

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**  
**COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO**

**Daner Seixas Requia**

**DETERMINAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL**  
**DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO**

Santa Maria, RS

2022

**Daner Seixas Requia**

**DETERMINAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL  
DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, área de Manejo Específico de Solo e Planta, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Prof. Dr. José Cardoso Sobrinho

Co – Orientador: Prof. Dr. Luciano Zucuni Pes

Santa Maria, RS

2022

Seixas Requia, Daner  
DETERMINAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE  
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO / Daner Seixas Requia.-  
2022.  
68 p. ; 30 cm

Orientador: José Cardoso Sobrinho  
Coorientador: Luciano Zucuni Pes  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em  
Agricultura de Precisão, RS, 2022

1. Fósforo 2. Potássio 3. pH 4. saturação por base 5.  
fertilidade do solo I. Cardoso Sobrinho, José II. Zucuni  
Pes, Luciano III. Título.

sistema de geração automática de ficha catalográfica da unsm. dados fornecidos pelo  
autor(a). sob supervisão da direção da divisão de processos técnicos da biblioteca  
central. bibliotecária responsável paula schoenfeldt watta cma 10/1728.

Declaro, DANER SEIXAS REQUIA, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Daner Seixas Requia**

**DETERMINAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL  
DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO**

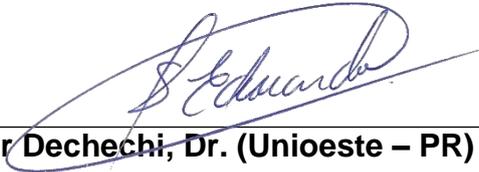
Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, área de Manejo Específico de Solo e Planta, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Aprovado em 18 de março de 2022:

---

**José Cardoso Sobrinho, Dr. (UFSM) – Vídeoconferência**

(Presidente/Orientador)



---

**Eduardo Cesar Dechechi, Dr. (Unioeste – PR) – Vídeoconferência**

---

**Luiz Felipe Diaz de Carvalho, Dr. (UFSM) – Vídeoconferência**

Santa Maria, RS

2022

## **AGRADECIMENTOS**

*Para que fosse possível a realização deste trabalho, agradeço a diversas pessoas pela compreensão, carinho e dedicação. Agradeço a todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a conclusão desta importante etapa de minha vida, em especial:*

*- primeiramente, agradeço à Deus pela vida, pela oportunidade de fazer coisas boas, pelas preces atendidas, enfim, por tudo.*

*- ao meu querido professor e orientador Prof. Dr. José Cardoso Sobrinho, pela atenção, compreensão, disponibilidade e acima de tudo, pela amizade durante os dois anos de curso.*

*- à minha companheira Geovana Müller, pela sua paciência, força, coragem e incentivo, sempre que precisei.*

*- aos meus pais Renato Requia e Ione Seixas Requia, por todo apoio em todos os momentos, vocês sempre acreditaram no meu potencial e nas minhas ambições.*

*- aos meus irmãos Victor Seixas Requia e Renata Vitória Seixas Requia, pelo companheirismo e carinho.*

*- ao meu amigo Prof. Dr. Chrystian Dalla Lana da Silva, que sempre dispôs do seu tempo para me ajudar, além do exemplo de profissionalismo e inspiração.*

*- aos professores e técnicos envolvidos com o Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, que de uma forma ou de outra contribuíram com a minha formação no curso.*

*- à Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de desenvolver e concretizar a realização de um sonho.*

*Enfim, a todos àqueles que fizeram e fazem parte da minha vida, vocês são os alicerces que me mantiveram firme e forte até aqui.*

*Muito obrigado!*

*Não existe nenhum caminho lógico para a descoberta das leis do Universo – o único caminho é o da instituição.*

*(Albert Einstein)*

## RESUMO

### DETERMINAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

Autor: Daner Seixas Requia

Orientador: Dr. José Cardoso Sobrinho

Co-Orientador: Dr. Luciano Zucuni Pes

A humanidade enfrenta grandes obstáculos em garantir um bom sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e temporal de suas propriedades. O presente trabalho tem como objetivos caracterizar a variabilidade espacial das propriedades químicas do solo (P, K, pH e saturação por base) e estudar a necessidade de aplicação de insumos, além de comparar as condições de fertilidade do solo para os anos de 2012, 2017 e 2020, para uma mesma área de manejo. Ao estudar os dados coletados para os três anos de amostragem, foi possível analisar o comportamento dos atributos químicos do solo em diferentes glebas da área experimental da UFSM. Os dados foram analisados com o software Office Excel 2016, reconfigurado para o formato shapefile e carregado no software QGIS Desktop 3.20.1, permitindo a realização da interpolação IDW e o uso da geoestatística na elaboração e análise dos mapas. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que a aplicação de taxa variável reduziu significativamente a variabilidade espacial e temporal das áreas e a criação dos mapas permitiram a identificação de zonas homogêneas.

**Palavras-chave:** Fósforo, Potássio, pH, saturação por base, fertilidade do solo.

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE SOIL

Author: Daner Seixas Requia

Advisor: Dr. José Cardoso Sobrinho

Co-Advisor: Dr. Luciano Zucuni Pes

Humanity faces great obstacles in guaranteeing a good agricultural management system based on the spatial and temporal variation of its properties. The present work aims to characterize the spatial variability of soil chemical properties (P, K, pH and base saturation) and to study the need for input application, as well as to compare the soil fertility conditions for the years 2012, 2017 and 2020, for the same management area. By studying the data collected for the three sampling years, it was possible to analyze the behavior of the soil chemical attributes in different plots of the experimental area of UFSM. The data were analyzed with Office Excel 2016 software, reconfigured into shapefile format and loaded into QGIS Desktop 3.20.1 software, allowing IDW interpolation and the use of geostatistics in the preparation and analysis of maps. Based on the results obtained, it was concluded that the application of variable rate significantly reduced the spatial and temporal variability of the areas and the creation of the maps allowed the identification of homogeneous zones.

