.704	6.3	1.82	111.97	349	14.36	2.8	0.7	0	2.57
2	774286.27	7947325.206	6.6	1.59	91.77	285	12.96	2.7	0.6	0	2.12
3	774198.08	7947351.4	6.3	1.70	80.99	311	20.29	2.4	0.6	0	2.51
4	774110.82	7947377.579	6.8	3.28	121.64	298	10.74	2.8	0.7	0	1.91
5	774013.41	7947404.813	5.9	3.14	131.31	261	26.54	2.2	0.8	0	3.13
6	773916.91	7947431.125	6.5	2.22	61.41	315	19.09	2.3	0.6	0	2.38
7	773822.22	7947454.641	6.3	2.26	48.47	267	37.19	2.2	0.7	0	2.38
8	773734.34	7947373.77	6.2	1.70	66.33	318	21.98	1.9	0.5	0	2.70
9	773823.52	7947353.103	6.3	2.17	80.99	359	21.98	2.2	0.6	0	2.21
10	773917.26	7947327.761	6.5	1.81	71.56	322	8.68	2.3	0.7	0	2.29
11	774045.94	7947293.586	6.3	2.02	85.77	304	23.19	2.1	0.6	0	2.46
12	774145.23	7947269.094	6.1	2.30	98.25	290	22.42	2.2	0.7	0	2.57
13	774251.86	7947242.635	5.8	2.08	164.37	241	73.76	2.1	0.7	0	3.10
14	774375.18	7947221.472	6.3	2.36	147.84	330	28.24	2.2	0.8	0	2.59
15	774247.62	7947140.245	6	2.53	147.84	273	22.58	2.4	0.8	0	2.97
16	774124.76	7947192.768	6.4	2.77	164.37	340	27.81	2.7	0.7	0	2.31
17	773998.91	7947231.51	6.1	2.67	164.37	347	24.75	2.5	0.8	0	2.91
18	773848.26	7947277.055	6.2	2.71	147.84	345	31.01	2.4	0.7	0	2.49
19	773897.05	7947205.289	5.7	1.81	99.79	220	74.54	1.5	0.5	0.1	3.37

## ANEXO A: “Continuação”

Amostra n°	Leste utm	Norte utm	pH	MO %	P mg dm <sup>-3</sup>	K mg dm <sup>-3</sup>	S mg dm <sup>-3</sup>	Ca cmolc dm <sup>-3</sup>	Mg cmolc dm <sup>-3</sup>	Al cmolc dm <sup>-3</sup>	H+ Al cmolc dm <sup>-3</sup>
20	773771.29	7947248.636	5.8	1.70	131.31	261	26.87	1.8	0.6	0	3.07
21	773648.25	7947291.012	5.8	3.10	164.37	284	53.06	2.1	0.7	0	3.30
22	774029.14	7947152.613	5.9	2.29	147.84	296	22.42	2	0.6	0	3.10
23	773964.89	7947064.89	5.7	1.53	73.06	166	22.58	1.5	0.5	0.1	3.79
24	773947.84	7946947.645	5.5	1.58	92.93	191	21.09	1.3	0.4	0.1	4.39
25	773930.1	7946835.017	5.5	1.53	69.69	190	29.29	1.5	0.4	0	4.63
26	773910.02	7946720.119	5.1	1.08	88.58	134	46.67	1.1	0.3	0.15	5.31
27	774043.23	7946702.735	5.3	1.75	65.56	178	36.87	1.3	0.4	0.1	4.68
28	774028.13	7946925.753	5.2	2.19	164.37	95	49.59	1.4	0.4	0.1	4.58
29	774118.24	7946899	5.1	2.12	147.84	131	54.01	1.5	0.4	0.1	4.44
30	774048.74	7947024.517	5.9	2.51	138.17	212	24.04	2.3	0.7	0	2.91
31	774131	7946985.584	5.7	2.41	147.84	200	15.18	2.2	0.7	0	3.13
32	774107.73	7946803.28	5.5	2.23	164.37	104	32.23	1.8	0.6	0	4.04
33	774185.08	7946790.645	5.6	2.11	147.84	178	40.89	1.7	0.5	0	3.99
34	774021.2	7946817.576	5.6	2.58	164.37	193	31.57	2.1	0.6	0	3.79
35	774164.58	7946699.566	6.3	3.17	164.37	131	12.54	3	0.9	0	2.17
36	774196.33	7946878.801	5.6	2.22	125.99	138	25.88	2	0.6	0	3.63
37	774216.12	7946973.722	5.7	2.22	109.46	141	71.75	2	0.6	0	3.27
38	773859.3	7947109.209	5.7	2.89	41.89	194	38.50	2	0.6	0	3.04
39	773763.12	7947144.088	6.1	1.69	44.40	171	25.55	2.1	0.6	0	2.65
40	773667.86	7947178.024	5.9	1.81	42.32	178	22.73	2	0.6	0	2.79
41	773577.18	7947207.241	5.8	1.35	74.13	128	45.34	2	0.6	0	3.07
42	773504.36	7947122.807	6	2.27	73.59	154	28.41	2.1	0.7	0	2.43
43	773589.53	7947098.321	5.6	1.54	79.58	165	36.76	1.8	0.5	0	3.63

