



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS DE GURUPI  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E  
AMBIENTAIS

**JOSÉ MOISÉS FERREIRA JUNIOR**

**SILVICULTURA DE PRECISÃO APLICADA AO  
DESENVOLVIMENTO DE *EUCALYPTUS* SSP NO ESTADO  
DO TOCANTINS**

Gurupi/TO  
2018

# JOSÉ MOISÉS FERREIRA JUNIOR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Doutor Rubens Ribeiro da Silva

Gurupi/TO  
2018

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

- F383s Ferreira Junior, José Moisés .  
Silvicultura de precisão aplicada ao desenvolvimento de Eucalyptus spp  
no estado do Tocantins. / José Moisés Ferreira Junior. – Gurupi, TO, 2018.  
60 f.
- Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins  
– Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em  
Ciências Florestais e Ambientais, 2018.  
Orientador: Rubens Ribeiro Da Silva
1. Silvicultura de precisão. 2. Geoestatística. 3. Análise de agrupamentos.  
4. Análise de componentes principais. I. Título

**CDD 628**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer  
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.  
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184  
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**



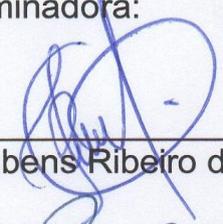
## JOSÉ MOISÉS FERREIRA JUNIOR

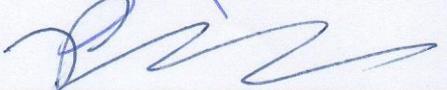
### **Silvicultura de precisão aplicada ao desenvolvimento de *Eucalyptus* sp no estado do Tocantins.**

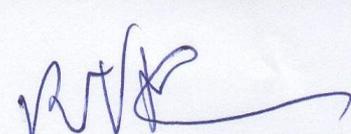
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais em 14/09/2018 foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

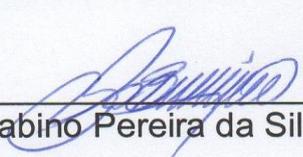
Data da aprovação: 14/09/2018.

Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Rubens Ribeiro da Silva – Orientador - UFT

  
\_\_\_\_\_  
Profª. Drª. Priscila Bezerra de Souza – Examinadora - UFT

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Renisson Neponuceno de Araújo Filho – Examinador – UFT

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Sabino Pereira da Silva Neto – Examinador - IFTO

*Dedico este trabalho a meus pais, meus  
irmãos, minha namorada e a todo o grupo  
Nero que possibilitaram a realização do  
mesmo.*

*A colheita é comum, mas o capinar é solitário*  
*João Guimarães Rosa*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeira a Deus por me conceder saúde para me aperfeiçoar a cada dia;

Agradeço a minha Mãe Rosa Rodrigues e a meu pai José Moisés, pois a herança maior que eles podiam me dar e o fizeram, que é a educação, tanto no sentido técnico quanto no nível social;

Agradeço a minha namorada Jhessika Gomes, por ser uma ótima companheira bem como uma mulher que me incentiva a superar os desafios e seguir em frente;

A meus irmãos e suas respectivas famílias que representam um ponto de apoio a qualquer momento;

A minha madrinha Zilmar e padrinho Benerval, que são pessoas de extrema generosidade e são como segundos pais para mim;

Agradeço ao meu orientador professor Rubens, por seus ensinamentos, e palavras de sabedoria obtidas ao longo dos anos já vividos;

A todo o grupo de pesquisa NERO, que não só são grandes amigos, mas também são grandes parceiros de serviço, especialmente a Ângela, que por muitas vezes ficava mais que o horário de expediente para auxiliar nas análises, ao Antônio e Gilson pelo conhecimento passado, ao Jefferson por me ajudar na construção de raciocínios para melhorar o trabalho;

A Universidade Federal do Tocantins, por disponibilizar esse curso, para nosso aprimoramento profissional, e conceder infraestrutura para fomento da pesquisa;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, que está sempre à disposição para auxiliar aos alunos;

Pôr fim a CAPES, CNPq, que disponibilizam bolsas de estudo para tornar assim realidade a busca por conhecimento e desenvolvimento técnico do país.

Muito Obrigado!

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2. Porcentagem das classes de solos da Serra na região Sul do Estado do Tocantins. .	21
Figura 3. Mapa da localização área da Fazenda Recanto da Serra na região Sul do Estado do Tocantins. ....	22
Figura 4. Semivariogramas ajustados para os elementos pH: potencial hidrogenionico; P: fósforo ( $\text{mg dm}^3$ ); K+: potássio ( $\text{mg dm}^3$ ); Ca: cálcio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ ); Mg: magnésio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ ); Fe: ferro ( $\text{mg dm}^3$ ). ....	26
Figura 5. Mn: manganês ( $\text{mg dm}^3$ ); Zn zinco ( $\text{mg dm}^3$ ); Cu: cobre ( $\text{mg dm}^3$ ); Al: alumínio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ ); H+Al: hidrogênio mais alumínio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ ); Argila em (%). ....	27
Figura 6. Mapas da distribuição espacial de fósforo da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). ....	28
Figura 7. Mapas da distribuição espacial de da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). ....	28
Figura 8. Mapas da distribuição espacial de argila da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). ....	29
Figura 9. Mapas da distribuição espacial de cálcio da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). ....	29
Figura 10. Mapas da distribuição espacial de magnésio da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). ....	29
Figura 11. Mapas da distribuição espacial de ferro da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). ....	30
Figura 12. Mapas da distribuição espacial de alumínio da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). ....	30
Figura 13. Mapas da distribuição espacial de hidrogênio mais alumínio da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). ....	30
Figura 14. Mapas da distribuição espacial do pH da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). ....	31
Figura 15. Mapas da distribuição espacial de manganês da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). ....	31
Figura 16. Mapas da distribuição espacial de zinco da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). ....	31
Figura 17. Mapas da distribuição espacial de cobre da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). ....	32
Figura 18. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de fósforo do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). ....	33
Figura 19. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de potássio do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). ....	33
Figura 20. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de cálcio do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). ....	33
Figura 21. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de magnésio do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). ....	34
Figura 22. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de ferro do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). ....	34

Figura 23. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de potássio do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). .....	34
Figura 24. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de hidrogênio mais alumínio do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). .....	35
Figura 25. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de pH do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). .....	35
Figura 26. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de manganês do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). .....	35
Figura 27. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de zinco do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). .....	36
Figura 28. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de cobre do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). .....	36
Figura 29. Mapa da localização das Fazendas na região Sul do Estado do Tocantins. ....	46
Figura 30. Gráfico boxplot dos macronutrientes micronutrientes, argila e Alumínio dos solos de vinte e uma fazendas, com 6 anos de cultivos de <i>Eucalyptus</i> ssp. na região Sul do Tocantins. ....	48
Figura 31. Dendrograma de árvore resultante da análise química dos macronutrientes dos solos de Vinte e uma fazendas, com 6 anos de cultivos de <i>Eucalyptus</i> ssp. na região Sul do Tocantins. ....	53
Figura 32 Dendrograma de árvore resultante da análise química dos macrinutrientes dos solos de vinte e uma fazendas, com 6 anos de cultivos de <i>Eucalyptus</i> ssp. na região Sul do Tocantins. ....	54
Figura 34. Dendrograma de árvore resultante da análise química e física de Alumínio e Argila dos solos de vinte e uma fazendas, com 6 anos de cultivos de <i>Eucalyptus</i> ssp. na região Sul do Tocantins. ....	55
Figura 35. Gráfico scree da análise química e física dos solos de vinte e uma fazendas, com 6 anos de cultivos de <i>Eucalyptus</i> ssp. na região Sul do Tocantins. ....	56
Figura 36. Gráfico biplot da análise química e física dos solos de vinte e uma fazendas, com 6 anos de cultivos de <i>Eucalyptus</i> ssp. na região Sul do Tocantins. ....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Estatística descritiva dos valores normalizados de cada atributo do solo na da Fazenda Recanto da Serra no cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). Área sendo cultivada à 6 anos com <i>Eucalyptus</i> ssp. ....	23
Tabela 2. Componentes da semivariância e Grau de Dependência Espacial (GDE) dos atributos do solo na da Fazenda Recanto da Serra no cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). Área sendo cultivada à 6 anos com <i>Eucalyptus</i> ssp. ....	24
Tabela 3. Análise química dos macronutrientes e argila dos solos de 21 fazendas, com 6 anos de cultivos de <i>Eucalyptus</i> ssp. na região Sul do Tocantins. ....	50
Tabela 4. Análise química dos micronutrientes e Alumínio dos solos de 21 fazendas, com 6 anos de cultivos de <i>Eucalyptus</i> ssp. na região Sul do Tocantins. ....	51

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>13</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>15</b>
<b>2 CAPITULO 1: VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FISICO E QUIMICOS EM SOLSO SOB PLANTIO DE <i>Eucalyptus ssp.</i> NA REAGIÃO SUL DO ESTADO DO TOCANTINS.....</b>	<b>17</b>
<b>3 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.1 Objetivos específicos.....</b>	<b>20</b>
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>21</b>
<b>5 RESULTADOS E ANÁLISE.....</b>	<b>24</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>
<b>7 CÁPITULO 2: ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS E COMPONENTES PRINCIPAIS EM VINTE E UMA FAZENDAS LOCALIZADAS NA REGIÃO SUL DO TOCANTINS.....</b>	<b>43</b>
<b>8 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>45</b>
<b>8.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>46</b>
<b>8.1.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>46</b>
<b>9 METODOLOGIA.....</b>	<b>47</b>
<b>10 RESULTADOS E ANÁLISE.....</b>	<b>49</b>
<b>11 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Em todo o planeta, a madeira vem se tornando ano após ano um produto cada vez mais valioso, tanto pelas suas qualidades únicas como pelo aumento da dificuldade de ser conseguida na natureza, devido ao aumento da pressão que a sociedade que a sociedade exerce para que o desmatamento desenfreado seja extinto, estimulando o cultivo de árvores, o que torna a madeira mais cara do que a simplesmente coletada da mata nativa, (LUNDGREN et al., 2017).

Somando isso ao cultivo de *Eucalyptus* spp. no Brasil tem aumentado devido ao rápido crescimento e diversificação no uso da madeira e pela facilidade de adaptação às diferentes condições edafoclimáticas (LIMA et al., 2017). A exemplo disso temos o *Eucalyptus grandis* é uma das espécies mais plantadas no Brasil e no mundo, apresentando alta adaptabilidade, alta produtividade e usos múltiplos (IBÁ, 2017).

Hoje o Brasil é o 13º maior mercado de consumidores per capita de papel, contando com um total de 220 empresas de celulose e papel ativas em 540 municípios, localizados em 18 estados (TOLEDO et al., 2015).

Observou-se que até o ano de 2016 a área de florestas plantadas no Brasil corresponde a 7,8 milhões de hectares, o que corresponde também à 6% do Produto Interno Bruto (PIB) industrial, equivalentes à R\$69,1 bilhões em 2015, também presente com 4,7% das exportações brasileiras e 3,8 milhões de empregos diretos e indiretos (IBA, 2016).

A agricultura convencional trata de forma uniforme uma área ocupada por uma determinada cultura, desprezando a variabilidade existente no campo e deixando de atender as demandas específicas dentro de uma mesma área (BARBOSA, 2018).

No processo de manejo convencional os atributos químicos do solo sofrem alterações em diferentes graus, devido a correção da acidez e aplicação de fertilizantes (NEGREIROS NETO et al., 2014).

O solo sob vegetação de Cerrado apresenta baixa disponibilidade de fósforo e reserva de potássio insuficiente para o bom desenvolvimento das culturas (CARNEIRO et al., 2016), e o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo possibilita uma melhor compreensão da sua influência no ambiente e quais as melhores alternativas de manejo (SILVA NETO et al., 2011).

Como afirma Araújo et al. (2014), para uma exploração agrícola sustentável é fundamental os conhecimentos dos solos, pois, desta forma poderão ser adotados manejos

adequados que proporcionem produtividades continuamente satisfatórias e evitem a degradação dos solos.

A silvicultura de precisão baseia-se na coleta e análise de dados geoespaciais localizadas nas florestas, com a exatidão e a precisão adequadas (VETTORAZZI & FERRAZ, 2000).

A avaliação da fertilidade de um solo permite caracterizar sua capacidade em fornecer nutrientes para as plantas, identificar a presença de acidez e elementos tóxicos, orientar programas de correção e adubação e escolher espécies ou variedades mais adaptadas ao cultivo. (JÚNIOR et al., 2008).

O conhecimento da variação de atributos químicos é importante para o levantamento e manejo do solo, planejamento de esquemas de amostragem e gerenciamento de práticas agrícolas (SILVA et al., 2010).

No capítulo 1, foi realizado o estudo da distribuição espacial de diversos atributos do solo por meio da geoestatística, em uma fazenda com sistema de silvicultura.

No capítulo 2, foram utilizadas técnicas de análises multivariadas como Cluster e Análise de componentes principais, buscando agrupar várias fazendas com base nos seus níveis de fertilidade, em diferentes classes de solos, e por fim analisar a quais principais componentes que influenciam nessas fazendas e sua importância.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, D. P. Modelagem de semivariograma considerando anisotropia e dados discrepantes no estabelecimento de zonas de manejo. **Tese**. f.80. Universidade Federal de Viçosa. Doutorado em Estatística Aplicada e Biometria. Viçosa- MG. 2018.
- CARNEIRO, J. S. S.; FARIA, A. J. G.; FIDELIS, R. R.; NETO, S. P. S.; SANTOS, A. C, SILVA R. R. Diagnóstico da variabilidade espacial e manejo da fertilidade do solo no cerrado. **Scientia Agraria**, v. 17, n. 3, 2016, p. 38-49 2016.
- IBÁ – Instituto Brasileiro de Árvores. **Relatório ibá 2016 ano base 2015**. Disponível em: <[http://www.iba.org/images/shared/iba\\_2016.pdf](http://www.iba.org/images/shared/iba_2016.pdf)>. Acesso em: 06/11/2018.
- IBÁ – Instituto Brasileiro de Árvores. **Relatório ibá 2017 ano base 2016**. Disponível em: <[http://www.iba.org/images/shared/iba\\_2017.pdf](http://www.iba.org/images/shared/iba_2017.pdf)>. Acesso em: 10/01/2019.
- JÚNIOR, N. J. M.; FONSECA, I. C. B.; BRITO, O. R.; DECAËNS, T.; CARNEIRO, M. M.; MATOS, M. F. A.; GUEDES, M. C.; QUEIROZ, J. A. L.; BARROSO, K. O. Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos do Amapá. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n.3, p. 499-506, 2008
- LIMA, E. S.; MONTANARI, R.; LOVERA, L. H.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GONZÁLEZ, A. P. Variabilidade espacial das propriedades dendrométricas do eucalipto e atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 1, p. 1-11, 2017.
- LUNDGREN, W. J. C.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C. Estimação do volume de eucaliptos por krigagem e cokrigagem no semiárido Pernambucano. **Floresta e Ambiente**, v. 24 n. 14, p. 04-15. 2017.
- NEGREIROS NETO, J. V.; SANTOS, A. C.; GUARNIERI, A.; SOUZA, D. J. A. T.; DARONCH, D. J.; DOTTO, M. A.; ARAÚJO, A. S. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.1, p.193-204, 2014.
- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B.; E SILVA, A. F. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2010.
- SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LEITE, R. L. L.; DIM, V. P.; CRUZ, R. S.; PEDRICO, A.; NEVES NETO, D. N. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, n.2, p.541-552, 2011.
- VETTORAZZI, C. A; FERRAZ, S. F. B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. In: Borém A, Giúdice MP, Queiroz DM. Agricultura de precisão. Viçosa: **Editora UFV**; 2000

TOLEDO, F. H. S. F.; VENTURIN, N.; CARLOS, L.; DIAS, B. A. S.; VENTURIN, R. P.; MACEDO, R. L. G. Composto de resíduos da fabricação de papel e celulose na produção de mudas de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PE, v. 19, n. 7, p. 711–716, 2015.

## 2. CAPITULO 1: VARIABILIDADE ESPACIAL DE FÓSFORO E POTÁSSIO EM PLANTIO DE *Eucalyptus ssp.* NA REGIÃO SUL DO ESTADO DO TOCANTINS

### RESUMO

Na busca por eficiência na utilização dos recursos naturais devido ao aumento constante na demanda mundial, a geoestatística aparece como uma ferramenta importante para alcançar tal objetivo. Objetivou-se com o presente trabalho determinar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em sistema de silvicultura de *Eucalyptus ssp.* na região Sul do estado do Tocantins e auxiliar a determinar a deficiência nutricional e a melhor forma de manejo do solo. A pesquisa foi realizada na Fazenda Recanto da Serra, município de Brejinho no estado do Tocantins, cujas coordenadas geográficas de referências são 11° 01' 03" S e 48° 34' 04" W, com altitude média de 244 m, foi realizado análise de fósforo, potássio em Melich-1 e textural, logo após foram realizadas análise estatística, obtendo as medidas de localização (média, mediana, mínimo e máximo), de variabilidade (coeficiente de variação) e de tendência central (assimetria e curtose), e o ajuste do semivariograma. Obteve-se então a normalidade dos dados, encontrando dependência espacial dos dados, gerando então os mapas de isolinhas e possibilitando a identificação visual das zonas com maiores déficits. Mesmo sendo manejada a vários anos, o solo da Fazenda Recanto da Serra apresenta heterogeneidade quanto as classes de fertilidade em diferentes partes da sua área. Com o melhor conhecimento sobre a variabilidade espacial de cada elemento na área, adquirido por meio da geoestatística, é possível reduzir custos de aplicação de fertilizantes, quando comparado ao método convencional onde se assume uma média e está é incorporada em toda a área.