**Keywords:** Phosphorus, Potassium, pH, base saturation, soil fertility.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa dos níveis de fertilidade do Fósforo (Mangueira), no ano de 2012.	31
Figura 2 – Mapa dos níveis de fertilidade do Fósforo (Carrapicho), no ano de 2020. .....	32
Figura 3 – Mapa dos níveis de fertilidade do Fósforo (Campo Nativo), no ano de 2020. .....	32
Figura 4 – Mapa dos níveis de fertilidade do Potássio (Mangueira), no ano de 2012. .....	33
Figura 5 – Mapa dos níveis de fertilidade do Potássio (Carrapicho), no ano de 2020. .....	34
Figura 6 – Mapa dos níveis de fertilidade do Potássio (Campo Nativo), no ano de 2020. .....	34
Figura 7 – Mapa dos níveis de pH H <sub>2</sub> O (Mangueira), no ano de 2012.....	35
Figura 8 – Mapa dos níveis de pH H <sub>2</sub> O (Carrapicho), no ano de 2020. ....	36
Figura 9 – Mapa dos níveis de pH H <sub>2</sub> O (Campo Nativo), no ano de 2020. ....	36
Figura 10 – Mapa dos níveis de Saturação por Base (Mangueira), no ano de 2012.	37
Figura 11 – Mapa dos níveis de Saturação por Base (Carrapicho), no ano de 2020. .....	38
Figura 12 – Mapa dos níveis de Saturação por Base (Campo Nativo), no ano de 2020. .....	38
Figura 13 – Comparativo dos níveis de fertilidade do Fósforo (Erva-Mate), nos anos de 2012 (A), 2017 (B) e 2020 (C). ....	40
Figura 14 – Comparativo dos níveis de fertilidade do Fósforo (Diogo-Taquareira), nos anos de 2012 (A), 2017 (B) e 2020 (C). ....	41
Figura 15 – Comparativo dos níveis de fertilidade do Fósforo (Várzea), nos anos de 2012 (A) e 2020 (B). ....	42

Figura 16 – Comparativo dos níveis de fertilidade do Fósforo (Vossoroça Norte e Vossoroça Sul), nos anos de 2012 (A) e 2017 (B). .....	43
Figura 17 – Comparativo dos níveis de fertilidade do Potássio (Erva-Mate), nos anos de 2012 (A), 2017 (B) e 2020 (C). .....	44
Figura 18 – Comparativo dos níveis de fertilidade do Potássio (Diogo-Taquareira), nos anos de 2012 (A), 2017 (B) e 2020 (C). .....	45
Figura 19 – Comparativo dos níveis de fertilidade do Potássio (Várzea), nos anos de 2012 (A) e 2020 (B). .....	46
Figura 20 – Comparativo dos níveis de fertilidade do Potássio (Vossoroça Norte e Vossoroça Sul), nos anos de 2012 (A) e 2017 (B). .....	47
Figura 21 – Comparativo dos níveis de pH H <sub>2</sub> O (Erva-Mate), nos anos de 2012 (A), 2017 (B) e 2020 (C). .....	49
Figura 22 – Comparativo dos níveis de pH H <sub>2</sub> O (Diogo-Taquareira), nos anos de 2012 (A), 2017 (B) e 2020 (C). .....	50
Figura 23 – Comparativo dos níveis de pH H <sub>2</sub> O (Várzea), nos anos de 2012 (A) e 2020 (B). .....	51
Figura 24 – Comparativo dos níveis de pH H <sub>2</sub> O (Vossoroça Norte e Vossoroça Sul), nos anos de 2012 (A) e 2017 (B). .....	52
Figura 25 – Comparativo dos níveis de Saturação por Base (Erva-Mate), nos anos de 2012 (A), 2017 (B) e 2020 (C). .....	53
Figura 26 – Comparativo dos níveis de Saturação por Base (Diogo-Taquareira), nos anos de 2012 (A), 2017 (B) e 2020 (C). .....	54
Figura 27 – Comparativo dos níveis de Saturação por Base (Várzea), nos anos de 2012 (A) e 2020 (B). .....	55
Figura 28 – Comparativo dos níveis de Saturação por Base (Vossoroça Norte e Vossoroça Sul), nos anos de 2012 (A) e 2017 (B). .....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - <b>Apêndice A</b> : Análise descritiva dos atributos químicos do solo para o Ano de 2012. ....	66
Tabela 2 - <b>Apêndice B</b> : Análise descritiva dos atributos químicos do solo para o Ano de 2017. ....	67
Tabela 3 - <b>Apêndice C</b> : Análise descritiva dos atributos químicos do solo para o Ano de 2020. ....	68

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Localização da área estudada no Município de Santa Maria, Rio Grande do Sul.....	25
Mapa 2 – <i>Grid</i> da distribuição espacial dos pontos de amostragem para o ano de 2012. .....	29
Mapa 3 – <i>Grid</i> da distribuição espacial dos pontos de amostragem para o ano de 2017. .....	29
Mapa 4 – <i>Grid</i> da distribuição espacial dos pontos de amostragem para o ano de 2020. .....	30

## **FLUXOGRAMAS**

Fluxograma 1 – Atividades realizadas na pesquisa. ....	27
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

P	Fósforo
K	Potássio
M.O.	Matéria Orgânica
Al	Alumínio
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
H + Al	Acidez Potencial
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
Saturação Al	Saturação do Alumínio
Rel. Ca /Mg	Relação do Cálcio e Magnésio
Zn	Zinco
Cu	Cobre
S	Enxofre
B	Boro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1	Considerações gerais .....	16
1.2	Objetivos .....	17
1.2.1	Objetivo geral.....	17
1.2.2	Objetivos específicos.....	18
1.3	Motivação.....	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
2.1	Variabilidade Espacial e Temporal .....	19
2.2	Agricultura 4.0 .....	20
2.3	Amostragens e Georreferenciamento do Solo .....	21
2.4	Importância das Geotecnologias .....	23
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
3.1	Localização geográfica.....	24
3.2	Metodologia e procedimentos .....	25
3.2.1	Fluxograma de atividades.....	26
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
4.1	<i>Grid</i> dos locais de amostragem.....	28
4.2	Análise dos mapas.....	30
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Esta dissertação trata do estudo da determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo com enfoque no P, K, pH e saturação por base, além de fazer uma análise dos mapas da área experimental da UFSM. No primeiro capítulo serão apresentadas as considerações gerais posicionada no contexto científico, as motivações pelas quais levaram à realização desse estudo e os principais objetivos do trabalho realizado.

### 1.1 Considerações gerais

A humanidade enfrenta grandes obstáculos em garantir um bom sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e temporal de suas propriedades rurais. A Agricultura de Precisão trata de “uma postura gerencial que considera a variabilidade espacial um meio de maximizar o retorno econômico e minimizar o efeito ao meio ambiente” (INAMASU *et al.*, 2011).