## ANEXO A: “continuação”

Amostra	Leste	Norte	pH	MO	P	K	S	Ca	Mg	Al	H+ Al
n°	utm	utm		%	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	dm <sup>-3</sup>
44	773680.13	7947063.523	5.9	2.96	47.04	158	32.91	2	0.6	0	2.97
45	773769.86	7947032.459	5.7	3.07	56.53	113	28.24	1.9	0.6	0	3.07
46	773852.19	7947004.292	6	2.15	75.23	138	17.79	2.2	0.6	0	2.70
47	773835.01	7946908.712	5.9	2.22	72.05	147	16.47	2.3	0.6	0	2.59
48	773741.43	7946930.529	6.1	1.66	57.59	130	18.68	2.1	0.6	0	2.68
49	773634.09	7946964.638	5.7	2.93	77.62	148	39.50	1.9	0.5	0	3.17
50	773523.08	7947002.521	6	1.67	72.55	170	46.40	2.5	0.8	0	2.62
51	773423.13	7947033.732	6.4	1.46	49.22	162	10.34	2.7	0.7	0	1.87
52	773344.65	7946941.826	6.4	1.54	56.28	198	16.66	2.4	0.6	0	2.17
53	773449.31	7946915.199	6.3	2.48	101.44	168	24.04	2.8	0.9	0	2.24
54	773540.01	7946886.913	6.2	1.20	60.17	187	22.58	2	0.6	0	2.70
55	773640	7946858.492	6.3	1.79	39.75	194	18.20	2.3	0.6	0	2.12
56	773731.59	7946828.331	6	1.08	51.21	105	23.57	2.1	0.7	0	2.62
57	773819.61	7946807.525	6.1	1.08	75.81	119	22.58	1.9	0.6	0	2.85
58	773804.32	7946714.709	6.2	1.08	40.53	134	18.82	2.1	0.6	0	2.43
59	773564.02	7946811.208	6.4	2.09	48.85	124	12.72	2.2	0.7	0	2.19
60	773490.03	7946773.199	6.2	3.11	54.79	157	23.57	2.4	0.7	0	2.62
61	773386.55	7946817.485	6.2	1.70	58.70	133	18.06	2.2	0.7	0	2.43
62	773282.13	7946860.854	6	2.71	75.81	116	35.71	2.4	0.9	0	2.62
63	773603.72	7946727.834	6.2	2.41	107.19	127	18.61	2.2	0.8	0	2.54
64	773672.32	7946778.946	6.2	3.31	111.97	138	14.24	2.5	0.9	0	2.54
65	773712.2	7946708.594	6.3	2.40	98.25	144	14.24	2.7	0.9	0	2.31

## ANEXO A: “continuação”

Amostra n°	Leste utm	Norte utm	T cmolc dm <sup>-3</sup>	V %	m %	Ca/Mg %	Ca/T %	Mg/T %	K/t %	H+Al / T %
1	774384.63	7947300.704	6.96	63.13	0	4.00	40.22	10.06	12.86	36.87
2	774286.27	7947325.206	6.15	65.50	0	4.50	43.87	9.75	11.87	34.50
3	774198.08	7947351.4	6.31	60.18	0	4.00	38.03	9.51	12.64	39.82
4	774110.82	7947377.579	6.18	69.05	0	4.00	45.34	11.34	12.37	30.95
5	774013.41	7947404.813	6.80	53.93	0	2.75	32.34	11.76	9.84	46.07
6	773916.91	7947431.125	6.09	60.86	0	3.83	37.76	9.85	13.26	39.14
7	773822.22	7947454.641	5.97	60.06	0	3.14	36.86	11.73	11.47	39.94
8	773734.34	7947373.77	5.92	54.31	0	3.80	32.09	8.45	13.77	45.69
9	773823.52	7947353.103	5.94	62.69	0	3.67	37.07	10.11	15.51	37.31
10	773917.26	7947327.761	6.11	62.60	0	3.29	37.63	11.45	13.51	37.40
11	774045.94	7947293.586	5.94	58.58	0	3.50	35.35	10.10	13.12	41.42
12	774145.23	7947269.094	6.21	58.67	0	3.14	35.43	11.27	11.97	41.33
13	774251.86	7947242.635	6.52	52.43	0	3.00	32.21	10.74	9.48	47.57
14	774375.18	7947221.472	6.44	59.73	0	2.75	34.16	12.42	13.14	40.27
15	774247.62	7947140.245	6.87	56.74	0	3.00	34.92	11.64	10.18	43.26
16	774124.76	7947192.768	6.58	64.90	0	3.86	41.02	10.64	13.25	35.10
17	773998.91	7947231.51	7.10	59.00	0	3.13	35.20	11.27	12.53	41.00
18	773848.26	7947277.055	6.47	61.58	0	3.43	37.09	10.82	13.67	38.42
19	773897.05	7947205.289	5.94	43.18	3.75	3.00	25.26	8.42	9.50	56.82
20	773771.29	7947248.636	6.14	50.00	0	3.00	29.32	9.77	10.90	50.00
21	773648.25	7947291.012	6.83	51.64	0	3.00	30.74	10.25	10.66	48.36
22	774029.14	7947152.613	6.46	51.99	0	3.33	30.96	9.29	11.75	48.01
23	773964.89	7947064.89	6.21	39.04	3.96	3.00	24.14	8.05	6.85	60.96
24	773947.84	7946947.645	6.58	33.28	4.37	3.25	19.76	6.08	7.44	66.72
25	773930.1	7946835.017	7.01	34.04	0	3.75	21.39	5.70	6.95	65.96