**Palavras-chave:** fertilidade do solo; *Eucalyptus ssp*; geoestatística; variabilidade espacial.

## ABSTRACT

### SPACE VARIABILITY OF PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN *Eucalyptus* ssp. IN THE SOUTH REAGION OF THE STATE OF TOCANTINS

In the quest for efficiency in the use of natural resources due to the constant increase in world demand, geostatistics appears as an important tool to achieve this objective. The objective of this work was to determine the spatial variability of soil chemical attributes in the *Eucalyptus* ssp. Silviculture system. in the southern region of the State of Tocantins and to help determine the nutritional deficiency and the best form of soil management. The research was carried out at Fazenda Recanto da Serra, a municipality of Brejinho in the Tocantins state (11°01'03"S and 48°34'04"W,) 244 m of altitude. (average, median, minimum, and maximum), variability (coefficient of variation) and central tendency (asymmetry, and kurtosis) were determined. and semivariogram adjustment. The data was normal, finding spatial dependence of the data, generating the maps of isolines and allowing the visual identification of the zones with the greatest deficits. Although being managed for several years, the soil of Fazenda Recanto da Serra shows heterogeneity regarding fertility classes in different parts of its area. With the best knowledge about the spatial variability of each element in the area, acquired through geostatistics, it is possible to reduce fertilizer application costs when compared to the conventional method where an average is assumed and is incorporated throughout the area.

**Keywords:** soil fertility; *Eucalyptus* ssp; geostatistical; spatial variability.

### 3.1. INTRODUÇÃO

O Brasil obtém hoje as melhores tecnologias na silvicultura do eucalipto, atingindo cerca de 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de produtividade média em rotações de sete anos, Serviço Florestal Brasileiro (2016).

Os atributos físicos, químicos e biológicos do solo têm grande importância quanto ao que se refere a produtividade vegetal. Portanto é necessário conhecer e quantificar a variação desses atributos, uma vez que os solos por ser sistema dinâmico e aberto, está em constante modificação (MONTANARI et al., 2015).

Os fatores e processos de formação provocam variabilidade espacial nos atributos químicos do solo. Aliado a isto, o tipo de uso e manejo são causas adicionais de variabilidade (BARROS et al., 2018).

Os atributos químicos apresentam maior variação do que os atributos físicos, devido às diversas combinações a que estão sujeitos os elementos do solo e às constantes reações químicas que ocorrem na solução do solo, conseqüentemente, necessitam de maior número de amostras para estimá-los dentro da mesma área (JACOB e KLUTTE, 1976; BARROS et al., 2018).

No sistema de cultivo convencional, considera-se que as áreas são homogêneas e conseqüentemente desconsiderando qualquer variação nos níveis de fertilidade do solo acaba-se por aplicar uma dose fixa de fertilizantes e corretivos, é assim que funciona a sistema de cultivo convencional (MATIAS et al., 2015).

Com base em trabalho realizado com soja e eucalipto por (IBIAPINA et al., 2014) o monitoramento da qualidade do solo pelo uso de seus atributos físicos é de grande importância para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Por ser capaz de promover um manejo localizado e preciso da área cultivada, a agricultura de precisão permite o adequado uso de insumos agrícolas, a redução de custos da lavoura e a possibilidade de aumento da produtividade, além da redução do impacto ambiental, afirma (MONTANARI et al., 2008; KONRAD; CARVALHO, 2014).

Os princípios da experimentação agrícola consideram que a variabilidade do solo ocorre de forma inteiramente aleatória (ZONTA et al., 2014). Diante disso as técnicas de análises geoestatísticas destacam-se por considerar que a variabilidade do solo apresenta correlação e dependência espacial, permitindo a identificação e o

delineamento das relações espaciais entre os atributos do solo e a produtividade das culturas, uma vez que leva em consideração a distância na qual as amostras foram coletadas no campo (SILVA NETO et al., 2011).

Na busca por eficiência na utilização dos recursos naturais devido ao aumento constante na demanda mundial, a geoestatística aparece como uma ferramenta importante para alcançar tal objetivo.

### **3.1. Objetivo Geral**

Sendo assim, este trabalho procura adicionar conhecimento, quanto ao uso de ferramentas estatísticas no manejo da fertilidade de solos em propriedades com sistema de silvicultura.

#### 3.1.1. Objetivos Específicos

1. Determinar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em sistema de silvicultura de *Eucalyptus ssp.*
2. Auxiliar a determinar a deficiência nutricional e a melhor forma de manejo do solo.

#### 4. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada na Fazenda Recanto da Serra, município de Brejinho no estado do Tocantins, cujas coordenadas geográficas de referências são 11° 01' 03" S e 48° 34' 04" W, com altitude média de 244 m.

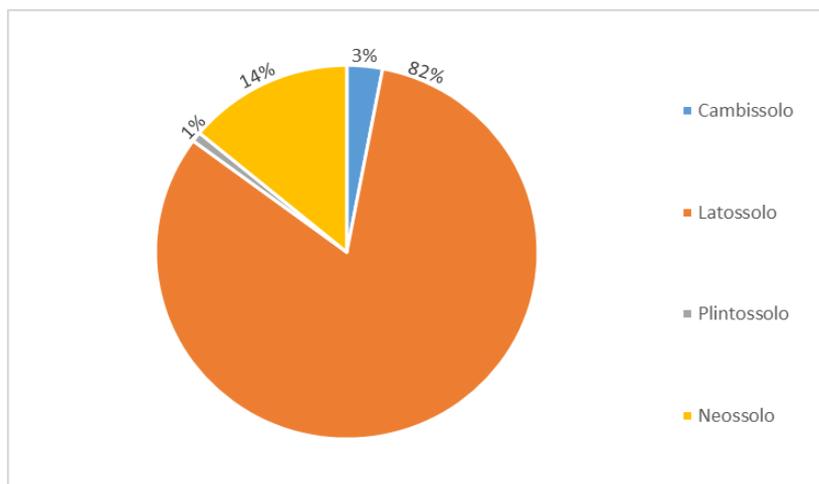
O estudo foi realizado numa área comercial de monocultura de *Eucalyptus* ssp, sendo este cultivo com desde 2012. Foi realizada adubação parcelada de NPK + micronutrientes e fosfato no momento da subsolagem na ocasião do plantio, sendo a primeira adubação de cobertura com N e K + micronutrientes realizada aos 60 após o plantio, a segunda adubação de cobertura com N e K + micronutrientes 120 dias após o plantio; e por último KCl + micronutrientes aos 12 meses após o plantio e nessa mesma ocasião feita aplicação aérea de micronutrientes. As adubações de cobertura foram realizadas de forma mecanizada em filetes contínuos.

Os solos estudados foram classificados como LATOSSOLO Vermelho Amarelo, PLINTOSSOLO, CAMBISSOLO, NEOSSOLO Quartzarênico (EMBRAPA, 2013). As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0,00-0,20 m, em um grid de malha irregular de 23 hectares em uma área de 905 hectares com pontos distanciados perpendicularmente entre si, totalizaram-se 40 amostras, com todos pontos georreferenciados, para demarcar a área de estudo e posteriormente a criação dos mapas de fertilidade com a utilização de ferramentas da geoestatística.

As características químicas e físicas do solo que foram avaliadas, sendo: P: Fósforo ( $\text{mg dm}^3$ );  $\text{K}^+$ : Potássio ( $\text{mg dm}^3$ ) disponíveis; pH: potencial hidrogenionico; Ca: cálcio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ ); Mg: magnésio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ ); Fe: ferro ( $\text{mg dm}^3$ ); Mn: manganês ( $\text{mg dm}^3$ ); Zn zinco ( $\text{mg dm}^3$ ); Cu: cobre ( $\text{mg dm}^3$ ); Al: alumínio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ ); H+Al: hidrogênio mais alumínio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^3$ ); Argila em (%) (EMBRAPA, 2011).

Os dados foram normalizados por logaritimização, para diminuir a variação entre os valores dos elementos em estudo, para posterior análise estatística, descritiva dos dados obtendo (média, mediana, mínimo e máximo), de variabilidade (coeficiente de variação) e de tendência central (assimetria e curtose) para avaliar a normalidade dos atributos. A hipótese de normalidade dos dados foi verificada com o teste de Shapiro & Wilk (1965) a nível de 5% de probabilidade. Para a análise do coeficiente de variação (CV), usou-se a classificação de Warrick & Nielsen (1980), com variabilidade baixa para valores  $< 12\%$ , média para valores entre  $12\% < \text{CV} < 60\%$  e alta para  $> 60\%$ .

Figura 1. Porcentagem das classes de solos da Serra na região Sul do Estado do Tocantins.



Para determinar a variabilidade espacial utilizou-se o semivariograma. Os semivariogramas foram obtidos e ajustados aos modelos experimentais esférico, exponencial. Por meio destes modelos foi feita a interpolação dos dados pela krigagem e gerados mapas de contorno, considerando os dados como isotrópicos.

A escolha entre o modelo que melhor se ajustou aos dados foi a observação dos parâmetros, índice de Akaike (AIC – do inglês *Akaike information criterion*) e o resíduo, onde primeiro observou qual atingia menor AIC, no caso de a diferença não ser expressiva comparava-se quem tinha o RMSE (*Root-Mean-Square Error*) para a escolha do modelo.

O ajuste do modelo de semivariograma escalonado possibilitou definir os seguintes parâmetros: efeito pepita (C0), patamar (C0 + C1), alcance (A0) e o grau de dependência espacial (GDE).

Em que: GDE = grau de dependência espacial; C0= efeito pepita; C1= Contribuição; C0+C1= patamar.

Para a interpretação do grau de dependência espacial do modelo escolhido foi de acordo com a seguinte classificação:  $GDE < 20\%$ , considerada dependência espacial muito baixa;  $20\% \leq GDE < 40\%$ , considerada dependência espacial baixa;  $40\% \leq GDE < 60\%$ , considerada dependência espacial média;  $60\% \leq GDE < 80\%$ , considerada dependência espacial alta;  $80\% \leq GDE < 100\%$ , considerada dependência espacial muito alta segundo a classificação utilizada por Dalchiavon et al. (2012).



## 5. RESULTADOS E ANÁLISE

A normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, sendo conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que pode comprometer os resultados (SILVA et al., 2010).

Quando se observa os valores de média e mediana dos atributos, nota-se que estão próximos para a maioria dos atributos, indicando que estes apresentam ou tem proximidade da distribuição normal, exceto pelo ferro que apresentou uma maior diferença entre a média e mediana. Todos os atributos avaliados na área estudada apresentaram distribuição normal.

O CV foi utilizado para classificar a variabilidade dos atributos, apenas o pH apresentou um CV baixo, a maioria dos atributos tiveram um CV médio, sendo eles, P; Mg; e Zn, os demais apresentaram CV alto, acima de 60.

Tabela 1 Estatística descritiva dos valores normalizados de cada atributo do solo na Fazenda Recanto da Serra no cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). Área sendo cultivada à 6 anos com *Eucalyptus* ssp.

Atributos	Máximo	Minimo	Média	Mediana	DP	CV	Cs	Ck	Teste W
pH	0.80	0.70	0.75	0.76	0.02	3.16	0.16	0.19	0.96
P	0.49	-0.22	0.07	0.02	0.22	309.74	1.03	-1.19	0.71
K	1.94	1.09	1.62	1.69	0.20	12.29	-0.63	0.34	0.97
Ca	0.73	0.33	0.50	0.51	0.11	22.55	1.11	-0.80	0.91
Mg	0.69	-0.77	0.14	0.12	0.33	232.49	0.78	0.55	0.91
Fe	2.70	1.75	2.08	1.94	0.29	13.83	0.44	-0.86	0.75
Mn	1.95	-0.39	1.24	1.40	0.64	51.39	1.95	0.17	0.9
Zn	1.28	-0.60	0.13	0.14	0.44	337.31	0.89	0.28	0.53
Cu	-0.14	-1.00	-0.54	-0.55	0.27	-50.65	1.41	-1.32	0.9
Al	0.00	-1.00	-0.80	-1.00	0.33	-40.70	0.60	0.90	0.66
H+Al	0.90	0.40	0.72	0.72	0.12	16.60	-1.21	0.05	0.95
Argila %	1.78	0.72	1.52	1.63	0.26	17.23	-0.60	2.08	0.91

pH: potencial hidrogenionico; P: fósforo (mg dm<sup>3</sup>); K: potássio (mg dm<sup>3</sup>); Ca: cálcio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>); Mg: magnésio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>); Fe: ferro (mg dm<sup>3</sup>); Mn: manganês (mg dm<sup>3</sup>); Zn zinco (mg dm<sup>3</sup>); Cu: cobre (mg dm<sup>3</sup>); Al: alumínio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>); H+Al: hidrogênio mais alumínio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>); Argila em (%): Teste W: teste de normalidade de Shapiro & Wilk; CV: coeficiente de variação; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose.

Somente o P, Ca, Fe e Cu apresentaram coeficiente de assimetria negativa, os demais apresentaram distribuição assimétrica positiva.

Nota-se que somente a argila apresentou um resultado um pouco acima fora dos valores recomendados para coeficientes de curtose, dentro dos limites indicados por (NEGREIROS NETO et al., 2014) de  $(-2 < Ck < +2)$ .

Na Tabela 2 observa-se o efeito pepita, o patamar, o alcance, os modelos de semivariograma ajustados aos dados, assim como, a relação efeito pepita/contribuição.

Quanto aos valores de efeito pepita (C0), nota-se que para alguns atributos os valores obtidos do ajuste foram altos, tais valores altos indicam que possivelmente o número de pontos amostrais não foram suficientes para alcançar um nível mais elevado quanto a precisão para determinar os valores. Os maiores valores para o efeito pepita foram encontrados tanto na disponibilidade de  $K^+$ , quanto no Fe, sendo o oposto para o  $Al^{3+}$ .

Observa-se que os valores para a variável alcance ( $A_1$ ) encontrados variaram entre de 939.8 a 50000, sendo que os maiores valores de alcance indicam áreas mais homogêneas, percebe-se que o alcance de todos os atributos está com valores altos, o que indica uma dependência espacial em um raio grande, isso ocorre pela ação antrópica, tendo sua variabilidade espacial influenciada pela aplicação de insumos.

Tabela 2. Componentes da semivariância e Grau de Dependência Espacial (GDE) dos atributos do solo na da Fazenda Recanto da Serra no cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018). Área sendo cultivada à 6 anos com *Eucalyptus* ssp.

Atributos	Semivariância			A1	AIC	RMSE	Modelo	GDE	Classe
	C0	C1	(C0+C1)						
pH	0.02156	0.08067	0.10223	1829.8	-74.28	0.00784	Esf.	78.9103	AL
P	0.2173	0.4177	0.635	3595.4	-30.68	0.05692	Esf.	65.7795	AL
K	770.3	2858.8	3629.1	50000	155.2	266.4	Exp.	78.7744	AL
Ca	0.7018	1.727	2.4288	50000	-23.64	0.07839	Esf.	71.1051	AL
Mg	1.2	0.4154	1.6154	50000	-6.926	0.1675	Esf.	25.715	BA
Fe	5201.1	7957.8	13158.9	1367.1	214.1	3870.2	Esf.	60.4747	AL
Mn	146.4	573	719.4	1621.5	115.2	43.17	Esf.	79.6497	AL
Zn	4.366	7.588	11.954	1461.2	64.8	4.366	Esf.	63.4767	AL
Cu	0.03476	0.003526	0.03829	1157.7	-84.23	0.00347	Esf.	9.20963	MB
Al	0.00095	0.01612	0.01707	939.8	-101.5	0.00228	Esf.	94.4402	MA
H+Al	1.588	0.4214	2.0094	1033.7	4.445	0.2809	Esf.	20.9714	BA
Argila	77.89	200.6	278.49	2218.4	115.6	43.96	Esf.	72.0313	AL

pH: potencial hidrogeniônico; P: fósforo ( $mg\ dm^{-3}$ );  $K^+$ : potássio ( $mg\ dm^{-3}$ ); Ca: cálcio ( $cmol_c\ dm^{-3}$ ); Mg: magnésio ( $cmol_c\ dm^{-3}$ ); Fe: ferro ( $mg\ dm^{-3}$ ); Mn: manganês ( $mg\ dm^{-3}$ ); Zn zinco ( $mg\ dm^{-3}$ ); Cu: cobre ( $mg\ dm^{-3}$ ); Al: alumínio ( $cmol_c\ dm^{-3}$ ); H+Al: hidrogênio mais alumínio ( $cmol_c\ dm^{-3}$ ); Argila em (%); GDE: Grau de dependência espacial –  $(C1/(C0+C1))*100$ ; \*Classes: BA: Baixo; MB: Muito Baixo; ME: Médio; AL: Alto; MA: Muito Alto; AIC: Índice de Akaike, RMSE: resíduo médio; Modelos experimentais: Esf: esférico; Exp: exponencial; C0: Efeito pepita; C1: Contribuição; C0+C1: patamar.

Quanto ao ajuste do modelo do semivariograma, a maior parte dos atributos foram melhores representados pelo modelo esférico, somente o potássio ajustou-se melhor ao modelo exponencial, o atributo que melhor se ajustou ao semivariograma foi o  $Al^{3+}$ , com AIC de -101,5 e RMSE de 0,00228, o que confere maior precisão para estimar valores em pontos não amostrados.

A análise geoestatística permitiu detectar que a área estudada apresentou diferentes escalas de variabilidade espacial, sendo que todos os atributos se ajustaram a alguma semivariograma, e nenhum apresentou efeito pepita puro.

Por meio dos semivariogramas dos atributos do solo, observa-se que há dependência espacial, o que indica a não aleatoriedade da distribuição desses atributos no espaço. As relações entre a variância estrutural (C1) e o patamar ( $C0 + C1$ ) demonstram predominância de grau de dependência espacial (GDE) alta.

Observando-se a semivariogramas ajustados na Figura 4, observa-se que para Ca, K, Mg e H+Al, não houve um bom ajuste dos semivariogramas, indicando a necessidade de aumentar o número de pontos amostrais, visando diminuir os valores principalmente do efeito pepita.

Nota-se que o valores por atingirem amplitudes muito discrepantes acabam por se distanciando da linha do semivariograma, sendo que se aumentar o número de amostras provavelmente resolverá o problema.