A Agricultura de Precisão (AP) pode ser definida como um conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, visando ao aumento de retorno econômico e a redução do impacto no ambiente (MOLIN, 2015), em outras palavras, utilizar melhor o campo com suporte da associação das tecnologias já existentes na agricultura com as geotecnologias, tais como estatística espacial, uso de sistemas de navegação por satélite (GNSS), sensores remotos e não remotos, e os conhecimentos das áreas de topografia e geodésica (GIOTTO, *et al.* 2016).

Na tentativa de atender à expectativa recente do setor agrícola, alguns pesquisadores afirmaram que estamos vivendo a “quarta revolução agrícola”, mais conhecida como “Agricultura 4.0” (KLERKX & ROSE, 2020).

Dados coletados sobre os atributos do solo são de extrema importância para a tomada de decisão no manejo da fertilidade do solo, pois a variabilidade espacial e

temporal na área de produção definirá o melhor processo de tomada de decisão baseado na coleta dessas informações.

A AP leva em consideração as características físicas e químicas do solo, produtividade, especificidades das plantas que serão cultivadas e necessidades de fertilizantes e adubos para cada área.

O Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) do solo são os macronutrientes primários em ecossistemas terrestres, estão diretamente relacionados à fertilidade do solo, crescimento da planta, problemas ambientais e ciclos biogeoquímicos (QUILCHANO *et al.*, 2008; DARILEK *et al.*, 2009; WANG *et al.*, 2012; LIU *et al.*, 2013; YANG *et al.*, 2014; CHENG *et al.*, 2016).

A variabilidade espacial dos nutrientes do solo dependerá de diversos fatores ambientais que incluem o clima, tipo de solo, atividade humana sobre a área. Seus impactos na variabilidade espacial do solo e nutrientes variam em diferentes escalas e regiões (WANG *et al.*, 2009).

A geoestatística é um ramo da estatística que utiliza conceito de variáveis regionalizadas na avaliação de variabilidade espacial que não se limita apenas em obter um modelo de dependência espacial, pretende também estimar valores de pontos nos locais onde não foram coletados. Diante disso este trabalho identificará a importância relativa de diferentes fatores que afetam a variabilidade espacial dos nutrientes do solo, que são essenciais para melhorar as recomendações específicas do local em atividades agrícolas e proteção ambiental.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial das propriedades químicas do solo (pH H<sub>2</sub>O, P, K e Saturação por base), usando métodos geoestatísticos para análise de dados.

### 1.2.2 Objetivos específicos

1 – Elaborar estudos para a aplicação de insumos de forma localizada, em áreas com diferentes formas de relevo.

2 – Comparar as condições de fertilidade do solo para os anos de 2012, 2017 e 2020 para uma mesma área de manejo.

## 1.3 Motivação

Constantemente, os produtores buscam saber quais são as melhores maneiras para otimizar o uso dos recursos disponíveis e melhorar a lucratividade de suas propriedades rurais. As tecnologias e práticas de agricultura de precisão têm mostrado resultados positivos, como a diminuição de custos de produção através do monitoramento intensivo da lavoura. Essa tecnologia baseia-se na adoção de diferentes máquinas, sensores e análises de dados que permitem quantificar os principais fatores de produção com alta precisão espacial e temporal de propriedades que afetam o solo, com o objetivo de otimizar o aproveitamento de recursos e diminuir custos.

Os atributos do solo apresentam grande variabilidade espacial e são o principal fator de variação na produção das plantas. Por isso é importante considerar a diversidade dos atributos do solo nas áreas para subsidiar a tomada de decisão.

Os mapas de solo mais conhecidos em agricultura de precisão são os mapas de variabilidade espacial da fertilidade do solo, usados para análise e interpretação de cada atributo químico, construindo uma análise conjunta para uma interpretação da fertilidade geral do solo. Os mapas de variabilidade espacial da textura do solo mostram, por exemplo, quais áreas têm solos de textura mais argilosa e possuem maior capacidade de armazenamento de água. Outros mapas importantes são os de atributos como profundidade do solo e sequência de horizontes que, em conjunto com os já citados, permitem identificar áreas com maior potencial produtivo ou que podem até deixar de ser cultivadas.

A variabilidade espacial pode conter erros laboratoriais, portanto é de extrema importância ter uma grande quantidade de informações para a realização da análise, a fim de obter um comportamento do solo mais preciso. A solução para este problema seria a adoção de métodos geoestatísticos para avaliar a variabilidade espacial da fertilidade do solo (DEUTSCH & JOURNEL, 1998).

As diferenças de escala que existem na variação de atributos do solo incidem grande dificuldade no desenvolvimento em um plano de amostragem se, por exemplo, fizer a utilização de uma malha amostral com espaçamento único, quando vários atributos do solo estão incluídos (MONTANARI *et al.*, 2012).

A Geoestatística tem crescido consideravelmente na Agricultura de Precisão. Se aplicada à amostragem de solo, poderá reproduzir a condição de um campo agrícola, ou seja, fará uma estimativa satisfatória do valor médio dos valores atribuídos ao solo.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo serão abordadas importantes teorias referenciadas a respeito da variabilidade espacial e temporal, Agricultura 4.0, amostragens e georreferenciamento do solo e importância das geotecnologias. O referencial teórico fará uma sintetização de cada assunto com o presente estudo.

### **2.1 Variabilidade Espacial e Temporal**

A Agricultura de Precisão utiliza de práticas que podem ser desenvolvidas em diferentes níveis de complexidade e com diferentes objetivos. Essas ferramentas ajudam tornar as práticas agropecuárias cada vez mais precisas e com decisões acertadas para o melhor gerenciamento da unidade produtiva (MAPA, 2013).

Bernardi (2011), diz que a Agricultura de Precisão busca detectar, monitorar e manejar a variabilidade espacial e temporal dos sistemas de produção agropecuários visando otimizá-los.

Através do emprego de técnicas e ferramentas de agricultura de precisão, é possível mapear a variabilidade espacial de atributos do solo que influenciam a produtividade das culturas agrícolas (BOTTEGA *et al.*, 2015).

A Agricultura de Precisão (AP) atua no manejo da lavoura respeitando a variabilidade espacial existente, levando em consideração os fatores que determinam o desempenho das culturas (SCHWALBERT *et al.*, 2016).

Santos (2014), afirma que existem três etapas fundamentais para a aplicação da AP, são elas: a coleta de dados, com o objetivo de se conhecer a variabilidade espacial e temporal da cultura; a análise de dados; e a tomada de decisão sobre a melhor técnica a ser utilizada.