## ANEXO A: “ Continuação”

Amostra n°	Leste utm	Norte utm	T cmolc dm <sup>-3</sup>	V %	m %	Ca/Mg %	Ca/T %	Mg/T %	K/t %	H+Al / T %
26	773910.02	7946720.119	7.05	24.74	7.92	3.67	15.61	4.26	4.87	75.26
27	774043.23	7946702.735	6.83	31.56	4.43	3.25	19.03	5.85	6.68	68.44
28	774028.13	7946925.753	6.62	30.86	4.67	3.50	21.14	6.04	3.68	69.14
29	774118.24	7946899	6.67	33.51	4.28	3.75	22.48	6.00	5.03	66.49
30	774048.74	7947024.517	6.46	54.89	0	3.29	35.63	10.84	8.42	45.11
31	774131	7946985.584	6.55	52.13	0	3.14	33.60	10.69	7.83	47.87
32	774107.73	7946803.28	6.70	39.79	0	3.00	26.86	8.95	3.98	60.21
33	774185.08	7946790.645	6.65	39.95	0	3.40	25.57	7.52	6.86	60.05
34	774021.2	7946817.576	6.98	45.75	0	3.50	30.07	8.59	7.09	54.25
35	774164.58	7946699.566	6.40	66.14	0	3.33	46.84	14.05	5.24	33.86
36	774196.33	7946878.801	6.59	44.85	0	3.33	30.37	9.11	5.37	55.15
37	774216.12	7946973.722	6.23	47.53	0	3.33	32.10	9.63	5.80	52.47
38	773859.3	7947109.209	6.13	50.49	0	3.33	32.60	9.78	8.11	49.51
39	773763.12	7947144.088	5.79	54.23	0	3.50	36.29	10.37	7.58	45.77
40	773667.86	7947178.024	5.85	52.26	0	3.33	34.20	10.26	7.80	47.74
41	773577.18	7947207.241	6.00	48.83	0	3.33	33.35	10.00	5.47	51.17
42	773504.36	7947122.807	5.63	56.75	0	3.00	37.30	12.43	7.01	43.25
43	773589.53	7947098.321	6.36	42.85	0	3.60	28.32	7.87	6.66	57.15
44	773680.13	7947063.523	5.98	50.26	0	3.33	33.45	10.04	6.78	49.74
45	773769.86	7947032.459	5.86	47.62	0	3.17	32.43	10.24	4.95	52.38
46	773852.19	7947004.292	5.86	53.83	0	3.67	37.55	10.24	6.04	46.17
47	773835.01	7946908.712	5.87	55.82	0	3.83	39.18	10.22	6.42	44.18
48	773741.43	7946930.529	5.71	53.12	0	3.50	36.78	10.51	5.84	46.88
49	773634.09	7946964.638	5.95	46.74	0	3.80	31.95	8.41	6.38	53.26
50	773523.08	7947002.521	6.36	58.77	0	3.13	39.33	12.59	6.86	41.23

## ANEXO A: “ Continuação”

Amostra n°	Leste utm	Norte utm	T cmolc dm <sup>-3</sup>	V %	m %	Ca/Mg %	Ca/T %	Mg/T %	K/t %	H+Al / T %
51	773423.13	7947033.732	5.69	67.09	0	3.86	47.48	12.31	7.30	32.91
52	773344.65	7946941.826	5.68	61.80	0	4.00	42.28	10.57	8.94	38.20
53	773449.31	7946915.199	6.37	64.86	0	3.11	43.96	14.13	6.76	35.14
54	773540.01	7946886.913	5.78	53.24	0	3.33	34.58	10.37	8.29	46.76
55	773640	7946858.492	5.52	61.54	0	3.83	41.66	10.87	9.01	38.46
56	773731.59	7946828.331	5.69	53.94	0	3.00	36.91	12.30	4.73	46.06
57	773819.61	7946807.525	5.66	49.59	0	3.17	33.59	10.61	5.39	50.41
58	773804.32	7946714.709	5.48	55.56	0	3.50	38.33	10.95	6.27	44.44
59	773564.02	7946811.208	5.41	59.49	0	3.14	40.67	12.94	5.88	40.51
60	773490.03	7946773.199	6.12	57.20	0	3.43	39.19	11.43	6.57	42.80
61	773386.55	7946817.485	5.68	57.10	0	3.14	38.76	12.33	6.01	42.90
62	773282.13	7946860.854	6.22	57.85	0	2.67	38.60	14.47	4.78	42.15
63	773603.72	7946727.834	5.87	56.70	0	2.75	37.51	13.64	5.55	43.30
64	773672.32	7946778.946	6.29	59.65	0	2.78	39.73	14.30	5.62	40.35
65	773712.2	7946708.594	6.28	63.21	0	3.00	43.00	14.33	5.88	36.79