Figura 3. Semivariogramas ajustados para os elementos pH: potencial hidrogenionico; P: fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); K+: potássio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); Ca: cálcio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); Mg: magnésio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); Fe: ferro ( $\text{mg dm}^{-3}$ ).

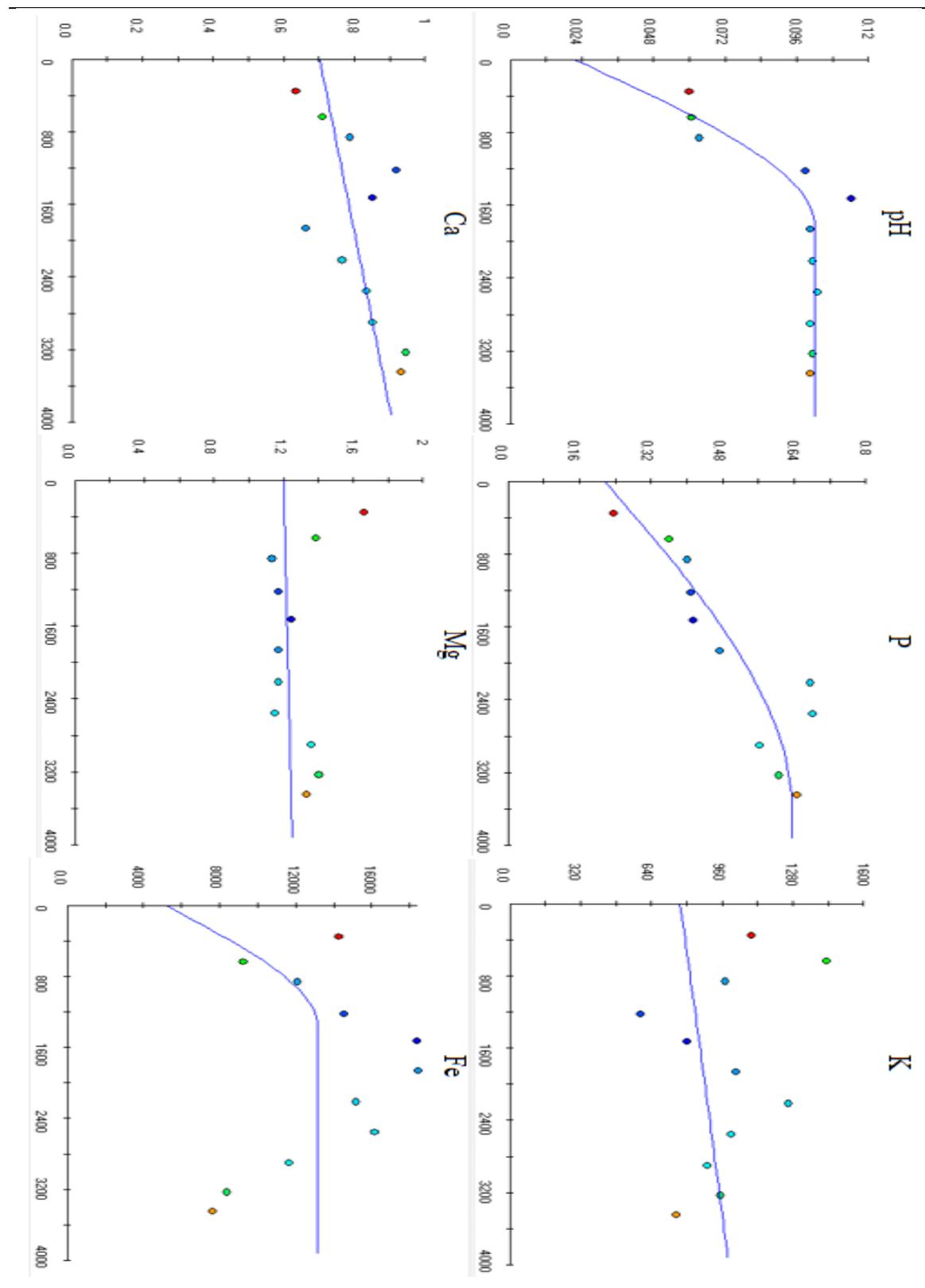
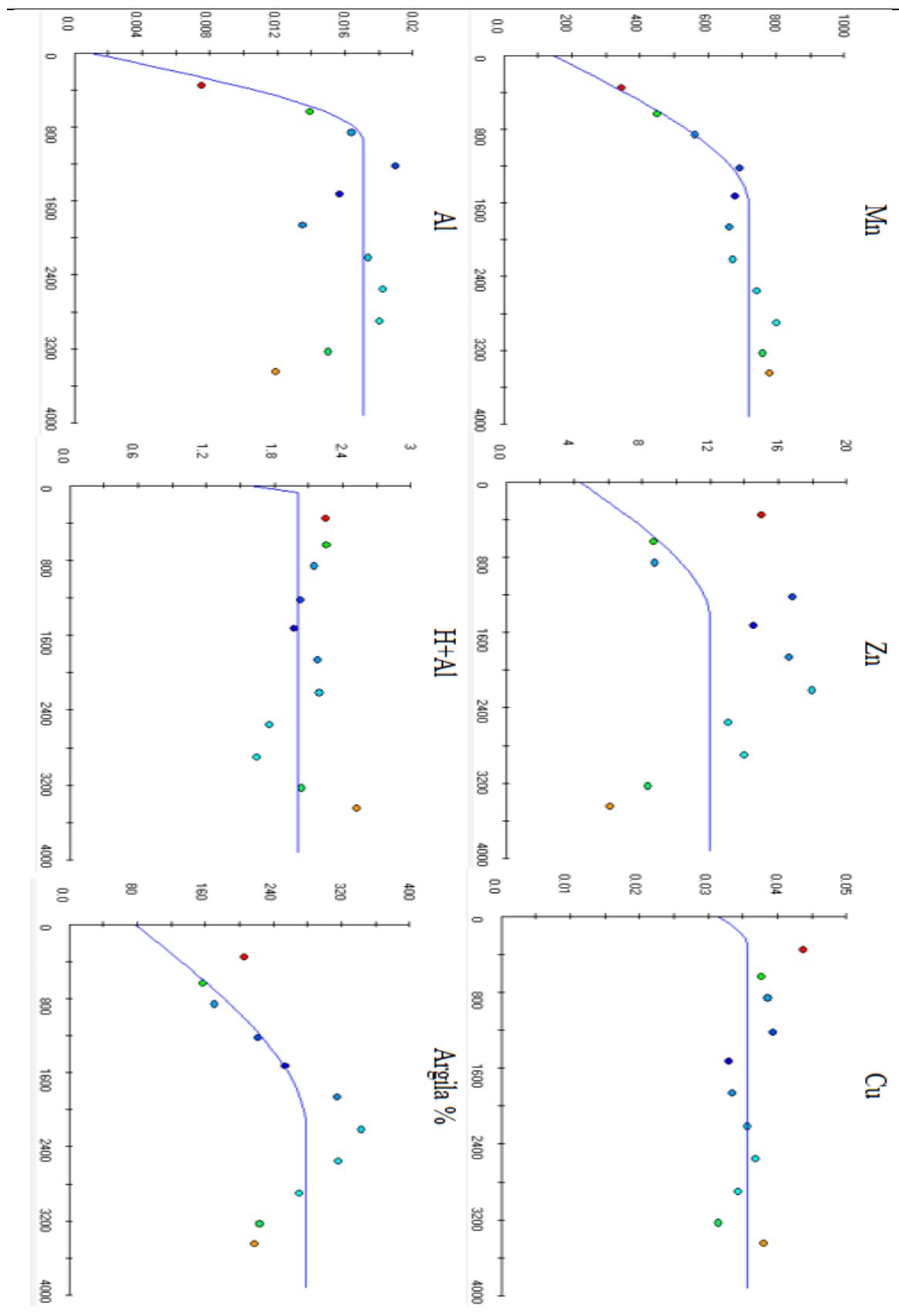


Figura 4. Mn: manganês ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); Zn zinco ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); Cu: cobre ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); Al: alumínio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); H+Al: hidrogênio mais alumínio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); Argila em (%).



Com o ajuste dos semivariogramas, foi possível então gerar os mapas de isolinhas, contento a interpolação dos dados em qualquer posição na área de estudo, por krigagem ordinária. Nos mapas é possível observar a variação espacial dos teores dos atributos.

Os mapas contêm em algumas partes, contornos fechados e próximos uns dos outros, o que indica alta variabilidade, sendo que em outras partes apresenta contornos mais abertos e espaçados, o que indica uma maior homogeneização, o que somente por meio da krigagem pode-se estabelecer um manejo mais próximo do ideal de cada atributo.

Figura 5. Mapas da distribuição espacial de fósforo da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

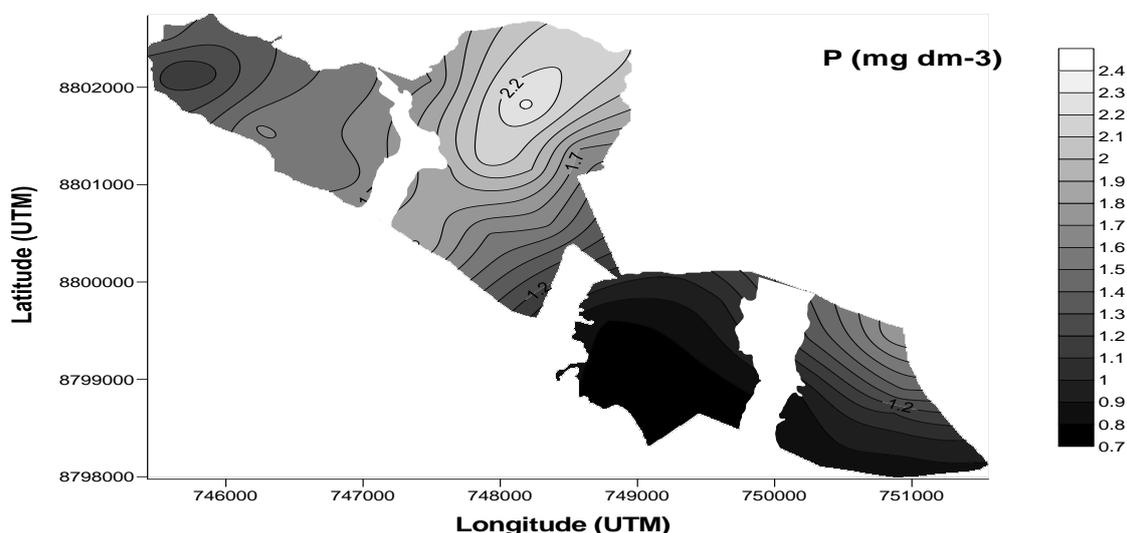


Figura 6. Mapas da distribuição espacial de da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

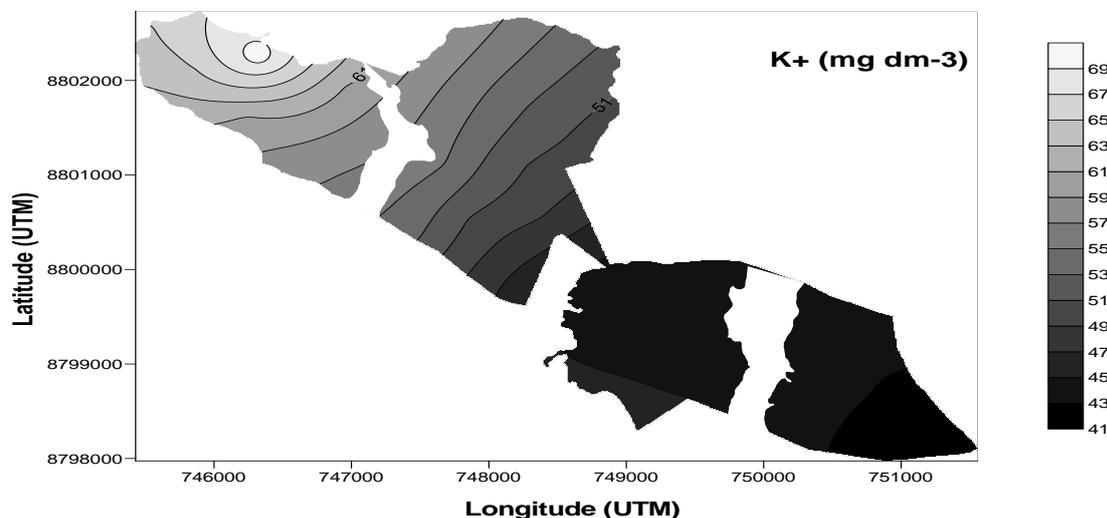


Figura 7. Mapas da distribuição espacial de argila da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

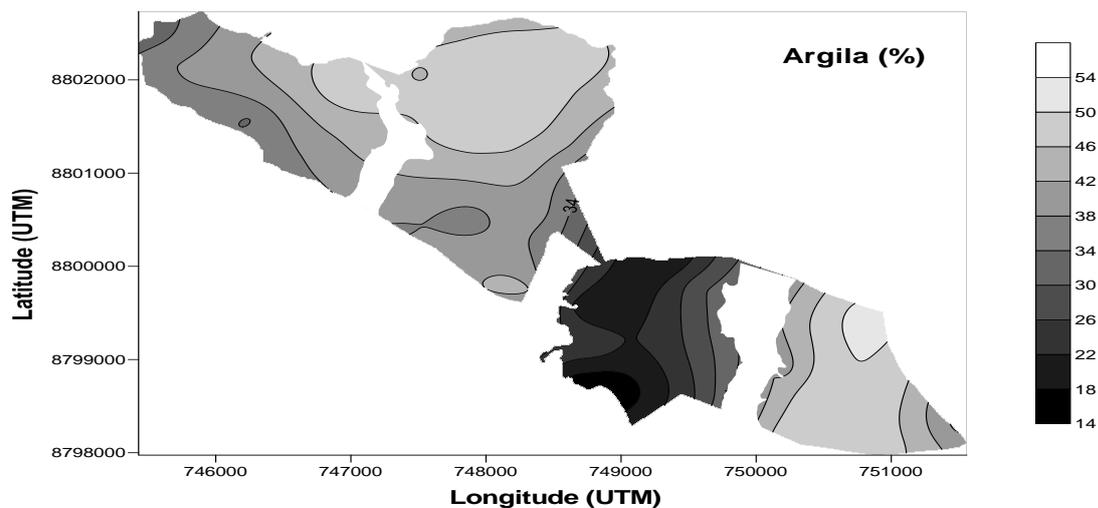


Figura 8. Mapas da distribuição espacial de cálcio da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

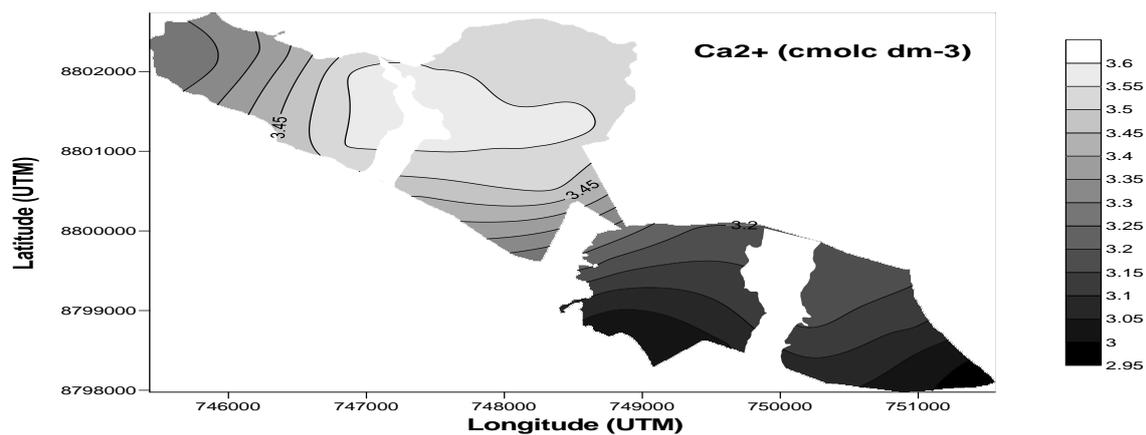


Figura 9. Mapas da distribuição espacial de magnésio da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

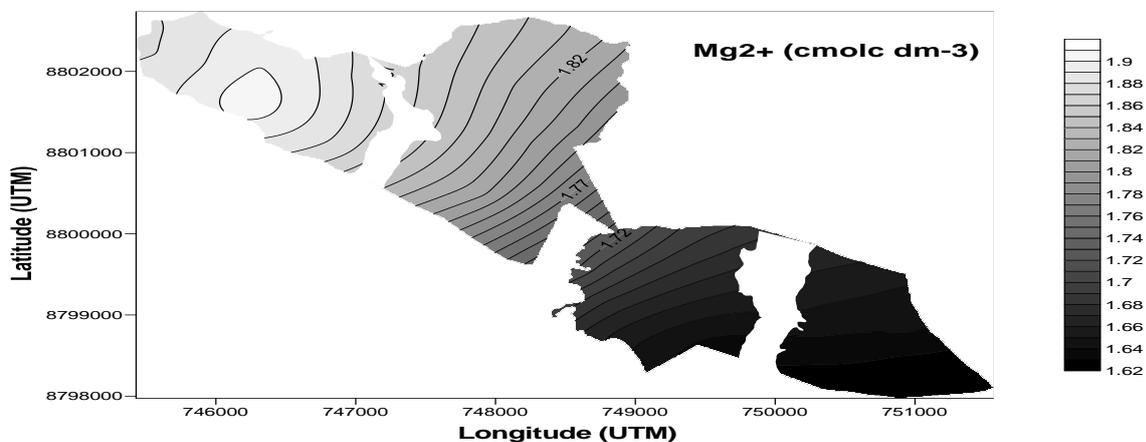


Figura 10. Mapas da distribuição espacial de ferro da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