## **2.2 Agricultura 4.0**

O progresso na área agrícola com base na Agricultura de Precisão é parte do progresso da Agricultura 4.0, proposto após a criação da Indústria 4.0 do governo da Alemanha (ANDERL, 2015; ZHAI *et al.*, 2020). A Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão define a Agricultura de Precisão (AP) como uma gestão estratégica que reúne, processamento e análise temporal, dados espaciais e individuais e os combina com outras informações para a melhor tomada de decisão. Isto implica na melhorar eficiência no uso de recursos naturais, produtividade, qualidade, lucratividade e sustentabilidade de produção agrícola (ISPA, 2019).

A Agricultura 4.0, também chamada de Agricultura Digital ou Smart Farming, foi projetada com a principal finalidade de lidar com o aumentando da produtividade, alocando recursos (terra, água e energia), adaptando a cadeia de abastecimento às mudanças climáticas, e evitar o desperdício de alimentos (YUAN *et al.*, 2018; ZHAI *et al.*, 2020). Outros recursos devem ser discutidos para estender as tecnologias atuais considerando sua viabilidade econômica e sua aplicabilidade potencial para gerenciamento específico do local.

O principal desafio do uso da informação digital na agricultura é agregar valor às diferentes fontes de dados (safra, campo, máquinas, aspectos econômicos, etc.), e para transferir esses dados para o conhecimento. Algumas iniciativas são a

elaboração de sistemas de apoio à decisão para as estratégias operacionais dos agricultores (YAZDANI *et al.*, 2017). O uso de plataformas digitais permite obter mais dados representativos dos insumos agrônômicos como, a condição do solo, a eficiência do maquinário e aspectos climáticos para apoiar a tomada de decisão pelos agricultores.

### **2.3 Amostragens e Georreferenciamento do Solo**

A AP tem se destacado, pois trata a área de forma direcionada, de acordo com a necessidade de cada local do campo em busca da homogeneidade. Dentre as estratégias de gestão que estão relacionadas com essa tecnologia, uma das mais utilizadas é a amostragem de solo georreferenciada. Através da coleta de uma amostra de solo composta, são extraídas informações referentes a fertilidade, sendo elas químicas, físicas e biológicas (Machado *et al.*, 2018; Muniz *et al.*, 2018).

Um bom indicador de qualidade do solo deve ser sensível a um conjunto de propriedades que permitam esclarecer os processos dinâmicos que nele ocorrem (MELLONI *et al.*, 2008). Para Garrigues *et al.* (2012), a definição da qualidade do solo está associada com perguntas sobre como analisar e avaliar os impactos sobre ele.

Os benefícios da amostragem georreferenciada de solo alinhada com a AP são promissores. Deve-se tomar cuidado ao serem realizadas, visto que uma coleta malfeita afetará na forma de tratar o solo e nas futuras utilizações da ferramenta. As informações erradas farão com que os outros manejos não estejam alinhados com a variabilidade presente no local. Então, torna-se indispensável utilizar tecnologias que tragam informações que descrevam melhor a realidade (Resende & Coelho, 2017).

Com a geoestatística pode-se estimar o valor de uma dada a um atributo do solo para um local onde não foi medida, utilizando uma função de correlação espacial entre os dados sem viés e com variância mínima (VIEIRA, 2000). Para estimar esses valores, comumente se usa o método de interpolação por krigagem, cujo nome foi dado em homenagem a Daniel G. Krige. Krigagem consiste em ponderar os vizinhos mais próximos do ponto a ser estimado, obedecendo os critérios de não tendenciosidade, que significa que em média a diferença entre valores estimados e

observados para o mesmo ponto dever ser nula e ter mínima variância, ou seja, que os estimadores possuam a menor variância dentre todos os estimadores não tendenciosos (OLIVEIRA; GREGO & BRANDÃO, 2015).

Um dos principais passos aplicados na análise geoestatística, bem como na agricultura de precisão, é a amostragem. A amostragem pode ser caracterizada como aleatória simples, aleatória estratificada ou sistemática (YAMAMOTO & LANDIM, 2013). No entanto, são processos que necessitam o máximo de atenção durante o seu planejamento. Souza *et al.* (2014) afirmaram que o número insuficiente de amostras coletadas pode ser um dos fatores que promovem problemas nos processos da agricultura de precisão. Esses processos envolvem em grande parte a utilização de técnicas geoestatísticas, mais especificamente na modelagem e ajuste do variograma.

Embora as estratégias de investigação em AP tenham focos distintos das empregadas no sistema convencional, os procedimentos de coleta das amostras (solo para análise retirado da linha ou entre linha ou a escolha da folha durante o estágio fenológico adequado para análise), continuam os mesmos utilizados no processo de amostragem pela média, com apenas algumas adaptações. O tipo mais comum de amostragem georreferenciada utilizada na AP é conhecida como grade amostral (“*grid*”), podendo ser por amostragem simples ou composta (MOLIN *et al.*, 2015).

Atualmente, a amostragem de solo é feita em grades georreferenciadas, o mapeamento das propriedades do solo e a aplicação de corretivos e fertilizantes em taxas variáveis são as tecnologias de agricultura de precisão mais utilizadas pelos produtores (BERNARDI; INAMASU, 2014). Porém, a caracterização da variabilidade espacial de atributos do solo no campo, por meio de amostragem e análise de solo realizada em malha, exige muito tempo e é de custo elevado (BOTTEGA *et al.*, 2015).

A partir de informações amostrais de solo é possível gerar um mapa de fertilidade de um determinado nutriente. Esse mapa irá representar a área através da interpolação dos dados amostrais, apontando os locais que apresentam variabilidade parecidas ou distintas (Molin *et al.*, 2015). As formas existentes para a coleta de informações a fim de confeccionar mapas é a amostragem em grade (Santos *et al.*, 2016).

Uma variável possui dependência espacial quando a sua distribuição não é aleatória, variando de acordo com a distância (SILVA; LIMA, 2012). Essa distância é denominada de alcance na geoestatística, no qual, quanto menor o alcance, menor a continuidade espacial, ou seja, maior é a heterogeneidade da distribuição da variável.

As variações dos atributos químicos do solo são consequências de complexas interações dos processos de sua formação e de práticas de manejo do solo e da cultura, provocadas pelas adubações e calagens sucessivas e irregulares com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo (BOTTEGA *et al.*, 2013).

Segundo Resende *et al.* (2010), mesmo em solos de alta fertilidade, existem algumas diferenças entre talhões que evidenciam que a utilização uniforme do corretivo ou fertilizante em área total proporcionaria desperdício por parte do produtor rural e degradação do meio ambiente.