## ANEXO A: “continuação”

Amostra n°	Leste Utm	Norte utm	B mg dm <sup>-3</sup>	Zn mg dm <sup>-3</sup>	Fe mg dm <sup>-3</sup>	Mn mg dm <sup>-3</sup>	Cu mg dm <sup>-3</sup>
1	774384.63	7947300.704	0.40	11	17.6	1.5	3.4
2	774286.27	7947325.206	0.15	11	19.3	1	3.3
3	774198.08	7947351.4	0.20	6.4	23.1	0.9	3
4	774110.82	7947377.579	0.62	11	17.8	1.1	3.3
5	774013.41	7947404.813	0.52	11	36.8	1.6	3.7
6	773916.91	7947431.125	0.43	11	22.2	1.4	3.8
7	773822.22	7947454.641	0.78	7.9	21.2	1.4	3.1
8	773734.34	7947373.77	0.85	5.8	27.6	1.2	3.4
9	773823.52	7947353.103	0.76	11	23.4	1.3	4.3
10	773917.26	7947327.761	0.50	10.7	22.7	1.2	3.8
11	774045.94	7947293.586	0.49	11	22.3	1.4	3.4
12	774145.23	7947269.094	0.13	11	25.8	1.5	4.1
13	774251.86	7947242.635	0.68	5.3	36.1	1.4	3.4
14	774375.18	7947221.472	0.40	11	23.9	1.5	3.8
15	774247.62	7947140.245	0.26	11	22.5	1.5	4.5
16	774124.76	7947192.768	0.54	11	18.7	1.1	3.4
17	773998.91	7947231.51	0.74	11	21.6	1.2	3.6
18	773848.26	7947277.055	0.82	11	23.5	1.8	3.8
19	773897.05	7947205.289	0.29	5.8	29.8	0.9	2.8
20	773771.29	7947248.636	0.52	11	26.6	1.6	3.8

## ANEXO A: “continuação”

Amostra n°	Leste Utm	Norte utm	B mg dm <sup>-3</sup>	Zn mg dm <sup>-3</sup>	Fe mg dm <sup>-3</sup>	Mn mg dm <sup>-3</sup>	Cu mg dm <sup>-3</sup>
21	773648.25	7947291.012	1.02	11	24.3	1.4	3.8
22	774029.14	7947152.613	0.63	11	27.4	2.2	3.6
23	773964.89	7947064.89	0.14	3.8	29.5	0.6	2.8
24	773947.84	7946947.645	0.18	4.1	49.7	0.8	3.1
25	773930.1	7946835.017	0.16	5.4	27.4	1.4	3.7
26	773910.02	7946720.119	0.36	4.6	29.8	1	2.5
27	774043.23	7946702.735	0.57	4.9	32.2	1.2	3
28	774028.13	7946925.753	0.70	11	39.5	1.8	4.7
29	774118.24	7946899	0.78	12.2	33.6	1.5	3.3
30	774048.74	7947024.517	0.82	12.3	27	1.6	4
31	774131	7946985.584	0.13	9.3	24.3	1.2	4
32	774107.73	7946803.28	0.35	10.6	46.5	2.2	4.4
33	774185.08	7946790.645	0.38	7.3	26	1.3	3.5
34	774021.2	7946817.576	0.66	12.3	28.9	1.8	4.1
35	774164.58	7946699.566	1.11	12.3	21.4	2.1	4.5
36	774196.33	7946878.801	0.84	12.3	51.3	2	5.3
37	774216.12	7946973.722	0.37	12.3	28.9	1.8	4.2
38	773859.3	7947109.209	0.18	2.6	26.2	1.1	1.3
39	773763.12	7947144.088	0.52	3.6	20.4	1.4	1.8
40	773667.86	7947178.024	0.83	2.4	22.2	1	1.1
41	773577.18	7947207.241	0.52	2.7	22.4	0.9	1.4
42	773504.36	7947122.807	0.29	3.8	20.7	1	1.8
43	773589.53	7947098.321	0.29	3.4	32.5	1.5	2.4
44	773680.13	7947063.523	0.41	3.4	24.7	1.2	1.7
45	773769.86	7947032.459	0.26	3	23.7	1.1	1.6