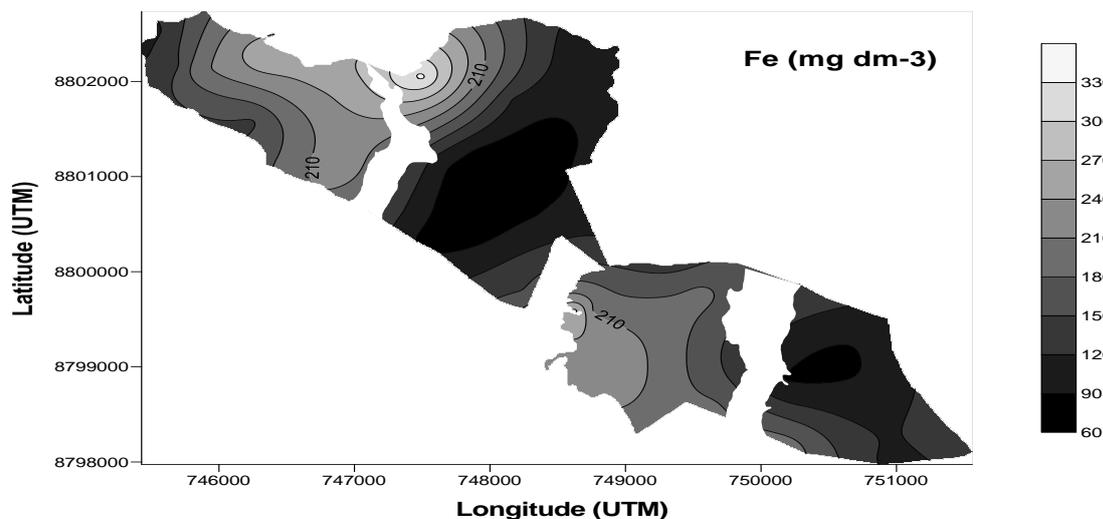


Figura 11. Mapas da distribuição espacial de alumínio da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

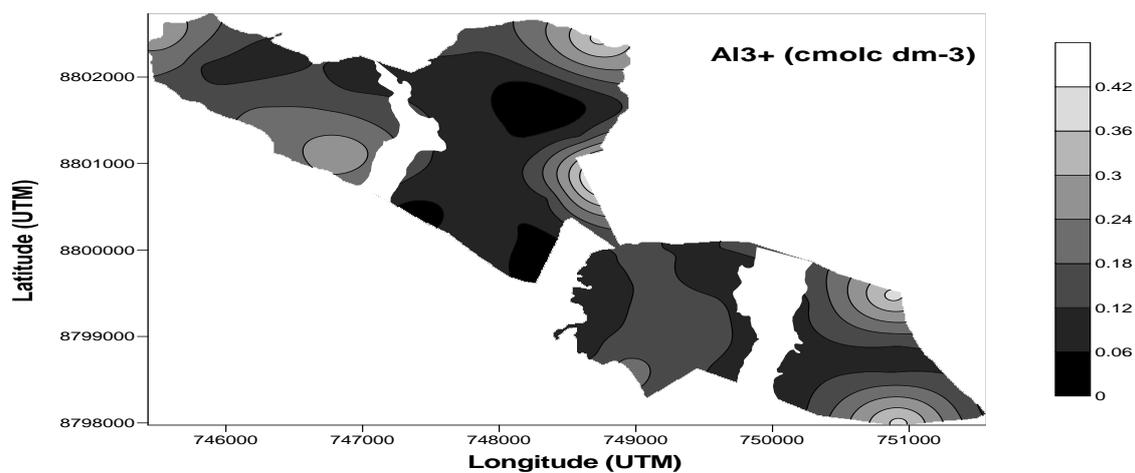


Figura 12. Mapas da distribuição espacial de hidrogênio mais alumínio da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

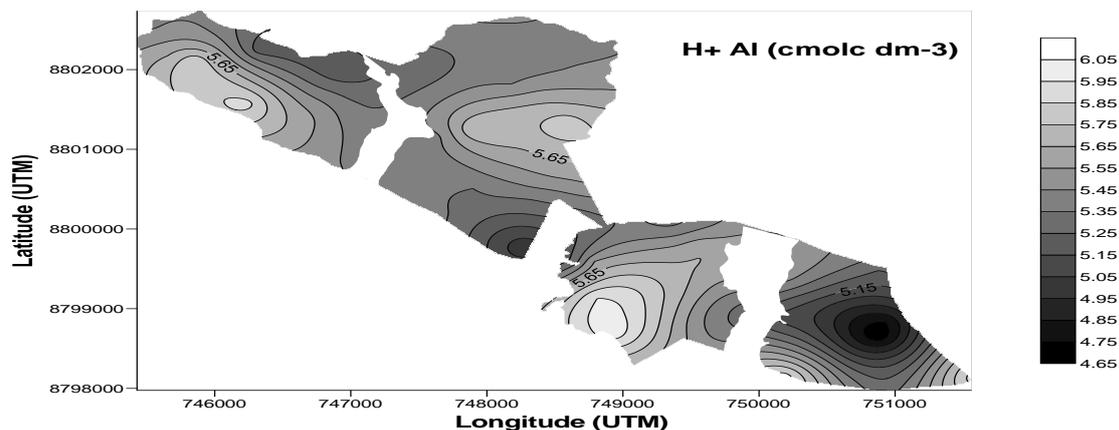


Figura 13. Mapas da distribuição espacial do pH da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

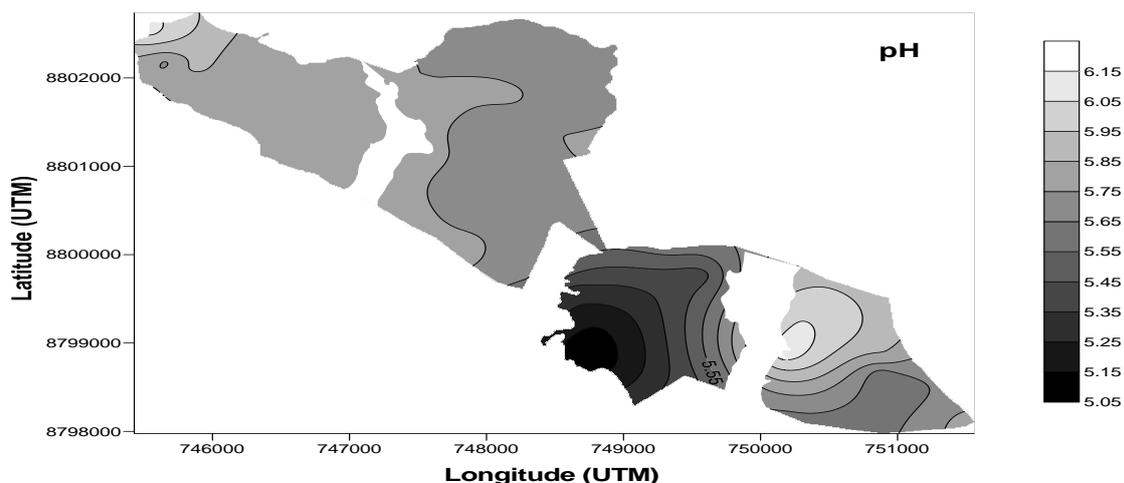


Figura 14. Mapas da distribuição espacial de manganês da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

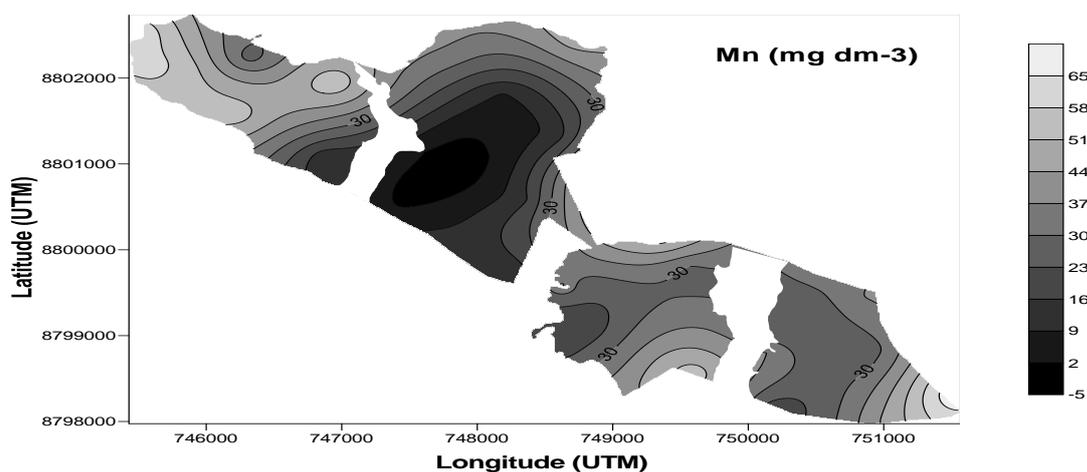


Figura 15. Mapas da distribuição espacial de zinco da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

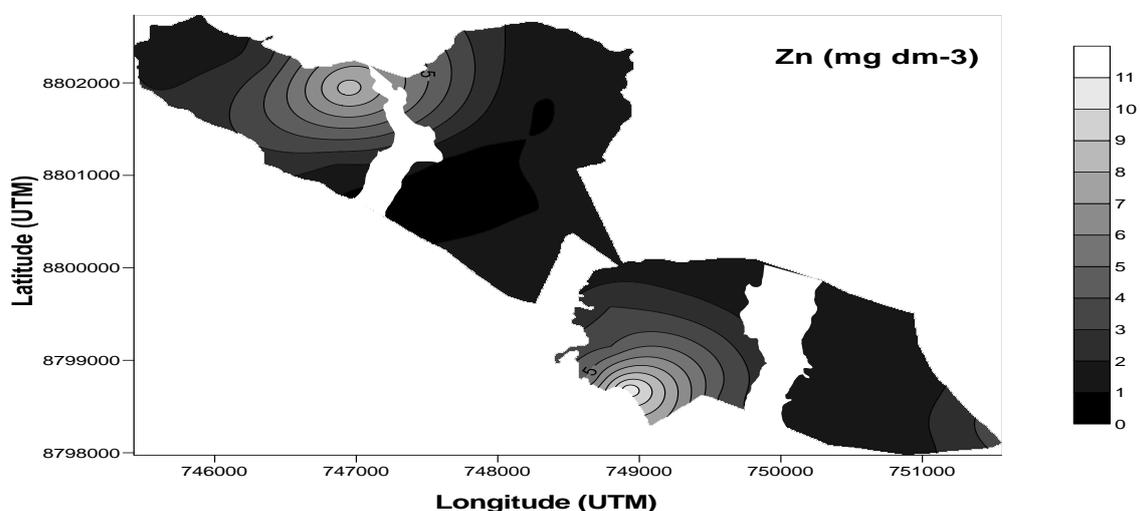
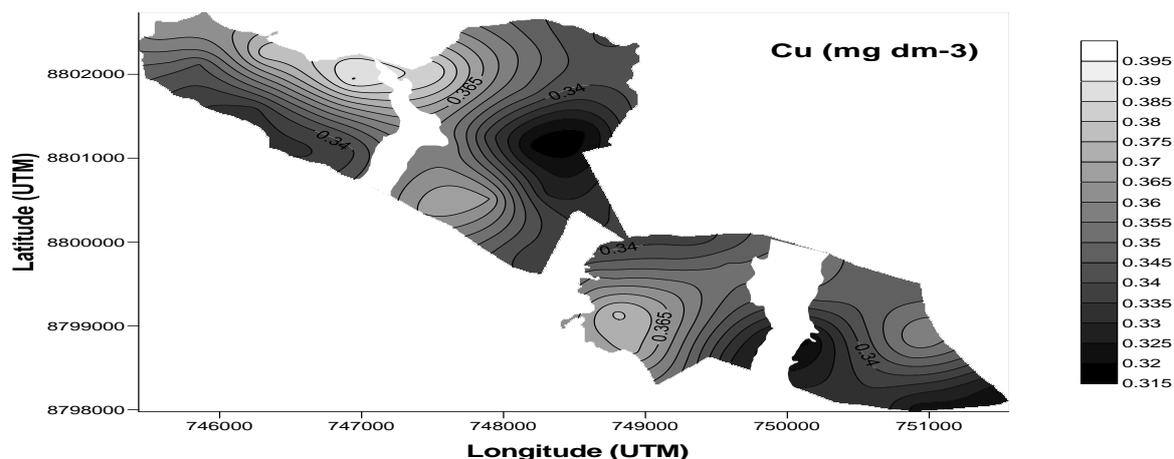


Figura 16. Mapas da distribuição espacial de cobre da Fazenda Recanto da Serra, cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).



É de fundamental importância para a avaliação da fertilidade do solo, a observação da distribuição espacial dos mapas obtidos por meio da interpolação dos dados, pelo método da krigagem ordinária, permitindo identificar zonas específicas, possibilitando a homogeneização da fertilidade do solo, por meio da aplicação de insumos com taxa variada (CARNEIRO, 2016).

A menor variação dos atributos foi verificada para o pH corroborando com o valor baixo do CV, a baixa variação é explicada em função da baixa amplitude dos valores encontrados, observa-se que a maior variabilidade espacial é verificada para o magnésio.

Os mapas de variação espacial mostram que ao se realizar a aplicação de insumos de forma homogênea, sem considerar os diferentes graus de deficiência nutricional, tende a ocorrer zonas com maior e menor quantidades de nutrientes. Tendo como base a classificação de (RIBEIRO et al., 1999), houve a elaboração de mapas da variabilidade espacial dos atributos estudados, para uma melhor compreensão da fertilidade do solo, identificando as classes, como: muito baixos, baixos, médio, bom e muito bom.

Percebe-se por meio das classes determinadas, que há predominância de zonas de fertilidade entre os valores alto e baixo, e na sua minoria com valores considerados bons, isso pode ser atribuído a aplicações de fertilizantes ao longo do cultivo, sem haver na hora do manejo uma suplementação de forma pontual, o que indica que a aplicação fixa não vem surtindo efeito na área, pois não correlaciona a dependência espacial com outros fatores que vem a limitar a disponibilidade dos nutrientes.

Figura 17. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de fósforo do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

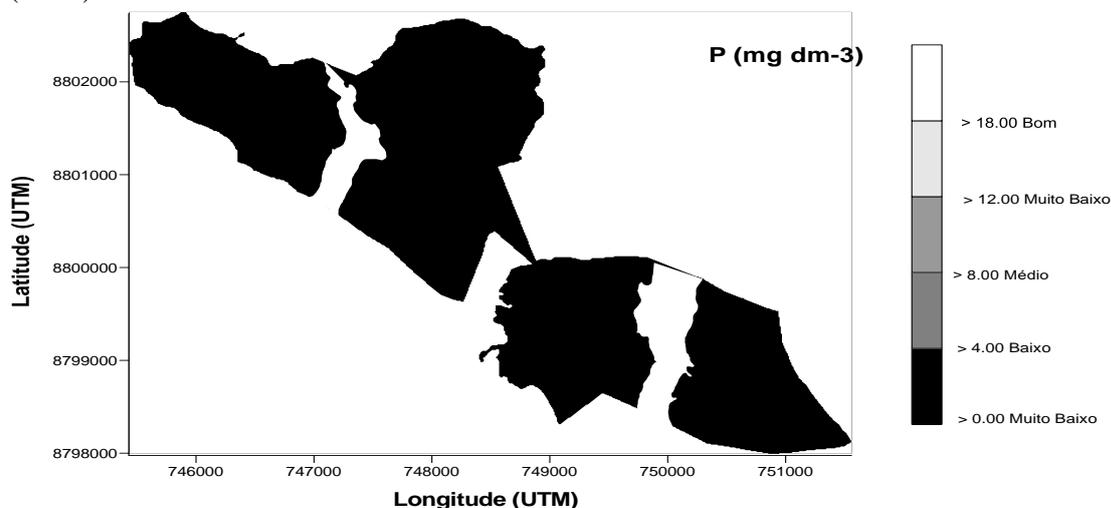


Figura 18. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de potássio do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

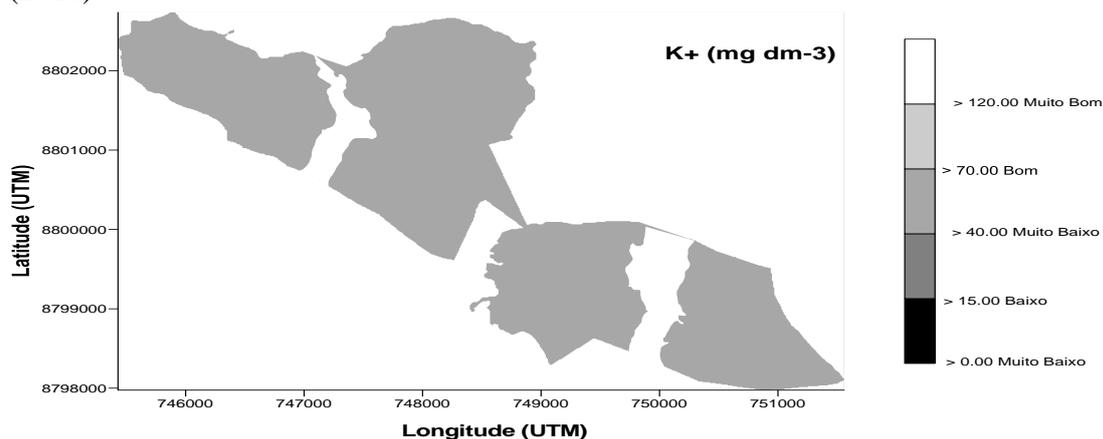


Figura 19. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de cálcio do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