## **2.4 Importância das Geotecnologias**

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um tipo de geotecnologia que une hardware e software capazes de armazenar, analisar e processar dados georreferenciados. A análise das informações contidas auxilia na elaboração de mapas, gráficos, tabelas e relatórios que representam, digitalmente, a realidade (EMBRAPA, 2014).

A tecnologia SIG permite uma avaliação mais ágil e objetiva, possibilitando o cruzamento de diferentes planos de informações para geração de mapas valiosos na avaliação de terras (FILHO *et al.*, 2016).

Nos últimos anos, alguns estudos foram publicados utilizando a análise multivariada associada aos sistemas de informação geográfica (SIG), tanto na ciência do solo, quanto na ciência florestal (SILVA *et al.*, 2015a; HOU *et al.*, 2017). O uso dessas duas técnicas permite verificar a distribuição espacial de múltiplas variáveis (SILVA *et al.*, 2010) e a interação entre elas, chegando a um conjunto de fatores. O SIG pode ser utilizado em conjunto com a geoestatística. Essa ferramenta estima variáveis em locais que não foram amostrados (LIMA *et al.*, 2014). Duas técnicas são utilizadas frequentemente na geoestatística: o semivariograma e a krigagem. O

semivariograma é representado por um gráfico, na qual a semivariância da variável regionalizada está em função da distância dos pontos de coleta do atributo (DALCHIAVON *et al.*, 2012). No momento em que a dependência espacial é constatada pelo semivariograma, o mapa da variável é gerado pela krigagem.

De acordo com Machado *et al.* (2017), o grande número de dados georreferenciados, quando levantados em boa qualidade, permite que os SIG façam a espacialização destas informações, gerando produtos que subsidiam o planejamento e a tomada de decisão.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

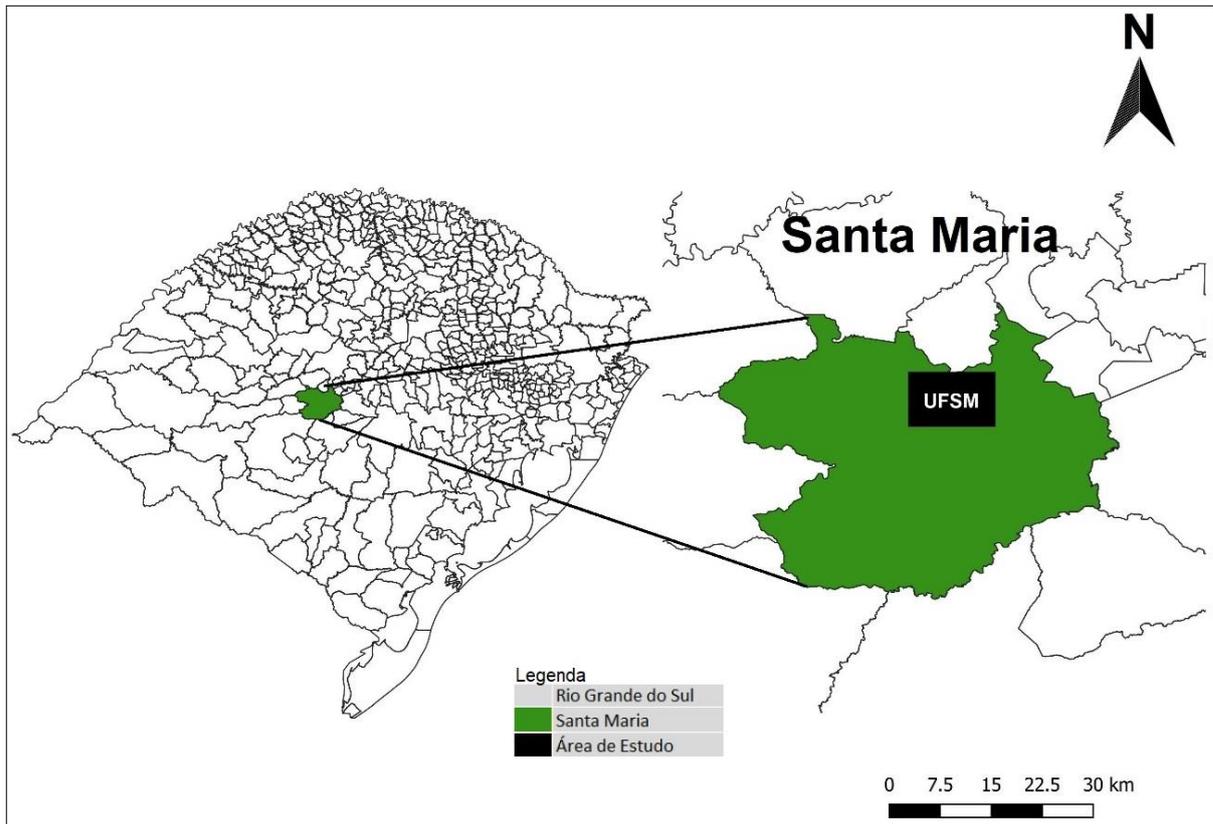
No capítulo 3 irá apresentar os passos e planejamento detalhados este estudo, iniciando com a apresentação da localização geográfica da área experimental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), e em seguida será apresentado o fluxograma das atividades e os métodos adotados para realização do presente trabalho.

#### **3.1 Localização geográfica**

O presente trabalho foi realizado na Universidade Federal de Santa Maria, localizado no município brasileiro de Santa Maria, região central do Rio Grande do Sul, conforme o Mapa 1. As coordenadas geográficas de latitude 29° 43'22.50" S e longitude 53° 45'9.18" O, com altitude de 113 metros. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cfa – temperado chuvoso e quente, com nenhuma estação seca, úmido o ano todo, com temperatura entre 3° C e 18° C no inverno, verão a média superior a 22° C. (Santa Maria Dados 2019). De acordo com Pereira (1989), situa-se numa zona de transição entre o Planalto Meridional Brasileiro e a Depressão Central do Rio Grande do Sul. O Planalto (formado basicamente por rochas sedimentares, tem seu relevo levemente inclinado, sendo sua elevação de maior destaque a Serra Geral), uma zona agrícola de uso intensivo; e a Depressão Central, áreas de campos limpos e pastagens. De acordo com Embrapa (2006) o solo da

região e Argissolo Bruno acinzentado, textura média, friáveis e imperfeitamente drenados, solos ácidos e com saturação de bases baixa nos horizontes mais superficiais, aumentando estes valores à medida que o perfil se aprofunda.