## ANEXO A: “continuação”

Amostra n°	Leste Utm	Norte utm	B mg dm <sup>-3</sup>	Zn mg dm <sup>-3</sup>	Fe mg dm <sup>-3</sup>	Mn mg dm <sup>-3</sup>	Cu mg dm <sup>-3</sup>
46	773852.19	7947004.292	1.32	4.1	23.8	1.7	2.5
47	773835.01	7946908.712	1.08	3.5	24.7	1.3	2.1
48	773741.43	7946930.529	1.14	3	21.6	1	2.1
49	773634.09	7946964.638	0.84	3.4	28.1	2.2	2.2
50	773523.08	7947002.521	1.67	4.6	22.7	1.8	2.5
51	773423.13	7947033.732	1.44	3.2	12.6	1	1.5
52	773344.65	7946941.826	1.36	2.6	16.4	1	1.5
53	773449.31	7946915.199	1.11	4.3	20	1	1.7
54	773540.01	7946886.913	1.26	2.7	19	1.3	1.8
55	773640	7946858.492	1.42	2.7	14.5	0.7	1.3
56	773731.59	7946828.331	1.49	2.5	17.4	0.8	1.2
57	773819.61	7946807.525	0.96	2.4	22	0.8	1.3
58	773804.32	7946714.709	1.56	3	16.2	0.9	1.7
59	773564.02	7946811.208	0.97	3.1	14.8	0.7	1.4
60	773490.03	7946773.199	1.52	2.8	18.8	0.8	1.8
61	773386.55	7946817.485	1.52	3	19	1.1	1.7
62	773282.13	7946860.854	1.62	4.8	18.6	1.3	2.3
63	773603.72	7946727.834	1.43	6.5	22.5	1.9	2.6
64	773672.32	7946778.946	1.40	4.5	22.7	1.4	2.1
65	773712.2	7946708.594	0.80	4.9	22.8	1.9	2.9

ANEXO B: Resultados das análises de nematoides georeferenciado e as transformações para uso da krigagem indicadora para a presença/ausência de nematoides e para o linear de dano econômico. Fazenda Brasil, Araguari –MG, Safra 2014/2015 “continua”.

Amostra	Leste	Norte	Ovos +J2 no solo	Ovos +J2 na raiz	Solo+Raiz	NP	ND
nº	utm	utm	nº/150cm³/solo + nº/g de raiz				
1	774384.63	7947301	0	0	0	1	1
2	774286.27	7947325	0	0	0	1	1
3	774198.08	7947351	0	0	0	1	1
4	774110.82	7947378	245	0	245	0	0
5	774013.41	7947405	0	0	0	1	1
6	773916.91	7947431	57	159	216	0	0
7	773822.22	7947455	0	0	0	1	1
8	773734.34	7947374	0	0	0	1	1
9	773823.52	7947353	0	0	0	1	1
10	773917.26	7947328	0	0	0	1	1
11	774045.94	7947294	0	0	0	1	1
12	774145.23	7947269	510	0	510	0	0
13	774251.86	7947243	0	0	0	1	1
14	774375.18	7947221	0	0	0	1	1
15	774247.62	7947140	0	0	0	1	1
16	774124.76	7947193	0	0	0	1	1
17	773998.91	7947232	0	0	0	1	1
18	773848.26	7947277	76	0	76	0	1
19	773897.05	7947205	0	498	498	0	0
20	773771.29	7947249	45	0	45	0	1
21	773648.25	7947291	0	0	0	1	1
22	774029.14	7947153	82	143	225	0	0
23	773964.89	7947065	0	0	0	1	1

## ANEXO B: “continuação”

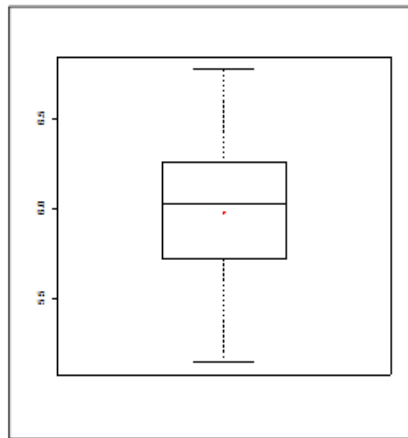
Amostra n°	Leste utm	Norte utm	Ovos +J2 no solo n°/150cm³/solo + n°/g de raiz	Ovos +J2 na raiz n°/150cm³/solo + n°/g de raiz	Solo+Raiz	NP	ND
24	773947.84	7946948	0	0	0	1	1
25	773930.1	7946835	114	0	114	0	1
26	773910.02	7946720	0	0	0	1	1
27	774043.23	7946703	38	0	38	0	1
28	774028.13	7946926	34	0	34	0	1
29	774118.24	7946899	98	0	98	0	1
30	774048.74	7947025	86	0	86	0	1
31	774131	7946986	0	0	0	1	1
32	774107.73	7946803	0	0	0	1	1
33	774185.08	7946791	0	0	0	1	1
34	774021.2	7946818	0	0	0	1	1
35	774164.58	7946700	0	0	0	1	1
36	774196.33	7946879	118	0	118	0	1
37	774216.12	7946974	0	0	0	1	1
38	773859.3	7947109	0	0	0	1	1
39	773763.12	7947144	0	0	0	1	1
40	773667.86	7947178	36	0	36	0	1
41	773577.18	7947207	0	0	0	1	1
42	773504.36	7947123	0	0	0	1	1
43	773589.53	7947098	0	0	0	1	1
44	773680.13	7947064	0	0	0	1	1
45	773769.86	7947032	0	0	0	1	1
46	773852.19	7947004	35	293	328	0	0
47	773835.01	7946909	0	0	0	1	1
48	773741.43	7946931	0	0	0	1	1