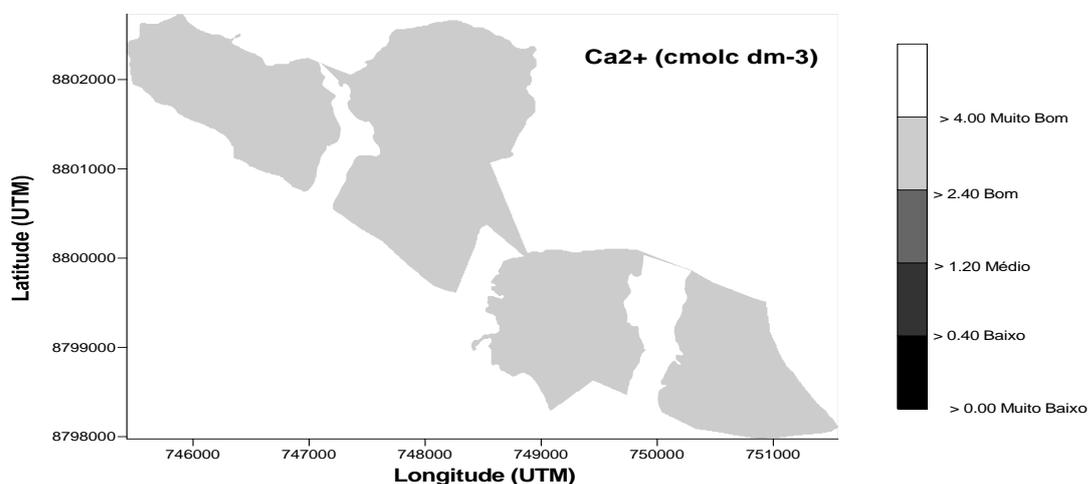


Figura 20. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de magnésio do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

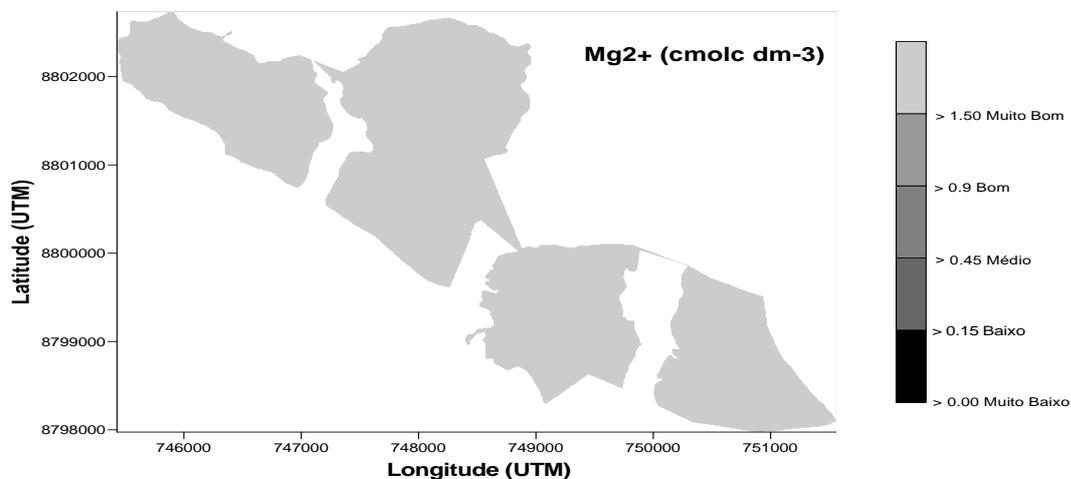


Figura 21. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de ferro do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

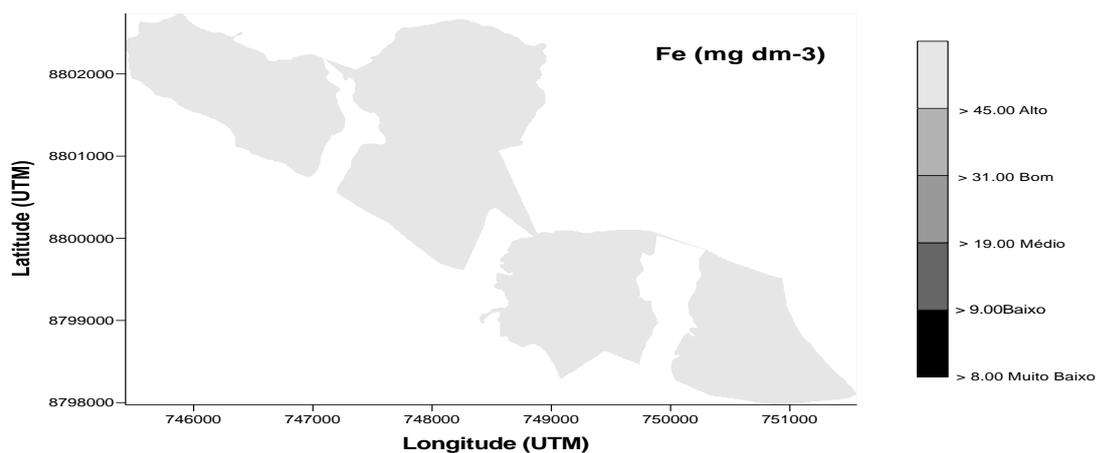


Figura 22. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de potássio do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

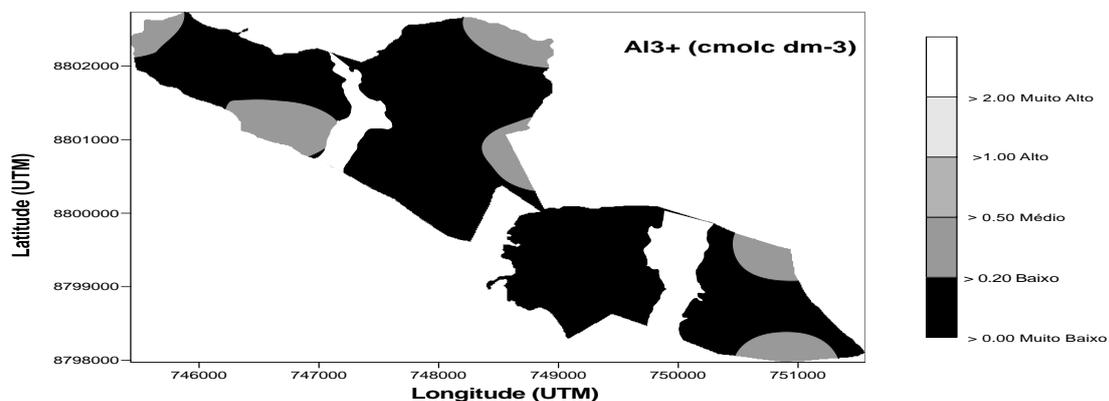


Figura 23. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de hidrogênio mais alumínio do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

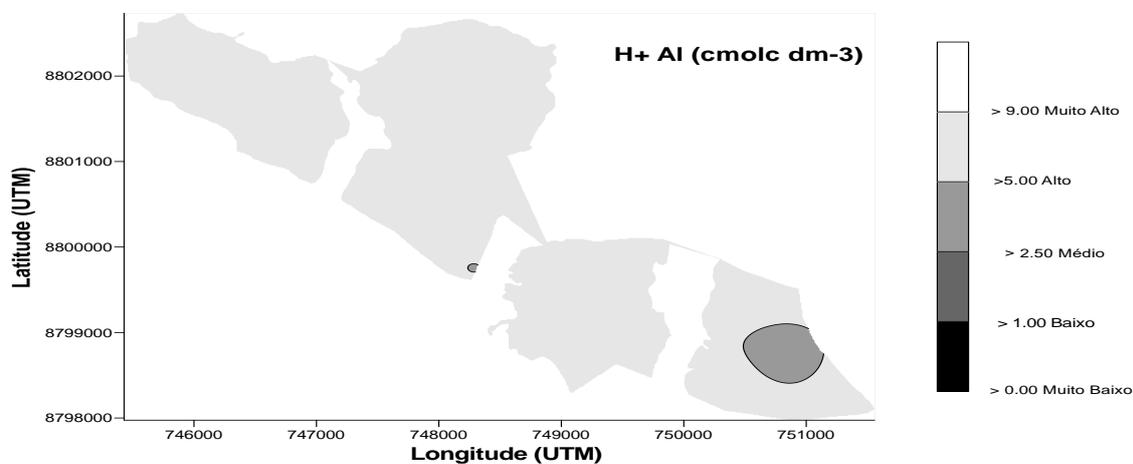


Figura 24. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de pH do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

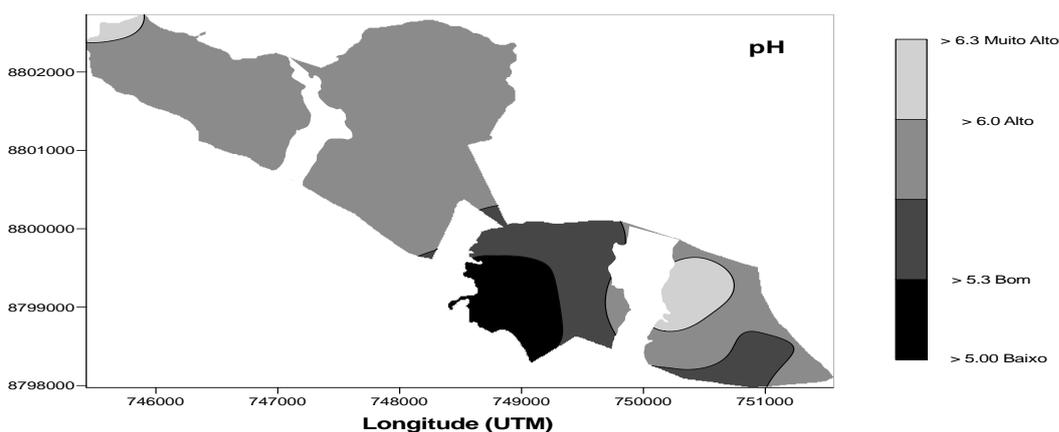


Figura 25. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de manganês do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

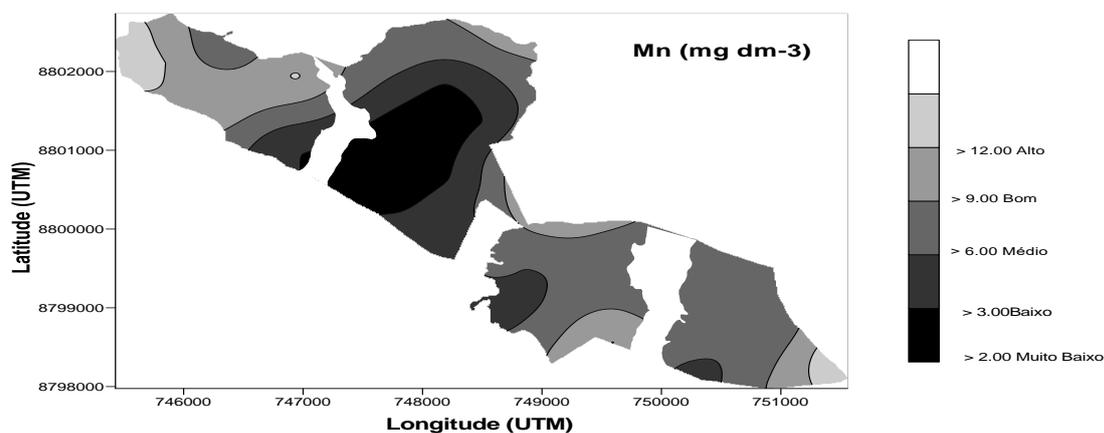


Figura 26. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de zinco do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).

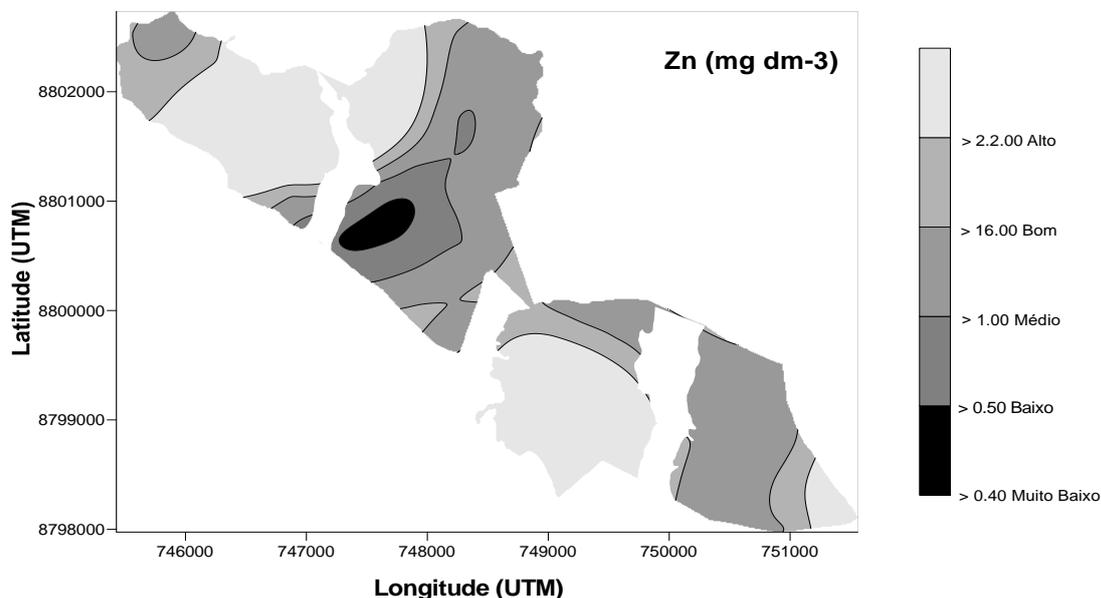
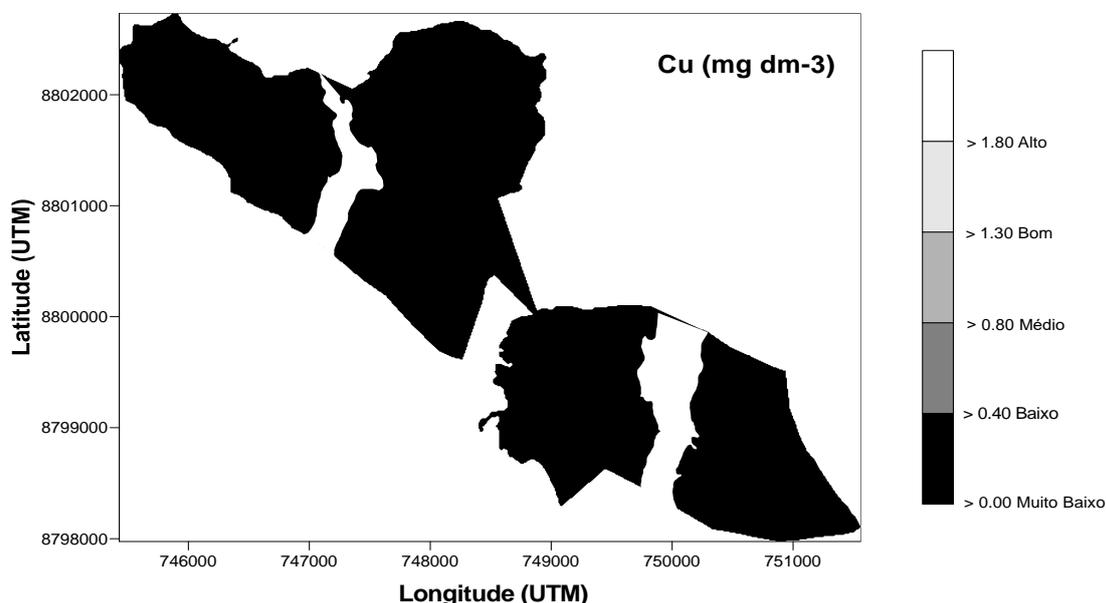


Figura 27. Mapas da distribuição espacial das classes de fertilidade de cobre do solo da Fazenda Recanto da Serra no Cerrado Tocantinense, Brejinho de Nazaré, Tocantins (2018).



Alguns atributos químicos do solo podem não apresentar normalidade, isso se deve a uma provável variação natural originada do processo de formação do solo. Mesmo que a área venha sendo manejada ao longo do cultivo, variações naturais tendem a continuar a aparecer pois a adubação é feita de forma homogênea, desconsiderando as variações naturais, optando assim por uma aplicação média em toda

a área. Com isso percebe-se a necessidade de abordar de forma pontual as características de cada solo, utilizando métodos de agricultura de precisão ao manejar-se um solo.

As práticas adotadas no manejo do solo somado aos processos de formação desse solo, causam variações nos atributos químicos e as principais camadas a sofrerem impacto são as camadas superficiais, tendo os principais causadores a calagem e adubações sucessivas e irregulares (BOTTEGA et al., 2013).

O CV indica a variabilidade dos valores obtidos, essas variabilidades médias e altas encontradas, são consequência da aplicação de fertilizantes com dosagem fixa, onde a dose recomendada será adequada para parte da área, mas será sub ou superdimensionada em outras partes (OLIVEIRA et al., 2013).

O coeficiente de assimetria é utilizado para caracterizar como e quanto a distribuição de frequências se afasta da simetria (CARNEIRO et al., 2016). Quando é encontrado zero com o valor coeficiente, a sua distribuição é considerada simétrica; quando é positivo, sua distribuição é considerada assimétrica para direita; e quando é negativo, é assimétrica para esquerda (ZANÃO JUNIOR et al., 2010).

Os diferentes atributos do solo foram avaliados por meio de parâmetros obtidos do ajuste do semivariograma, determinando assim a dependência espacial dos atributos. A extensão da correlação espacial das amostras é determinada pelo alcance, que mostra a distância máxima em que a variável se correlaciona no espaço (DALCHIAVON et al., 2012). Quando as distribuições são independentes entre si, deve ser aplicada a estatística clássica, sendo por isso que o alcance é um parâmetro importantíssimo para o estudo dos semivariogramas, pois indica a máxima distância em que as variáveis correlacionam espacialmente (MACHADO et al., 2007; MATIAS et al., 2015).

Quanto ao modelo esférico e exponencial, a principal diferença é que no modelo esférico de dependência espacial, o parâmetro é igual ao alcance prático ( $A_1$ ), já no modelo exponencial tem-se o parâmetro igual ao  $A_1/3$  (SEIDEL e OLIVEIRA, 2015).