Mapa 1 – Localização da área estudada no Município de Santa Maria, Rio Grande do Sul.



Fonte: Autor (Software QGIS Desktop 3.10.11).

### 3.2 Metodologia e procedimentos

O estudo foi realizado a partir de um banco de dados coletados em três anos de amostragem (2012, 2017 e 2020), foram utilizadas diferentes glebas na área experimental da UFSM, totalizando em 15 áreas e 72 mapas para a análise. Tendo ênfase nas variáveis do Fósforo (P), Potássio (K), Potencial Hidrogeniônico (pH) e Saturação por base (%).

Para o ano de 2012 foram utilizadas 7 glebas, são elas: Erva-Mate, Diogo-Taquaireira, Várzea, Vossoroca Norte-Vossoroca-Sul e Mangueira.

Para o ano de 2017 foram utilizadas 5 glebas, são elas: Erva-Mate, Diogo-Taquaireira, Vossoroca-Norte-Vossoroca-Sul.

Para o ano de 2020 foram utilizadas 6 glebas, são elas: Erva-Mate, Diogo-Taquaireira, Várzea, Carrapicho e Campo Nativo.

Os dados da análise química do solo foram construídos com base no software Office Excel para todos os anos. Ao concluir a construção da tabela, o arquivo foi reconfigurado para o formato shapefile e carregado no software QGIS Desktop.

O software QGIS possibilitou apresentar os mapas com uma análise química estimada dos dados. A ferramenta Bing Satellite do plugin Quick Map Services foi essencial para fazer o uso do sistema de referência geodésico SIRGAS 2000 / UTM. Ao fixar a área, foi possível delimitar as glebas de interesse via Nova Camada Shapefile. Foram criadas novas camadas a partir do arquivo de texto delimitado para cada ano do estudo, possibilitando a inserção dos dados coletados construídos pelo Excel. Foi instalada a opção Complemento de Interpolação para a criação da espacialização dos dados via ferramenta Interpolação no menu Raster. O estudo tem como base os Manuais de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina de 2004 e 2016.

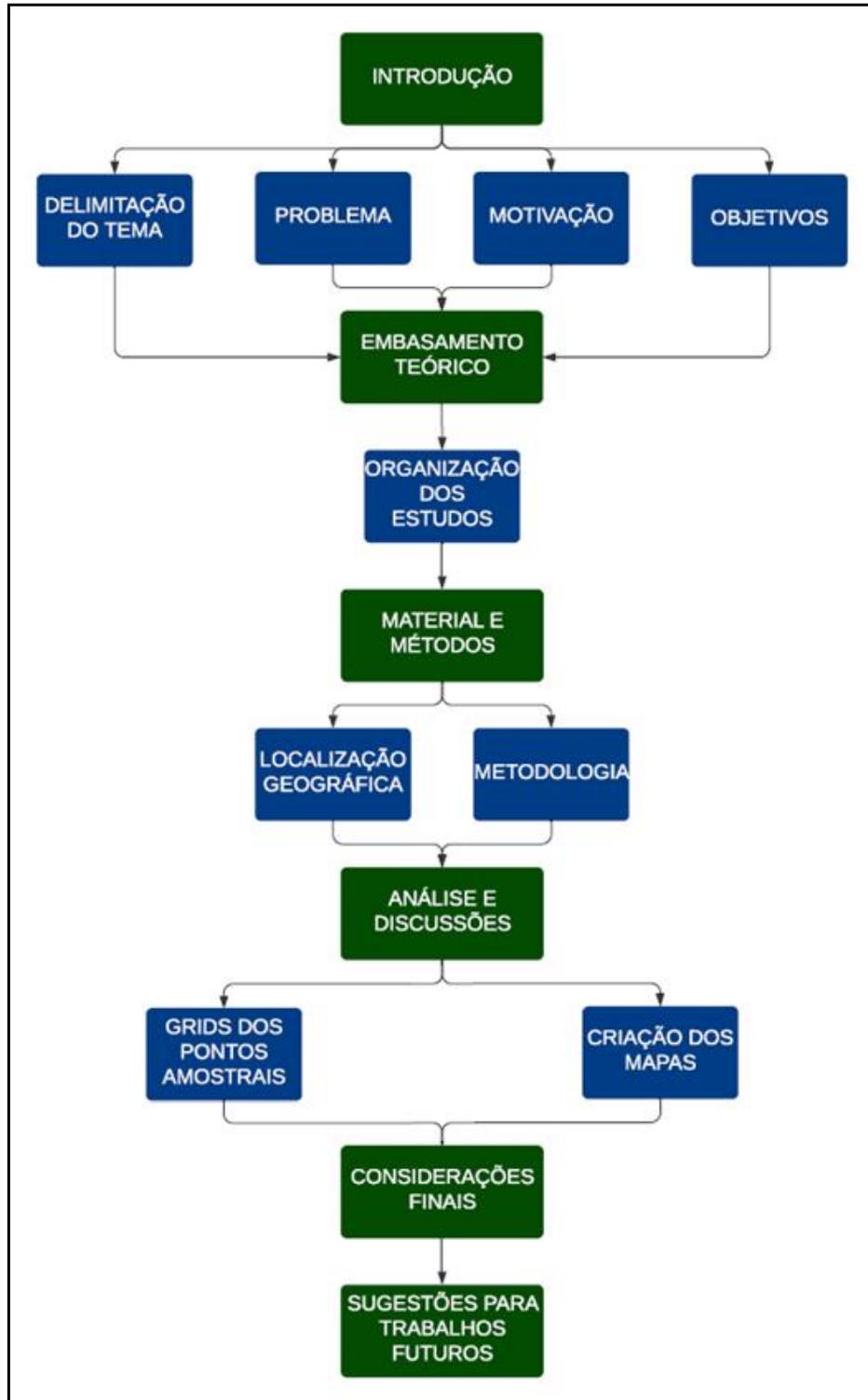
Com o auxílio dos Manuais de Calagem e Adubação e das ferramentas citadas, foi possível realizar a construção dos mapas. A interpolação IDW possibilitou fazer a definição dos valores máximos e mínimos na superfície interpolada dos pontos de dados de amostra; a interpolação resultou em uma camada Raster.