## ANEXO B: “continuação”

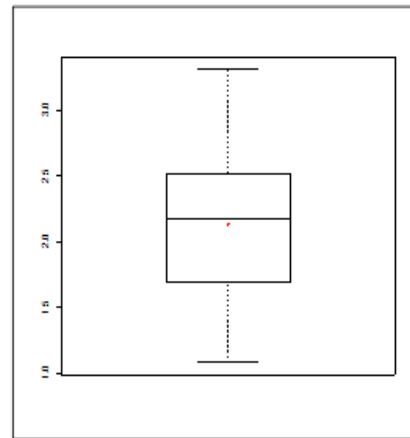
Amostra n°	Leste utm	Norte utm	Ovos +J2 no solo	Ovos +J2 na raiz n°/150cm³/solo + n°/g de raiz	Solo+Raiz	NP	ND
49	773634.09	7946965	0	0	0	1	1
50	773523.08	7947003	0	0	0	1	1
51	773423.13	7947034	0	0	0	1	1
52	773344.65	7946942	0	0	0	1	1
53	773449.31	7946915	0	0	0	1	1
54	773540.01	7946887	0	0	0	1	1
55	773640	7946858	0	0	0	1	1
56	773731.59	7946828	0	0	0	1	1
57	773819.61	7946808	0	0	0	1	1
58	773804.32	7946715	0	0	0	1	1
59	773564.02	7946811	0	0	0	1	1
60	773490.03	7946773	0	0	0	1	1
61	773386.55	7946817	0	0	0	1	1
62	773282.13	7946861	0	0	0	1	1
63	773603.72	7946728	0	0	0	1	1
64	773672.32	7946779	167	0	167	0	0
65	773712.2	7946709	0	0	0	1	1

NP- Nematoides presentes na área (critério > 1 = 0; <=1 =1); ND – Nematoides danos (critério > 150 = 0 <= 150 = 1).

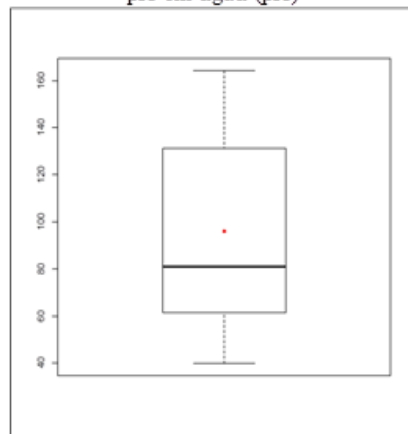
ANEXO C: Gráficos de box plot dos atributos químicos e nematoides do solo da Fazenda Brasil, utilizados para identificação ou não de valores discrepantes (outlines) “Continua”.



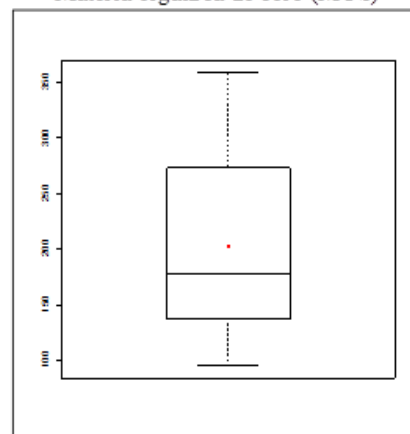
pH em água (pH)



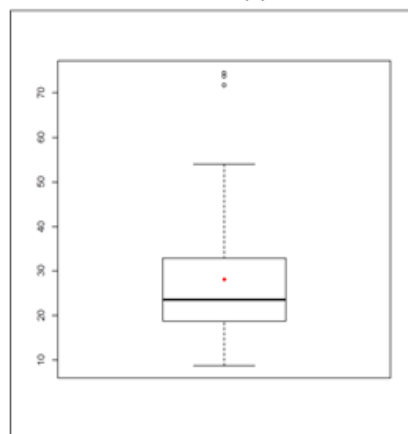
Matéria orgânica do solo (MOS)



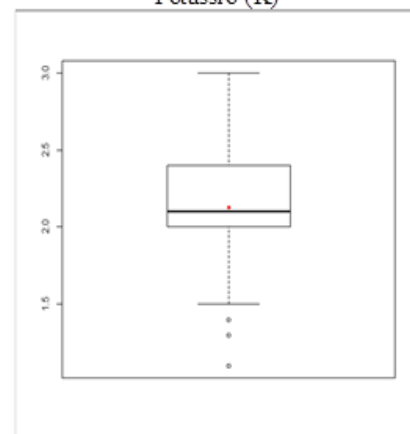
Fosforo (P)



Potássio (K)

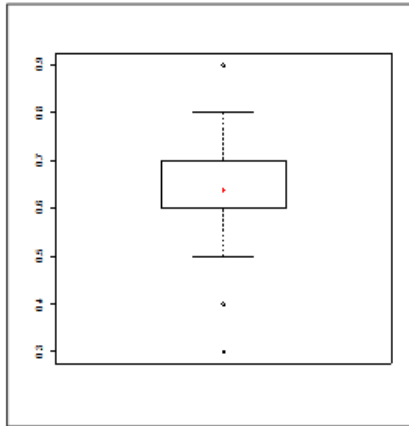


Enxofre (S)