Na busca por homogeneizar a área de cultivo, com aplicação de corretivos e fertilizantes, duas das principais práticas agronômicas, que os valores de alcance podem sofrer maiores perturbações, sendo que quanto mais homogênea se apresenta a área cultivada, maior será o raio de correlação espacial dos atributos avaliados, ou seja, maior será o alcance, sendo que com o alcance tende a ser maior quando a área cultivada é mais homogênea, sendo por isso que a aplicação de corretivos e fertilizantes são fatores que influenciam no alcance, e são utilizados para obter a homogeneização da área (CARNEIRO et al., 2016).

A homogeneização da área pode ser mais facilmente alcançada com as técnicas de agricultura de precisão, atendendo de forma mais eficiente as necessidades de cada atributo, mitigando assim a variabilidade espacial.

Com a forte dependência espacial, favoreceu-se o melhor ajuste dos semivariogramas, permitindo deste modo a interpolação dos dados. A ausência de independência espacial indica que a malha em que os pontos foram coletados foi suficiente para a análise da variabilidade espacial (DALCHIAVON et al., 2012).

Por isso, infere-se que distribuição dos atributos no espaço não é aleatória, pois a maioria dos valores obtidos variaram entre moderados ou fortes para o grau de dependência espacial, demonstrando que os semivariogramas explicam a maior parte da variância dos dados experimentais (MATIAS et al., 2015).

Quanto ao que se diz respeito às características químicas naturais dos solos do Cerrado, baixos teores de disponibilidades de fósforo e potássio observadas, que sob condição natural de fertilidade apresentam baixa disponibilidade de cátions básicos e nutrientes, principalmente fósforo (BOTTEGA et al., 2013).

Com os mapas da distribuição espacial elaborados, permitiu-se analisar e identificar as zonas onde os atributos têm maior deficiência, podendo assim dar prioridade na hora do manejo, assim como a textura da área, que permite determinar a melhor forma das aplicações, verificando também a variabilidade da fertilidade do solo, permitindo que se trace estratégias de manejo para melhor utilização dos insumos e alcançar a padronização da fertilidade da área, tornando possível aumentar a produtividade da área.

Observa-se que em uma mesma área há uma variação de manchas que são encontradas tanto de deficiência de nutriente quanto de sobra, o que pode ser minimizado por meio da geoestatística, uma vez que implantado permite a correção em cada ponto de forma pontual, homogeneizando a área, permitindo utilizar todo o potencial dos corretivos e fertilizantes, das cultivares e gerando economia na compra dos insumos.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geoestatística foi capaz de gerar os mapas com a variabilidade espacial dos diferentes atributos do solo e identificar as diferentes proporções de cada atributo.

O solo da Fazenda Recanto da Serra apresenta heterogeneidade quanto as classes de fertilidade em diferentes partes da sua área.

Com o melhor conhecimento sobre a variabilidade espacial de cada elemento na área, adquirido por meio da geoestatística, é possível reduzir custos de aplicação de fertilizantes, quando comparado ao método convencional onde se assume uma média e está é incorporada em toda a área.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, D. P. Modelagem de semivariograma considerando anisotropia e dados discrepantes no estabelecimento de zonas de manejo. **Tese**. f.80. Universidade Federal de Viçosa. Doutorado em Estatística Aplicada e Biometria. Viçosa- MG. 2018.
- BARROS, T. N.; FILHO, J. F. M.; PEIXOTO, D. S.; BRANDÃO, V. F.; QUEIROZ, M. G.; MACHADO, W. P. Variabilidade espacial de atributos químicos de latossolo amarelo distrocoeso sob sistema de plantio direto no recôncavo da bahia. **Pensar Acadêmico**, Manhuaçu, v. 16, n. 1, p. 138-147, 2018.
- BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n. 1, p. 1-9, 2013.
- CARNEIRO, J. S. S.; FARIA, A. J. G.; FIDELIS, R. R.; NETO, S. P. S.; SANTOS, A. C., SILVA R. R. Diagnóstico da variabilidade espacial e manejo da fertilidade do solo no cerrado. **Scientia Agraria**, v. 17, n. 3, 2016, p. 38-49 2016.
- JACOB, W. L. & KLUTTE, A. Sampling soils for physical and chemical properties. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.20, p.170-178, 1976. In. BARROS, T. N.; FILHO, J. F. M.; PEIXOTO, D. S.; BRANDÃO, V. F.; QUEIROZ, M. G.; MACHADO, W. P. Variabilidade espacial de atributos químicos de latossolo amarelo distrocoeso sob sistema de plantio direto no recôncavo da bahia. **Pensar Acadêmico**, Manhuaçu, v. 16, n. 1, p. 138-147, 2018.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012.
- IBIAPINA, T. V. B.; 2; SALVIANO, A. A. C.; NUNES, L. A. P. L.; MOUSINHO, F. E. P.; LIMA, M. G.; SOARES, L. M. S. Resistência à penetração e agregação de um Latossolo Amarelo sob monocultivo de soja e de eucalipto no cerrado do Piauí. **Científica**, Jaboticabal, v.42, n.4, p.411-418, 2014.
- MATIAS, S.S.R.; NÓBREGA, J.C.A.; NÓBREGA, R.S.A.; ANDRADE, F.R.; BAPTISTEL, A.C. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo cultivado de modo convencional com soja no cerrado piauiense. **Revista Agro@mbiente Online**, v.9, n.1, p.17-26, 2015.
- MONTANARI, R.; PEREIRA, G. T.; JÚNIOR, J. M.; SOUZA, Z. M.; PAZETO, R. J.; CAMARGO, L. A. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos. **Revista Ciência Rural**, v. 38, n. 5, 2008. In KONRADT, E. C.; CARVALHO, L. A. Distribuição espacial de potássio em duas camadas de solos cultivados com cana-de-açúcar em Mato Grosso do Sul. **Embrapa Informática Agropecuária/INPE**, p. 148 148 -154, 2014.

MONTANARI, R.; PANACHUKI, E.; LOVERA, L. H.; CORREA, A. R.; OLIVEIRA, I.S.; QUEIROZ, H.A.; TOMAZ, P.K. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.2, p.385-396, 2015.

NEGREIROS NETO, J. V.; SANTOS, A. C.; GUARNIERI, A.; SOUZA, D. J. A. T.; DARONCH, D.J.; DOTTO, M.A.; ARAÚJO, A.S. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.1, p.193-204, 2014.

OLIVEIRA, I. R.; TEIXEIRA, D. B.; PANOSSO, A. R.; CAMARGO, L. A.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T. Modelagem geoestatística das incertezas da distribuição espacial do fósforo disponível no solo, em área de cana-de-açúcar. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 3, n.7, p. 1481-1491, 2013.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. 1999. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 359 p.

SEIDEL, E. J. OLIVEIRA, M. S. Medidas de dependência espacial baseadas em duas perspectivas do semivariograma paramétrico. **Ciência e Natura**, v.37 n.4, p. 20-27, 2015.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LEITE, R.L.L.; DIM, V. P.; CRUZ, R. S.; PEDRICO, A.; NEVES NETO, D. N. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, n.2, p.541-552, 2011.

SFB. SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO **As florestas plantadas**. Brasília-DF: SFB, 2016. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/estoque-das-florestas>>. Acesso em: 13 jan. 2019.

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

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; PEREIRA, J. M. A. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em Latossolos sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.389-400, 2010.

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

## 7. CAPÍTULO 2: ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS E COMPONENTES PRINCIPAIS EM VINTE E UMA FAZENDAS LOCALIZADAS NA REGIÃO SUL DO TOCANTINS.

### RESUMO

Nesse trabalho teve-se como objetivo agrupar vinte e uma fazendas com base nos níveis de fertilidade de cada classe de solo identificada, por meio da análise de Cluster, para facilitar a tomada de decisão no manejo das fazendas. O estudo foi realizado em parceria estabelecida entre a Universidade Federal do Tocantins/Campus de Gurupi e MR Consultoria & Assessoria Rural LTDA ME. A extensão total da área trabalhada foi de 22.889,61 ha nas empresas Florestal Gurupi Sa E Florestal Itaquari – Florestamento E Reflorestamento Ltda, as amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0,00-0,20 m e feitas amostras compostas. Foram feitas análises laboratoriais completas, de macronutrientes e micronutrientes, alumínio e argila. Os dados foram submetidos a análise de aglomerados de Cluster no software R, sendo gerados dendrogramas de caixa e dendrograma de árvore e posterior análise de componentes principais. Observou-se a formação de diferentes números de agrupamentos das fazendas em relação aos atributos do solo com a mesma distância euclidiana. Na análise de componentes principais observou-se que o ferro e alumínio se destacaram dos demais elementos quanto a força de carga, descrevendo melhor a os solos estudados. Portanto a análise de Cluster permite que seja feita a formação de grupos de fertilidades em diversas fazendas, permitindo que sejam separadas em grupos de similaridade, possibilitando avaliar a eficácia do manejo do solo, em conjunto com a análise de componentes principais que ajuda a definir quem melhor expressa as características desses solos.

**Palavras chave:** análise de cluster, biplot, dendrograma, *Eucalyptus* ssp.

## ABSTRACT

This work aimed to group twenty - one farms based on the fertility levels of each identified soil class, through Cluster analysis, to facilitate decision making in farm management. The study was conducted in partnership established between the Federal University of Tocantins / Campus de Gurupi and MR Consultoria & Assessoria Rural LTDA ME. The total area of the work area was 22,889.61 ha in the FLORESTAL GURUPI SA and FLORESTAL ITAQUARI - FLORESTATION AND REFLORESTAMENTO LTDA companies, the soil samples were collected at a depth of 0.00-0.20 m and composite samples were taken. Complete laboratory analyzes of macronutrients and micronutrients, aluminum and clay were done. The data were submitted to analysis of Cluster agglomerates in the R software, generating tree dendrograms and tree dendrograms and subsequent analysis of main components. It was observed the formation of different numbers of farms groupings in relation to the attributes of the soil with the same Euclidean distance. In the analysis of main components it was observed that Iron and Aluminum stood out from the other elements regarding the load force, describing better the studied soils. Therefore, Cluster analysis allows the formation of fertility groups in different farms, allowing them to be separated into groups of similarity, making it possible to evaluate the effectiveness of soil management, together with the analysis of main components that helps to define who best describes the characteristics of these soils.

Key words: cluster analysis, biplot, dendrogram, eucalyptus ssp.

## 8. INTRODUÇÃO

Referência mundial por sua atuação pautada pela sustentabilidade, competitividade e inovação, a indústria brasileira de árvores plantadas está entre os principais produtores de celulose, papel e painéis de madeira no mundo, com exportações que trazem inegável contribuição para a balança comercial e gera muitos empregos e renda em todas as regiões do país (IBÁ, 2018).

O cultivo de *Eucalyptus* spp. no Brasil tem aumentado devido ao rápido crescimento e diversificação no uso da madeira e pela facilidade de adaptação às diferentes condições edafoclimáticas (LIMA et al., 2017).

O Tocantins segundo dados do (IBÁ, 2016) há uma área plantada de 116.365 ha. Para avaliar as mudanças ocorridas no solo e o desenvolvimento do eucalipto é necessária a utilização da silvicultura de precisão associada à geoestatística (LIMA et al., 2017).

Mesmo com números expressivos tanto em produção quanto em valor econômico, o cultivo do *Eucalyptus* spp. sofre com banalização das exigências nutricionais, devido a rusticidade, e adaptabilidade a solos ácidos, somado a aplicação de fertilizantes e corretivos do solo de forma uniforme na área, sem levar em consideração as necessidades específicas de cada solo, causa uma heterogeneidade nos níveis de fertilidade do solo.

A análise de agrupamento (AA) é uma técnica estatística de análise multivariada e tem como objetivo classificar os indivíduos de uma população que são conhecidos por suas características, em grupos que sejam homogêneos intragrupos e heterogêneos intergrupos (LIMA et al., 2010; SILVA et al., 2013).

A técnica da análise multivariada por meio da AA serve como importante ferramenta estatística em diversos estudos que envolvem variáveis meteorológicas quando se deseja encontrar regiões homogêneas sob o ponto de vista de suas características peculiares, ou seja, com isso técnicas estatísticas de homogeneização são fundamentais para captar características semelhantes e assim obter um padrão de similaridades regionalizado (FREITAS et al., 2013).

As técnicas de agrupamento diminuem a subjetividade dos dados, pois quantificam a similaridade ou dissimilaridade entre os indivíduos (PINTO et al., 2017). Sendo que a classificação dos indivíduos em grupos distintos é feita a partir de uma

função de agrupamento denominada distância ou similaridade e de um critério matemático de agrupamento (LIMA, 2015).

Na análise simultânea de muitas informações, a estatística multivariada torna-se a melhor ferramenta, possibilitando obter informações e interpretações que poderiam não ser perceptíveis com o uso da análise estatística univariada (CRUZ; REGAZZI, 2001; FREITAS et al., 2013).

Dessa forma, alguns estudos têm aplicado técnicas multivariadas para avaliação das variáveis do solo e encontrado resultados satisfatórios. Assim, o entendimento do comportamento dos atributos do solo permite o estabelecimento de práticas adequadas de manejo do solo (FREITAS et al., 2013).

## **8.1. Objetivo Geral**

Este trabalho teve como objetivo utilizar análises de múltiplos fatores, para auxiliar na tomada de decisão no manejo de diversas fazendas.

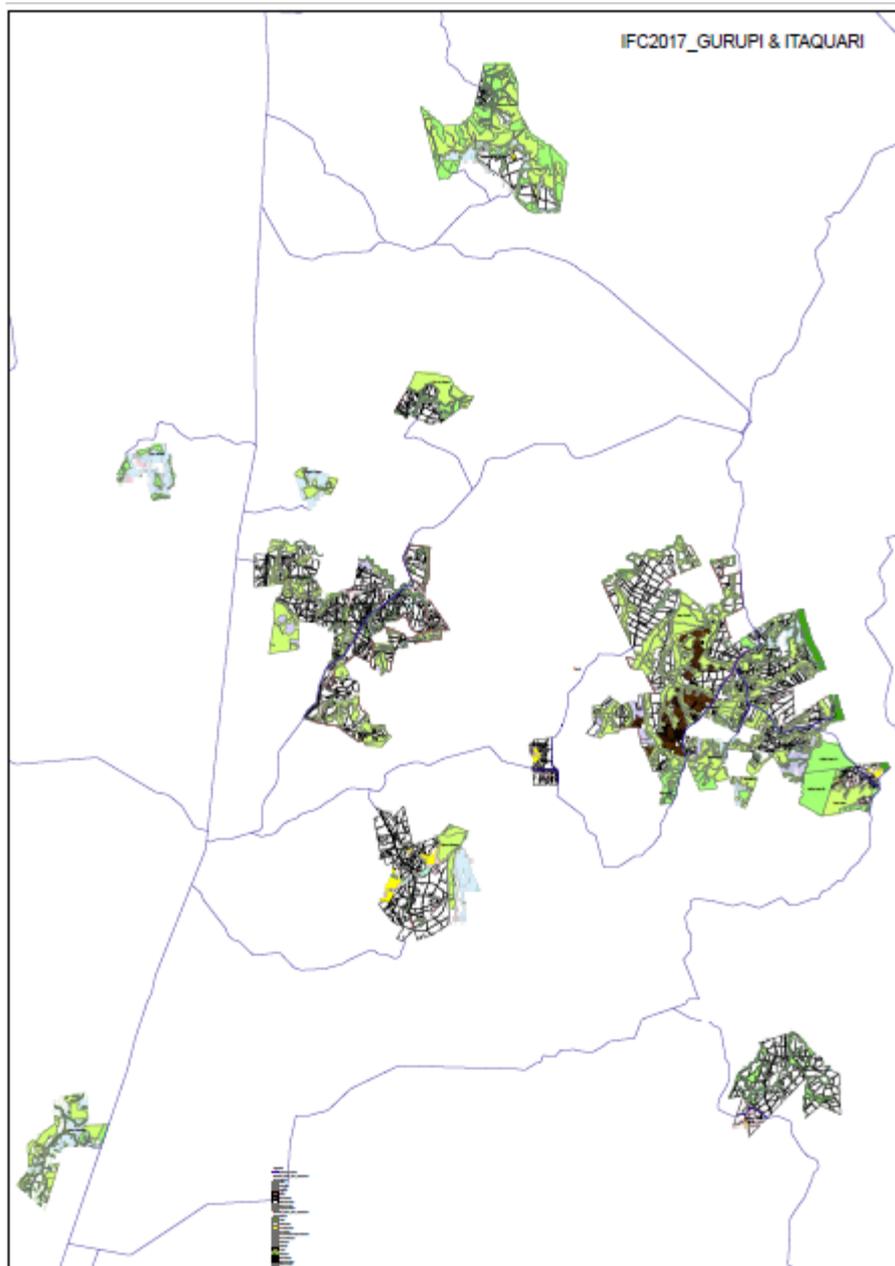
### 8.1.1. Objetivos Especificos

1. Agrupar vinte e uma fazendas com base nos níveis de fertilidade de cada classe de solo identificada, por meio da análise de Cluster
2. Determinar quais os componentes principais que influenciam nessas fazendas.

## 9. METODOLOGIA

O estudo foi realizado em parceria estabelecida entre a Universidade Federal do Tocantins/Campus de Gurupi e MR Consultoria & Assessoria Rural LTDA ME. A extensão total da área trabalhada foi de 22.889,61 ha nas empresas **FLORESTAL GURUPI SA** e **FLORESTAL ITAQUARI – FLORESTAMENTO E REFLORESTAMENTO LTDA**.

Figura 28. Mapa da localização das Fazendas na região Sul do Estado do Tocantins.