### 3.2.1 Fluxograma de atividades

A pesquisa foi constituída de uma sequência metodológica para a realização das atividades, conforme Fluxograma 1. A realização do trabalho foi constituída pela introdução, divididas em delimitação do tema, problema, motivação e objetivos. Seguidos do embasamento teórico, onde houve a organização dos estudos. Material

e métodos, onde demonstrou a localização geográfica e metodologia. Análise e discussões, divididas pelos *grids* dos pontos amostrais e criação dos mapas. Considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

Fluxograma 1 - Atividades realizadas na pesquisa.



## 4 ANÁLISE E RESULTADOS

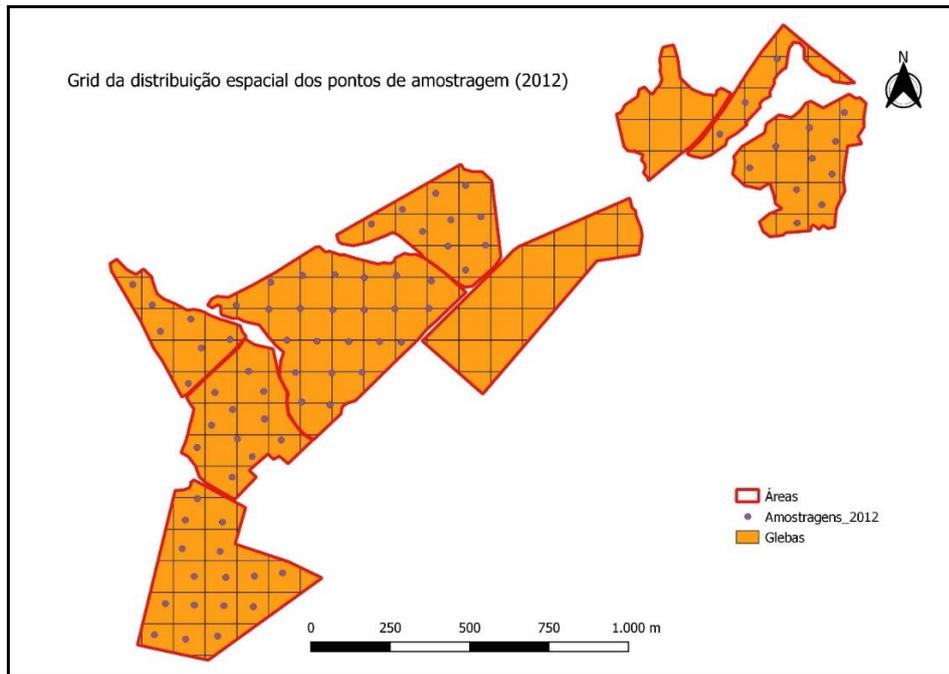
Este capítulo demonstrará os principais resultados obtidos a partir da realização do referencial teórico e pelo estudo do tema. Será subdividido na demonstração dos *grids* da distribuição espacial dos pontos de amostragem e na análise dos mapas para os três anos do estudo (2012, 2017 e 2020).

### 4.1 *Grid* dos locais de amostragem

As figuras (Mapa 2, Mapa 3 e Mapa 4) representam a grade da distribuição espacial dos locais de amostragem para os anos de 2012, 2017 e 2020.

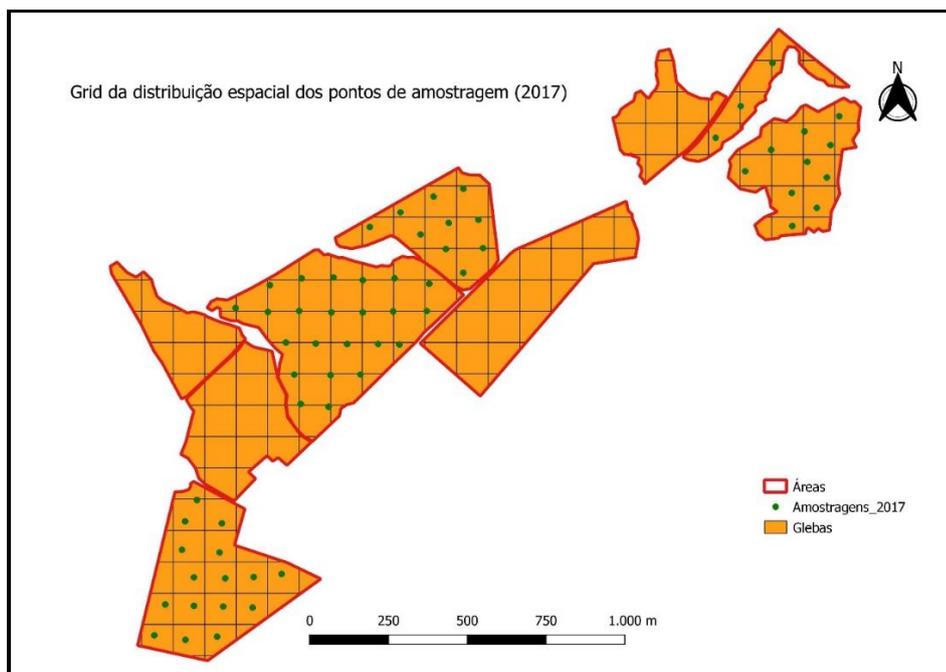
O método de amostragem demonstra que o local de coleta é tão importante quanto o número de amostras simples a ser coletado. Nesse caso, são formados *grids* de amostragem (amostragem sistemática) na área a ser cultivada, não havendo uma separação prévia da mesma em unidades de amostragem (UA). A partir da amostragem sistemática de solo (*grids* de amostragem), se for detectada, entre pontos do terreno, a ocorrência de dependência espacial para características químicas, mapas de fertilidade são elaborados para as áreas de cultivo, estimando-se valores intermediários entre os teores determinados nos locais de coleta (interpolação), por meio da análise geoestatística. De posse dos mapas de fertilidade, a aplicação de fertilizantes é realizada em taxa variável, visando homogênea disponibilização de nutrientes na área de cultivo (GUARÇONI; ALVAREZ & SOBREIRA, 2017).

Mapa 2 – *Grid* da distribuição espacial dos pontos de amostragem para o ano de 2012.