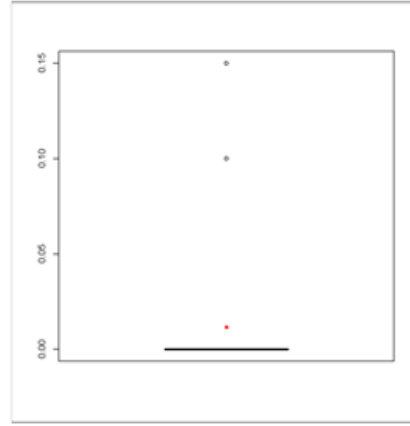


Cálcio (Ca)

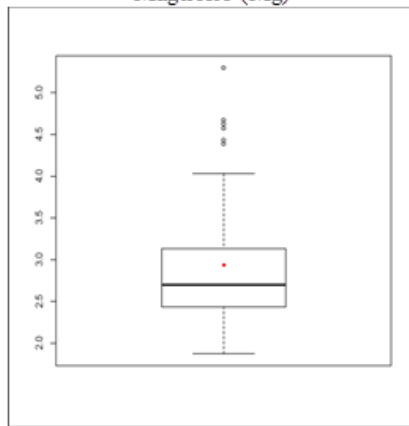
ANEXO C: "Continuação"



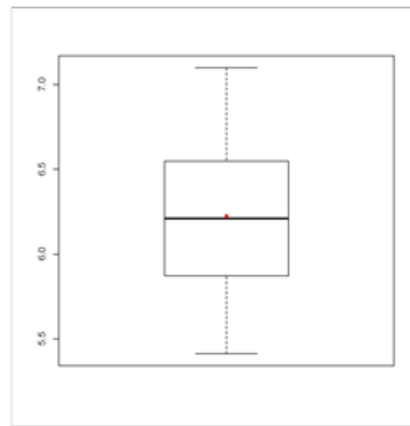
Magnésio (Mg)



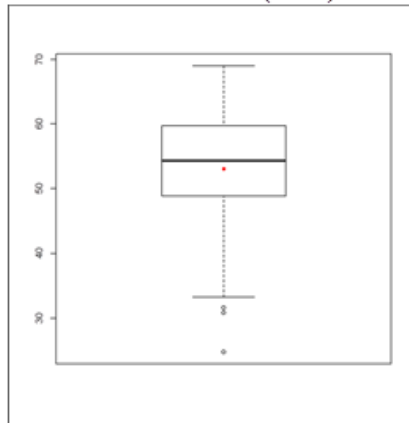
Alumínio (Al)



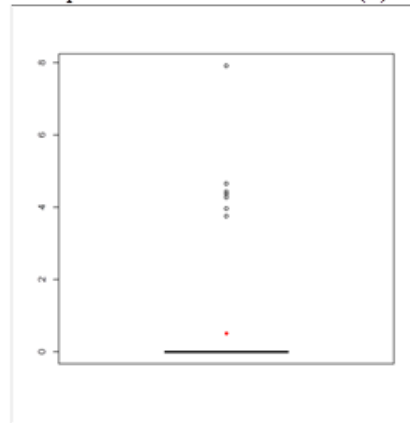
Acidez Trocavel (H+Al)



Capacidade de troca de cations (T)

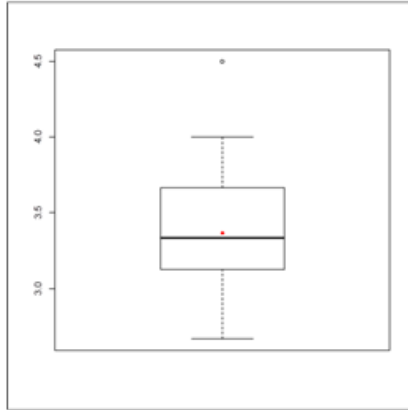


Saturação de bases (V)

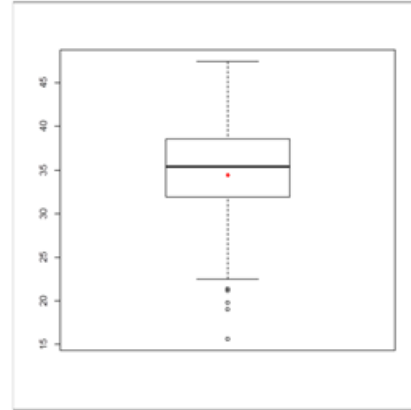


Saturação de alumínio (m)

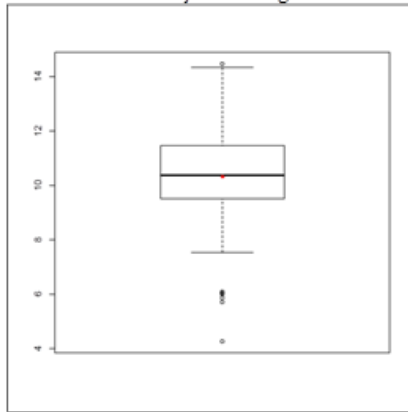
ANEXO C: "continuação"