A caracterização dos solos foi realizada nas Fazendas: Ana Paula, Altamira, Maranatha, Curica, Capivara, Lago Azul, São João, Surubim, Santo Reis, São José, Nossa Senhora Aparecida, Flor de Goiás, Tempo ao Tempo, Cachoeirinha, Quero Quero, Pé de Serra, Água Limpa, São Rafael, Santa Bárbara, Entre Rios, Espírito Santo, Vão da Serra, Recanto da Serra e Santo Antônio.

A área tem cultivo comercial de monocultura de *Eucalyptus* ssp., sendo esta cultivada desde 2012. Foi realizada adubação parcelada de NPK+ micronutrientes e fosfato no momento da subsolagem na ocasião do plantio; 1º adubação de cobertura com N e K mais micronutrientes foi realizada aos 60 após o plantio; 2º adubação de cobertura com N e K mais micronutrientes 120 dias após o plantio; por último KCl mais micronutrientes aos 12 meses após o plantio e nessa mesma ocasião feita aplicação aérea de micronutrientes. As adubações de cobertura foram realizadas de forma mecanizada em filetes contínuos.

Os solos estudados foram classificados como LATOSSOLO Vermelho Amarelo, PLINTOSSOLO e CAMBISSOLO, NEOSSOLO e GLEISSOLO (EMBRAPA, 2013). As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0,00-0,20 m e feitas amostras compostas. Foram feitas análises laboratoriais completas, de macronutrientes e micronutrientes, Alumínio e argila.

Os dados passaram pelo teste de esfericidade de Bartlett, sendo utilizado para determinar se as variáveis têm ou não correlação.

Os dados foram submetidos a análise de aglomerados de Cluster no software R, sendo gerados dendrogramas de caixa e dendrograma de árvore. Para a análise do coeficiente de variação (CV), usou-se a classificação de Warrick & Nielsen (1980), com variabilidade baixa para valores  $< 12\%$ , média para valores entre  $12\% < CV < 60\%$  e alta para valores  $> 60\%$ .

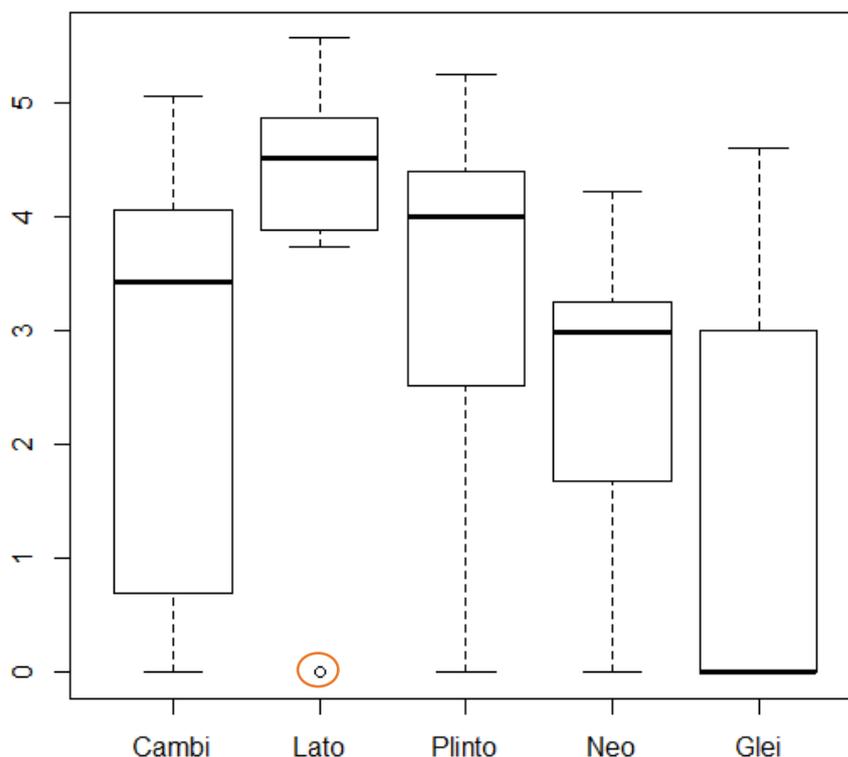
## 10. RESULTADOS E ANÁLISE

Após a submeter os dados ao teste de esfericidade de Bartlett obteve-se o valor de  $p = < 2.2e-16$ , indicando correlação significativa entre as amostras, podendo dar continuidade as análises.

Foi utilizado dendrogramas de boxplot para identificar e remover outliers, que poderiam comprometer a base de dados estudada.

Sendo este gráfico utilizado para demonstrar a semelhança ou a dissimilaridade entre as classes de solos, percebe-se que o LATOSSOLO está mais próximo do PLINTOSSOLO, assim como o CAMBISSOLO está do NEOSSOLO, sendo o GLEISSOLO o que mais de distancia dos demais.

Figura 29. Gráfico boxplot dos macronutrientes micronutrientes, argila e Alumínio dos solos de vinte e uma fazendas, com 6 anos de cultivos de *Eucalyptus* ssp. na região Sul do Tocantins.



Observa-se que há presença de outlier representados por um pequenos circulo que se encontram na parte inferior do diagrama e na caluno da classe de solo em que se

localiza o dado discrepante à média. O outlier em questão foi encontrado no LATOSSOLO, observando um maior desvio padrão presente no PLINTOSSOLO.

Na tabela 1 e 2 observa-se que há grande variação quanto aos dados obtidos, referentes aos macronutrientes quanto para micronutrientes, argila e Alumínio dos solos, tornando evidente a variação nos valores tanto entre as fazendas quanto entre as classes de solos.

A partir dos valores da mediana observa-se que as classes de solos apresentam valores diferentes, porem alguns são próximos, essa proximidade vai ser determinada pela análise de cluster, avaliando quais fazendas estão mais próximas umas das outras em níveis de fertilidade, formando os aglomerados com base nos valores da mediana.

O CV indica a variabilidade dos valores obtidos, essas variabilidades médias e altas encontradas, são consequência da aplicação de fertilizantes com dosagem fixa, onde a dose recomendada será adequada para parte da área, mas será subestimada ou superdimensionada em outras partes (OLIVEIRA et al., 2013).

O CV foi utilizado para classificar a variabilidade dos atributos, nota-se que os CV encontrados entre as fazendas foram predominantemente altos e médios segundo Warrick & Nielsen (1980), para todas as classes de solos, tanto para macronutrientes quanto para micronutrientes, argila e alumínio, sendo que somente o boro apresentou valores abaixo de 12%, havendo grupos com diferentes níveis de proximidade entre as classes também, esses valores elevados no CV se deve a elevadas amplitudes dos valores.

Essa variação grande pode ser correlacionada com a forma de manejo da fertilidade, em que a recomendação de adubação é feita com base na média da área e não leva em consideração as necessidades específicas de cada solo, bem como os diferentes materiais de origem de cada solo, que resultaram em diferentes formas de adsorção dos nutrientes incorporados.

Tabela 3. Análise química dos macronutrientes e argila dos solos de 21 fazendas, com 6 anos de cultivos de *Eucalyptus* ssp. na região Sul do Tocantins.

ID	Fazenda	Cambissolo					Latossolo					Pintossolo					Neossolo					Gleissolo					
		P	K	Ca	Mg	Argila	P	K	Ca	Mg	Argila	P	K	Ca	Mg	Argila	P	K	Ca	Mg	Argila	P	K	Ca	Mg	Argila	
1	Alvânia	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2	Maranhã	0,8	14	0,0	-0,2	1,0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
3	Curia	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4	Capivara	0,7	15	0,2	0,2	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
5	Lago azul	0,7	15	.	0,2	0,2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
6	São João	0,5	18	0,3	0,1	0,8	0,1	1,8	-0,1	-0,4	1,2	0,2	14	.	-0,1	1,3	0,4	1,8	0,1	-0,2	1,1	.	.	.	.	.	
7	Santim	0,6	17	-0,2	0,0	1,4	0,6	1,5	-0,3	-0,1	1,3	.	.	.	.	.	0,6	1,3	0,0	-0,5	0,9	.	.	.	.	.	
8	Santo Reis	0,6	13	-0,2	-0,4	0,8	0,6	1,4	-0,2	0,1	1,5	.	.	.	.	.	-0,7	.	-0,4	-0,5	0,6	-0,7	.	.	-0,2	-0,5	1,2
9	NS Aparecida	0,6	14	-0,2	-0,1	0,9	0,5	1,4	0,0	-0,1	1,2	0,4	1,3	.	-0,4	1,2	0,6	1,0	.	-0,6	-0,1	.	.	.	.	.	
10	Flor-de-Góias	0,8	16	0,3	0,0	0,9	0,2	1,5	-0,2	-0,2	1,4	0,0	1,7	0,4	0,1	1,2	0,7	1,5	-0,2	-0,4	0,8	0,0	1,7	-0,1	-0,3	1,4	
11	Tempo ao Tempo	0,6	14	-0,2	0,0	1,2	0,6	1,4	-0,1	-0,2	1,3	0,5	1,3	0,3	0,1	1,3	0,7	1,3	-0,1	-0,5	0,5	.	.	.	.	.	
12	Catcoelândia	0,5	16	-0,1	-0,2	1,3	0,2	1,3	0,0	-0,4	1,4	0,2	1,2	0,0	-0,4	1,3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
13	Quero Quero	0,6	17	0,2	-0,1	1,1	0,4	1,8	0,1	0,0	1,4	0,6	1,8	0,2	0,0	0,8	0,5	1,6	-0,2	-0,2	1,0	1,1	2,0	0,1	-0,1	1,0	
14	Pé de Serra	0,8	19	0,4	0,1	1,1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,5	1,3	-0,1	-0,2	1,0	.	.	.	.	.	
15	Agua Limpá	0,6	14	0,0	0,2	1,2	0,6	1,4	0,2	0,2	1,6	0,6	1,4	-0,1	0,0	1,5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
16	São Rafael	0,4	18	0,2	-0,1	1,1	0,5	1,4	0,0	-0,1	1,2	0,4	1,5	0,1	0,0	1,0	0,4	1,1	-0,2	-0,8	0,5	0,8	1,6	0,3	.	0,7	
17	Santa Bárbara	0,4	2,2	0,0	-0,1	1,3	0,2	2,0	0,1	0,0	1,5	0,5	2,3	0,0	-0,1	1,4	0,4	2,2	0,1	-0,2	1,1	0,6	1,9	0,1	-0,2	1,3	
18	Entre Rios	.	.	.	.	.	0,6	1,8	0,4	-0,1	1,3	0,5	1,4	-0,1	-0,3	1,2	0,6	1,4	.	-0,4	0,9	0,8	1,3	.	-0,5	1,1	
19	Espinho Santo	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,8	1,3	-0,1	-0,2	0,7	.	.	.	.	.	
20	Vão da Serra	0,9	1,3	0,2	0,1	1,3	0,8	.	0,0	-0,4	1,6	0,9	1,3	0,2	-0,4	1,6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
21	Reserva da Serra	0,1	1,9	.	0,0	1,2	0,4	1,8	-0,2	0,0	1,5	0,5	2,1	-0,5	-0,1	1,4	.	.	.	.	.	.	.	.	-0,3	.	
	Média	0,6	1,6	0,1	0,0	1,0	0,4	1,5	0,0	-0,1	1,4	0,5	1,5	0,0	-0,1	1,1	0,5	1,5	-0,1	-0,3	0,7	0,6	1,6	-0,1	-0,2	1,0	
	Mediana	0,6	1,6	0,0	0,0	1,1	0,5	1,5	0,0	-0,1	1,4	0,5	1,4	0,0	-0,1	1,2	0,6	1,4	-0,1	-0,2	0,8	0,8	1,5	-0,1	-0,2	1,0	
	DP	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	0,1	0,2	0,4	0,5	0,3	0,3	0,2	0,3	
	CV	29,3	15,9	388,4	-76,8	36,6	46,9	14,0	-10,67,9	-14,6	9,9	43,4	19,3	780,5	-12,1	38,1	63,9	18,9	-11,5	-84,0	52,8	86,3	18,0	-290,1	-7,9	25,4	

ID: identificação; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; CV: coeficiente de variação.



A partir da análise de agrupamentos hierárquicos, obtido da matriz de dissimilaridade, em sequência foi obtido a semelhança das fazendas em estudo pelo método “single linkage”, que define os grupos de indivíduos mais próximos a partir de uma matriz de distâncias.

Formado então o dendrograma de árvore, observa-se a formação de vários grupos com diferentes distâncias euclidianas, sendo ela é a distância geométrica em um plano multidimensional, que define o nível de dissimilaridade entre indivíduos, ou seja, quanto maior for a distância euclidiana, maior a dissimilaridade. Foi então levado em consideração a mediana e as classes dos solos para a formação da matriz de dissimilaridade.

Cada vez que se obtém variação expressiva nos valores de distância euclidiana entre os acessos, para o conjunto de variáveis consideradas, é possível fazer uma divisão de grupos (FREITAS et al., 2015).

Os dendrogramas confirma que dependendo dos dados o corte para manter a divisão de 3 grandes grupos, vai depender da distância euclidiana, formando regiões de similaridade, mantendo para os macronutrientes, micronutrientes, argila e alumínio um corte na distância euclidiana 2,0 dos solos de vinte e uma fazendas, observa-se que a partir daí o alumínio formou 3 clusters, os macronutrientes formaram 4 cluster juntamente com a argila e os micronutrientes manganês e ferro, já o cobre e zinco formaram 6 cluster, e por fim o boro com 8 cluster formados.

A escolha de determinar uma mesma distância euclidiana para todos os dendrogramas, permite o estudo futuro das fazendas e visualizar graficamente como as fazendas estão respondendo ao manejo realizado pós estudo.

Observando a frequência em que a identificação de determinadas fazendas aparece nas aglomerações, percebe-se que, a fazenda Santa Barbara representada pela identificação 17, sempre se apresenta isolada, assim como a fazenda Flor de Goiás representado pela identificação 10, e Surubim 7, isso indica que essas fazendas são as mais heterogêneas.

Figura 30. Dendrograma de árvore resultante da análise química dos macronutrientes dos solos de Vinte e uma fazendas, com 6 anos de cultivos de *Eucalyptus* ssp. na região Sul do Tocantins.

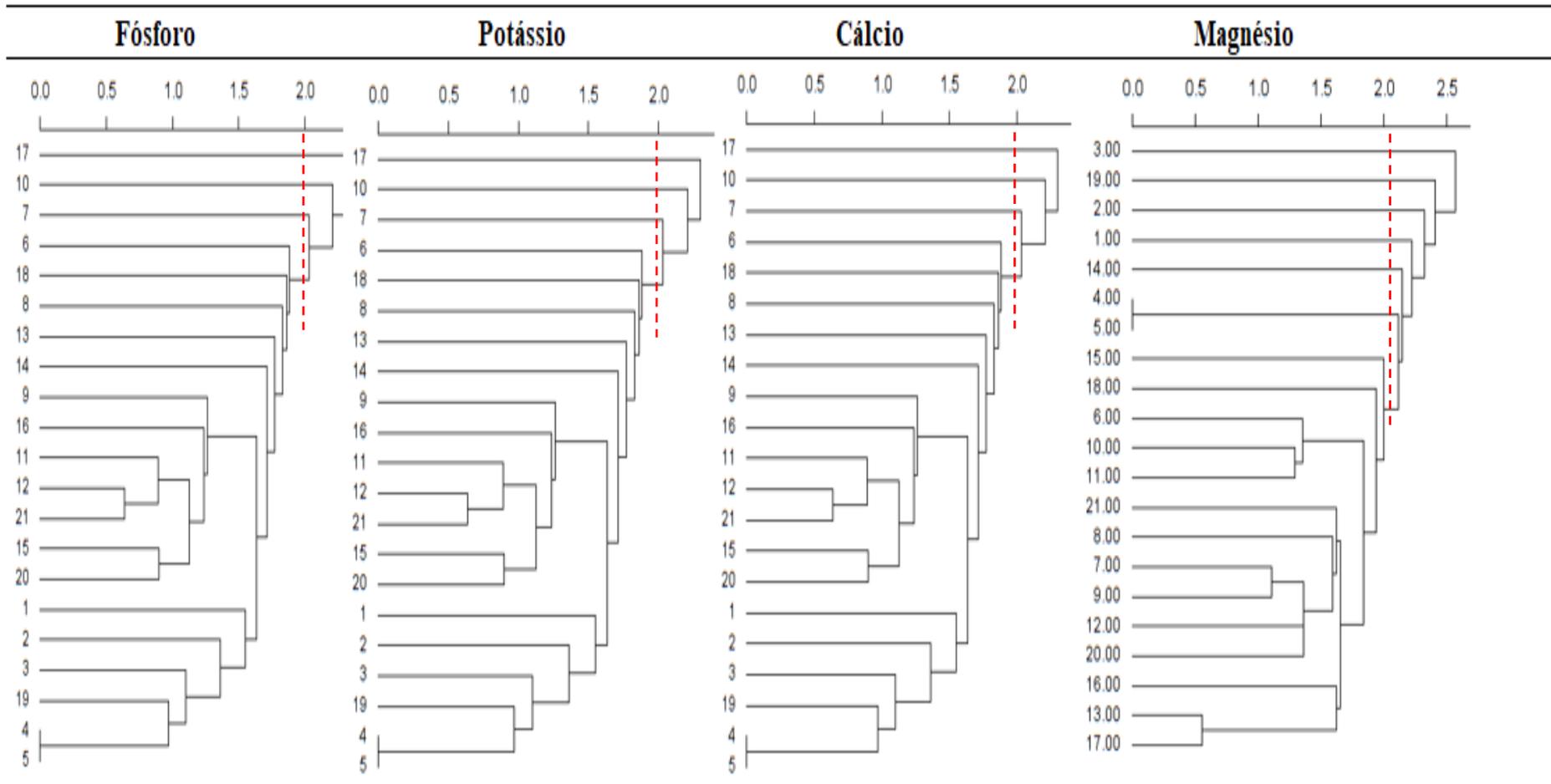


Figura 31 Dendrograma de árvore resultante da análise química dos macrinutrientes dos solos de vinte e uma fazendas, com 6 anos de cultivos de *Eucalyptus ssp.* na região Sul do Tocantins.