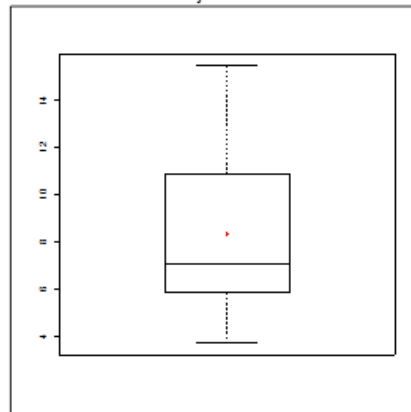
Relação Ca/Mg



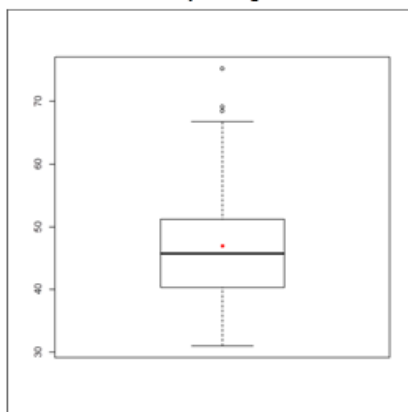
Relação Ca/T



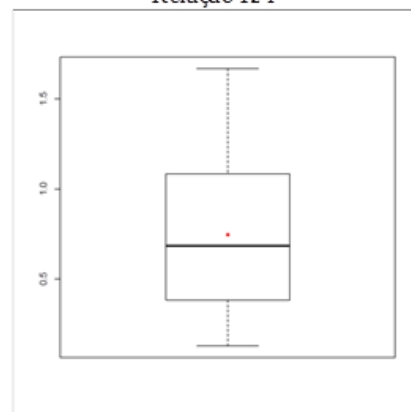
Relação Mg/T



Relação K/T

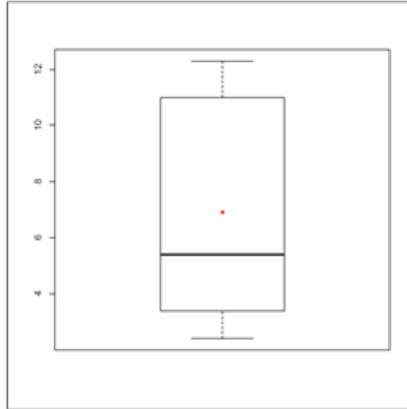


Relação H+Al/T

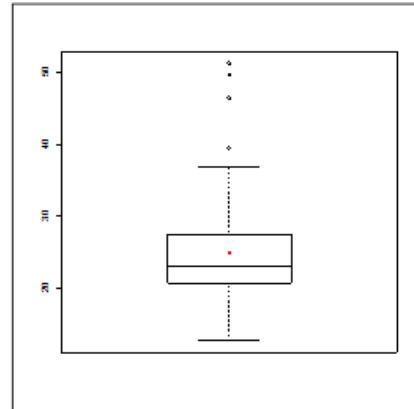


Boro (B)

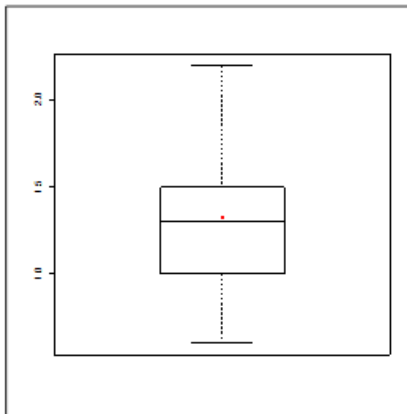
ANEXO C: "continuação"



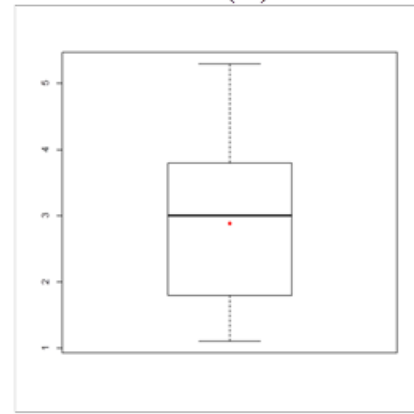
Zinco (Zn)



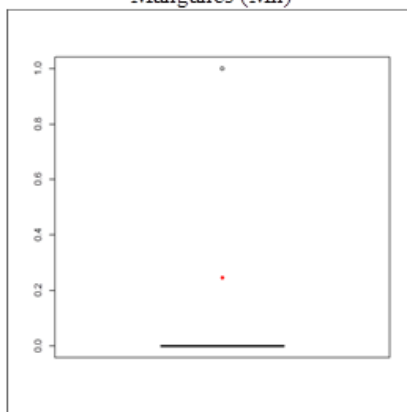
Ferro (Fe)



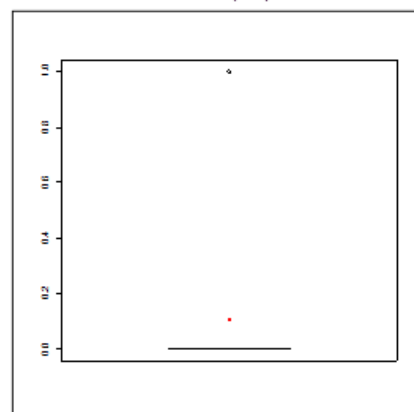
Manganês (Mn)



Cobre (Cu)



Nematoides presença



Nematoides danos