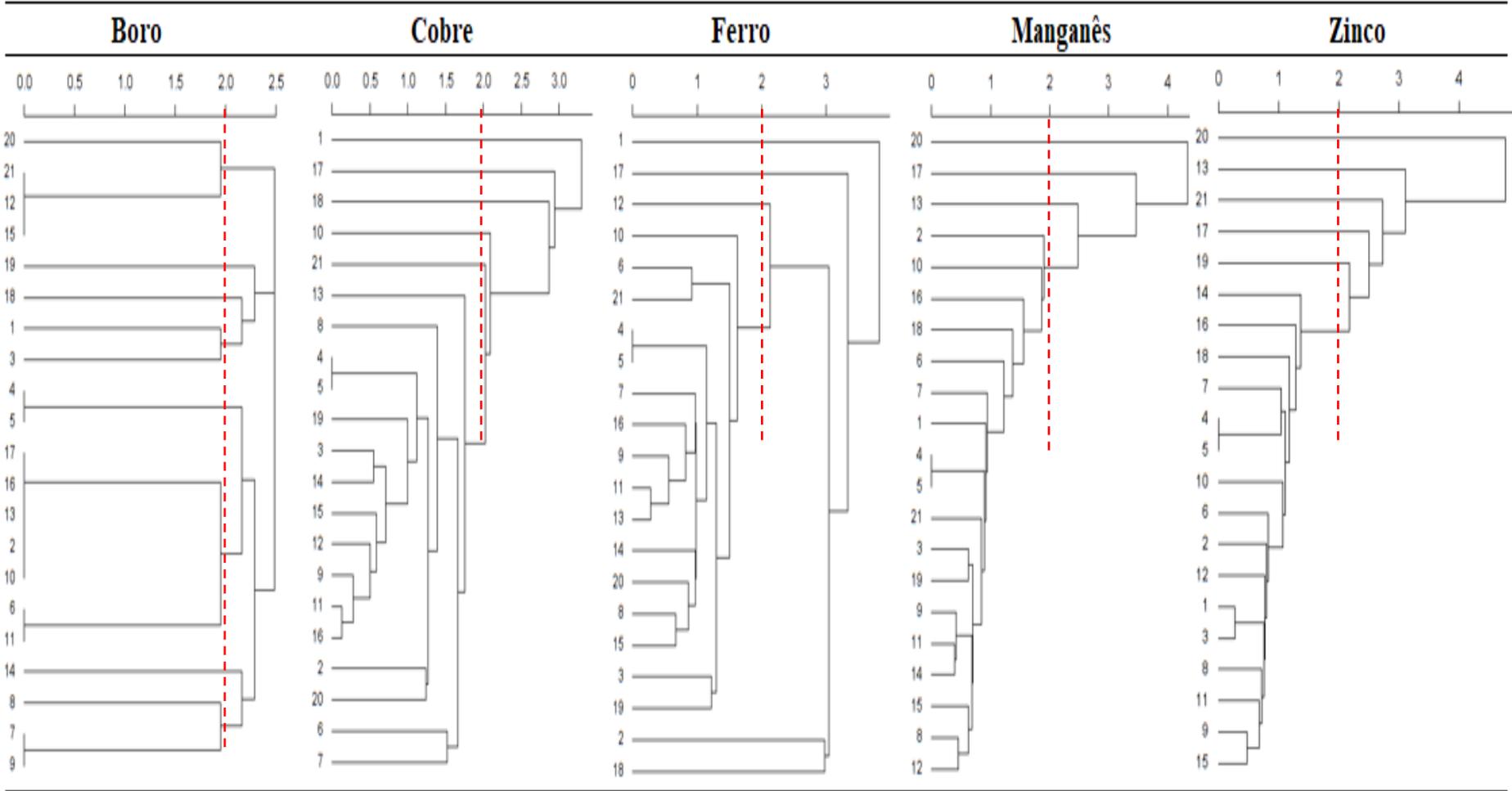
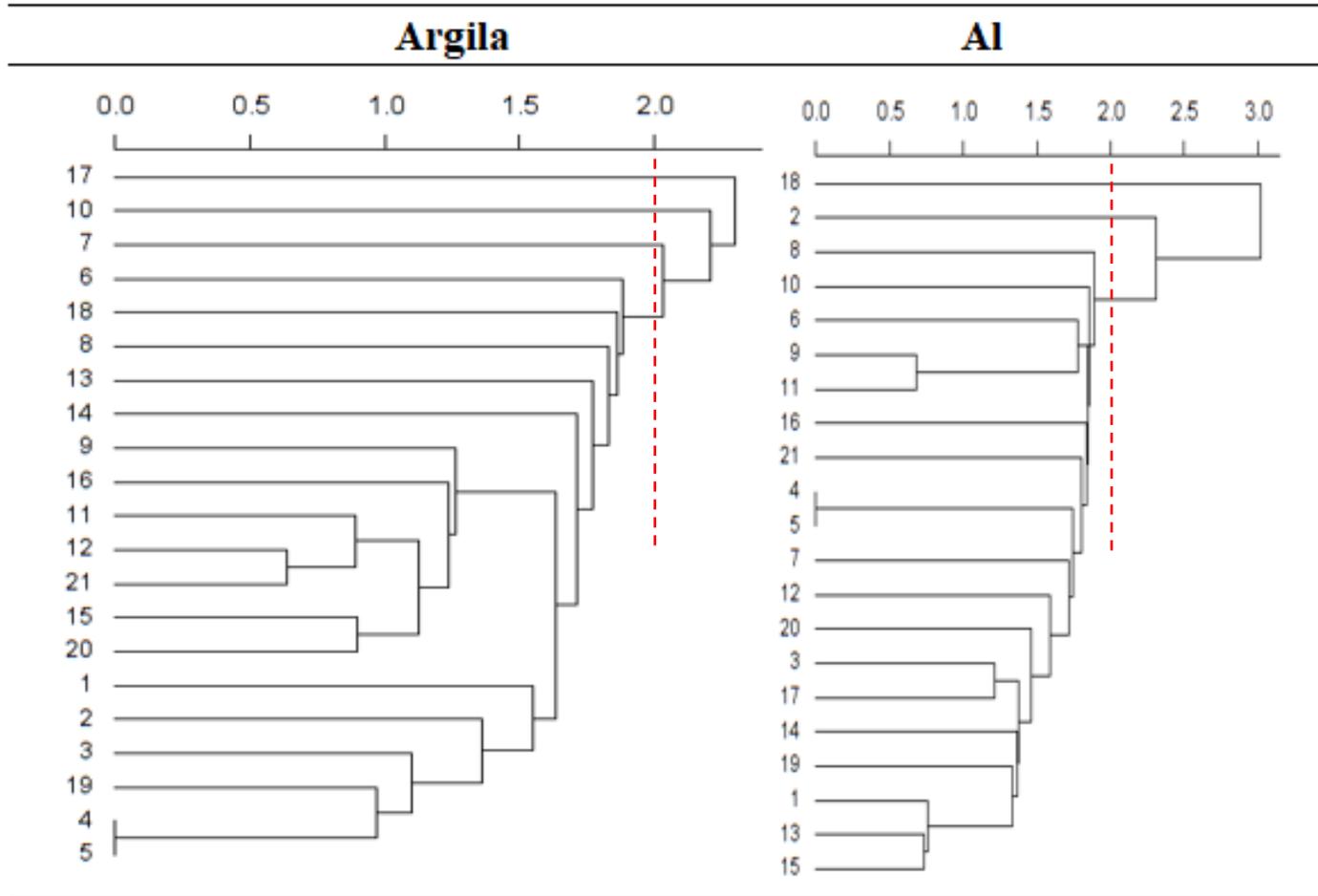


Figura 32. Dendrograma de árvore resultante da análise química e física de Alumínio e Argila dos solos de vinte e uma fazendas, com 6 anos de cultivos de *Eucalyptus* ssp. na região Sul do Tocantins.



A formação de grupos, indica que as fazendas ali presentes são mais próximas em nível de fertilidade, para os elementos químicos e para a argila.

Para os micronutrientes e as fazendas Santa Barbara e Vão da Serra, 17 e 20 respectivamente, foram as que se apresentaram mais isoladas, observa-se também que, há uma maior variação quanto ao nível de dissimilaridade, e na sequência em que as fazendas se posicionam de acordo com a distância euclidiana.

Vendo esta dissimilaridade no nível de fertilidade, nota-se que além da fertilidade natural de cada solo, mas também o aporte em manejo que esses solos receberam ao longo dos anos não foi o suficiente para a homogeneização desses solos. As diferenças nos níveis dos atributos estudados, resultam nos agrupamentos, permitindo uma análise generalizada da qualidade das fazendas estudadas.

No scree plot é disposto em ordem decrescente os autovalores, observa-se que 3 componentes atingiram valores acima de 1, e que os primeiros e segundos componentes juntos correspondem a mais de 60% da variância dos dados.

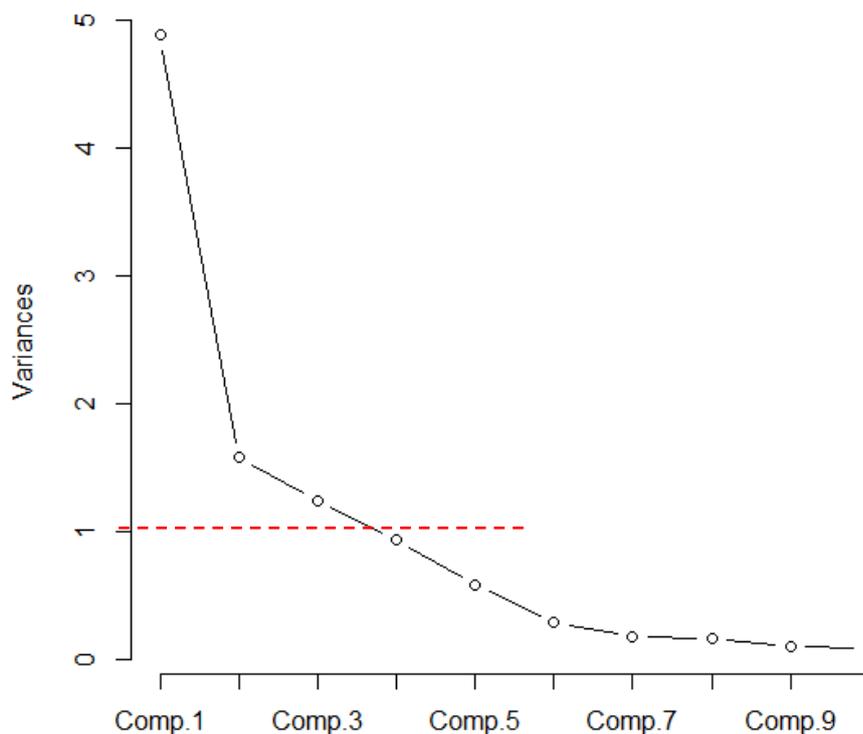


Figura 33. Gráfico scree da análise química e física dos solos de vinte e uma fazendas, com 6 anos de cultivos de *Eucalyptus* ssp. na região Sul do Tocantins.

No gráfico biplot tem-se a sobreposição do gráfico de escores e do gráfico de cargas fatoriais, representando os escores do primeiro componente com o segundo componente, igualmente as cargas fatoriais.

Analisando o gráfico, o escore da fazenda Vão da Serra aparenta ser um outlier, sendo desejável uma investigação dos valores, na busca de algum erro.

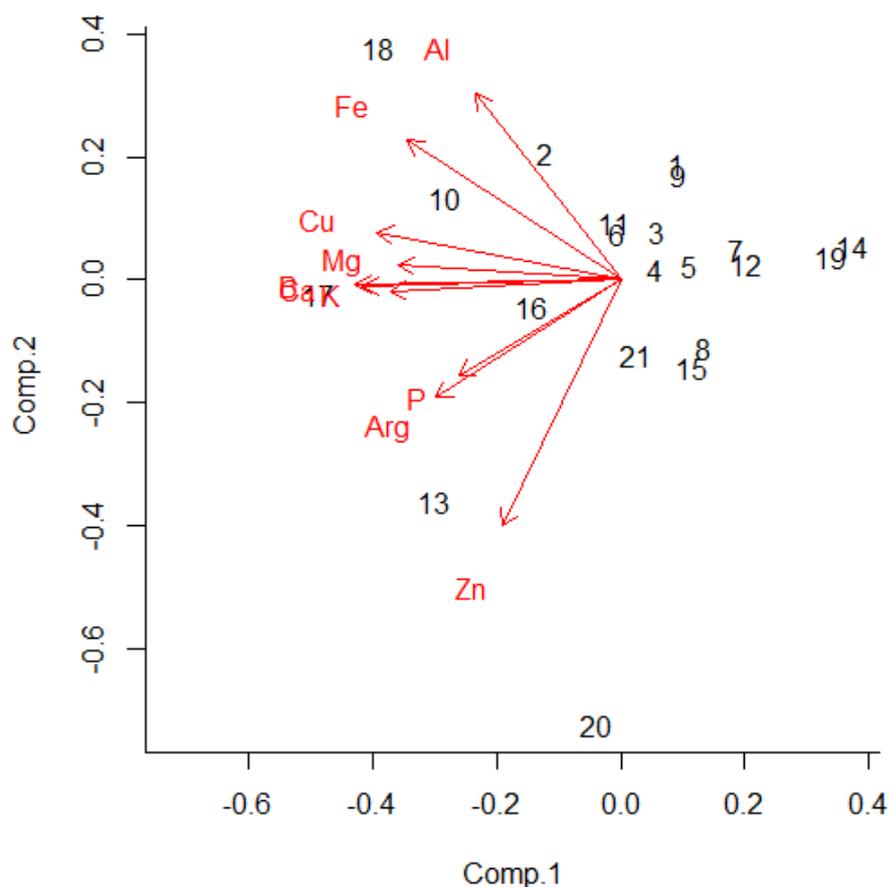


Figura 34. Gráfico biplot da análise química e física dos solos de vinte e uma fazendas, com 6 anos de cultivos de *Eucalyptus* ssp. na região Sul do Tocantins.

As cargas fatoriais podem variar de -1 a 1. As cargas fatoriais próximas de -1 ou 1 indicam que a variável influencia fortemente o fator. No primeiro componente, observa-se a predominância de cargas fatoriais negativas, já no segundo componente as cargas fatoriais predominam com valores positivos, sendo o Ferro e Alumínio tem as maiores cargas no segundo componente, portanto esses elementos descrevem melhor os solos estudados.

No caso do boro, cálcio, potássio e magnésio, são os mais próximos de 0,0, o que indica uma fraca influência desses elementos no fator.

## **11. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A análise de Cluster permite que seja feita a formação de grupos de fertilidades em diversas fazendas, permitindo que sejam separadas em grupos de similaridade, possibilitando avaliar a eficácia do manejo do solo que vem sendo empregado e priorizar grupos que oferecem risco a produtividade e a melhor condução do manejo da fertilidade, por conseguinte, maximizar a produtividade.

Com a análise de componentes principais foi possível determinar os atributos mais impõem influência nos solos estudados, assim como a presença de alguma perturbação nos dados devido a outliers, permitindo uma melhor compreensão dos valores dos atributos dos solos.

## REFERENCIAS

ARAÚJO, D. R.; MION, R. L.; SOMBRA, W. A.; ANDRADE, R. R.; AMORIM, M. Q. Variabilidade espacial de atributos físicos em solo submetido à diferentes tipos de uso e manejo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 2, p. 101 – 115, 2014.

FREITAS, J. C. DE, ANDRADE, A. R. S. DE, BRAGA, C. C., NETO, A. H. G., ALMEIDA, T.F. Análise de agrupamentos na identificação de regiões homogêneas de índices climáticos no estado da Paraíba, PB – **Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física** n. 6, p.732 – 748, 2013.

FREITAS, L.; C, J C.; AMORIM DE OLIVEIRA, I; COSTA CAMPOS, M. C.; SILVA, L. S. Técnicas multivariadas na avaliação de atributos de um Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, vol. 10, n. 1, p. 17-26, 2015.

IBÁ – Instituto Brasileiro de Árvores. **Relatório ibá 2016 ano base 2015**. Disponível em: <[http://www.iba.org/images/shared/iba\\_2016.pdf](http://www.iba.org/images/shared/iba_2016.pdf)>. Acesso em: 06/11/2018.

IBÁ – Instituto Brasileiro de Árvores. **Relatório ibá 2018 ano base 2017**. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/digital-sumarioexecutivo-2018.pdf>>. Acesso em: 20/11/2018.

JÚNIOR, N. J. M.; FONSECA, I. C. B.; BRITO, O. R.; DECAËNS, T.; CARNEIRO, M. M.; MATOS, M. F. A.; GUEDES, M. C.; QUEIROZ, J. A. L.; BARROSO, K. O. Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos do Amapá. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n.3, p. 499-506, 2008.

LIMA, F. J. L. Previsão de irradiação solar no nordeste do Brasil empregando o modelo WRF ajustado por redes neurais artificiais (RNAs). **Tese (Doutorado em Meteorologia)**. São Jose dos Campos, INPE. 2015.

OLIVEIRA, I. R.; TEIXEIRA, D. B.; PANOSSO, A. R.; CAMARGO, L. A.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T. Modelagem geoestatística das incertezas da distribuição espacial do fósforo disponível no solo, em área de cana-de-açúca. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 3, n.7, p. 1481-1491, 2013.

CHIPPONELLI PINTO, L. I.; LIMA, F. J. L.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. Análise de agrupamento na otimização de futuras aplicações de modelagem numérica na estimativa e previsão de recurso eólico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.06, p.1698-1711, 2017.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.34, p.15-22, 2010.

SILVA, P. K. DE O.; SANTOS, S. DE A.; ARAGÃO, M. R. DA S.; CORREIA, M. DE F.; SANTOS, W. S. Análise de agrupamento em área de potencial eólico na região do submédio São Francisco. **Revista Ciência e Natura**, p.13 -15, 2013.