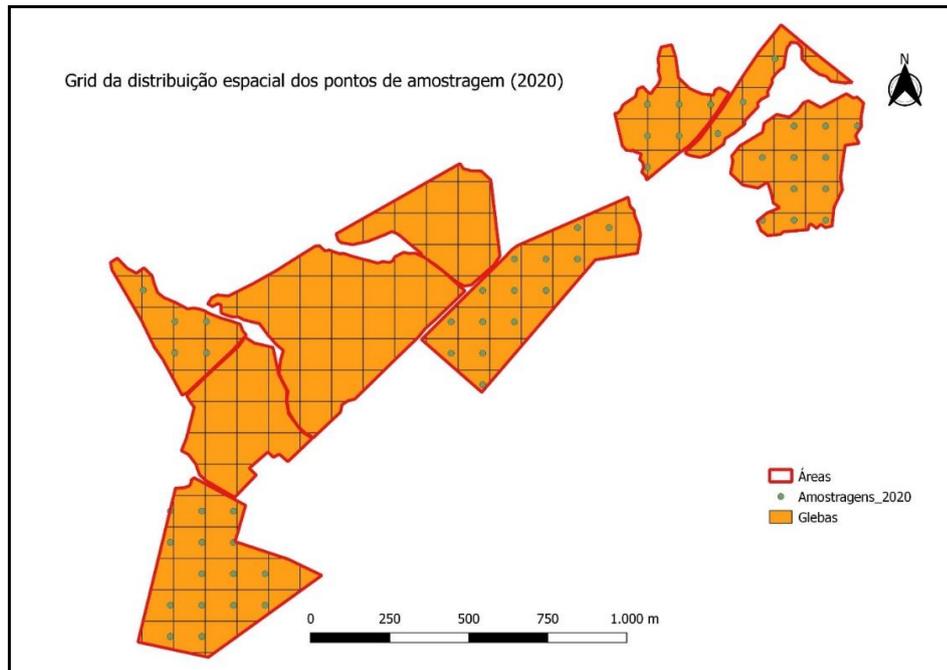
O Mapa 2 apresenta o *grid* dos pontos amostrais de 2012 em Erva-Mate, Diogo-Taquaireira, Várzea, Vossoroca Norte, Vossoroca Sul e Mangueira.

Mapa 3 – *Grid* da distribuição espacial dos pontos de amostragem para o ano de 2017.



O Mapa 3 apresenta o *grid* dos pontos amostrais de 2017 em Erva-Mate, Diogo-Taquaireira, Vossoroca Norte e Vossoroca Sul.

Mapa 4 – *Grid* da distribuição espacial dos pontos de amostragem para o ano de 2020.



O Mapa 4 apresenta o *grid* dos pontos amostrais de 2020 em Erva-Mate, Diogo-Taquareira, Várzea, Carrapicho e Campo Nativo.

#### 4.2 Análise dos mapas

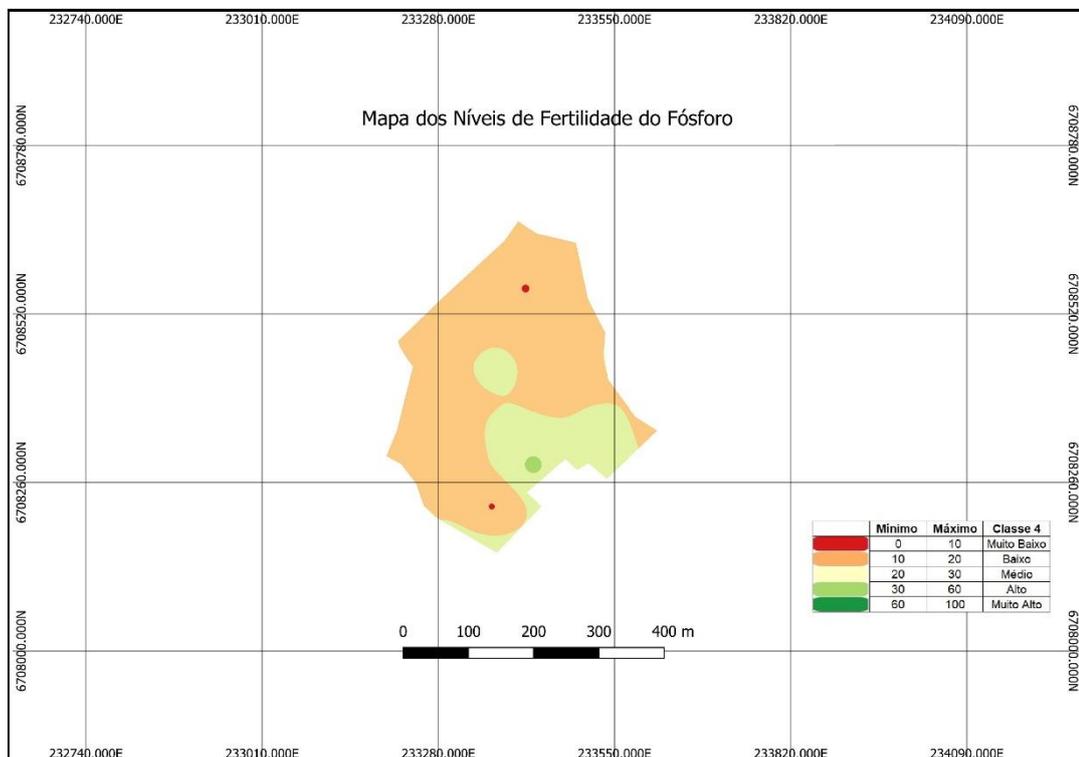
Ao analisar o conjunto de atributos químicos do solo foi possível fazer a estatística descritiva para os três laudos (2012, 2017 e 2020), conforme Anexos A, B e C. A forma do relevo tem um papel fundamental na análise dos mapas e pode auxiliar na definição de esquemas amostrais, bem como no mapeamento de zonas de manejos físico e químico do solo (CARVALHO; TAKEDA & FREDDI, 2003).

A variabilidade espacial dos atributos químicos de solos possibilita a recomendação de doses de calcário, fósforo e potássio com taxas variadas, proporcionando economia e maior eficiência na aplicação (CHANG *et al.*, 2003; WANG *et al.*, 2006), onde os limites de áreas mais homogêneas podem ser definidos pelas características do relevo (MARQUES JÚNIOR & LEPSCH, 2000; FRANZEN *et al.*, 2002). Desse modo, é possível analisar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e a elaboração de mapas de necessidade de aplicação de insumos de forma localizada, em áreas com diferentes formas de relevo.

Os limites das formas do relevo demonstraram ser indicadores das zonas específicas para a aplicação de insumos a taxas variadas. Mapas para aplicação de insumos à taxa variada, elaborados por técnicas geoestatísticas, indicam maior eficiência para a aplicação dos atributos químicos e corretivos para o solo.

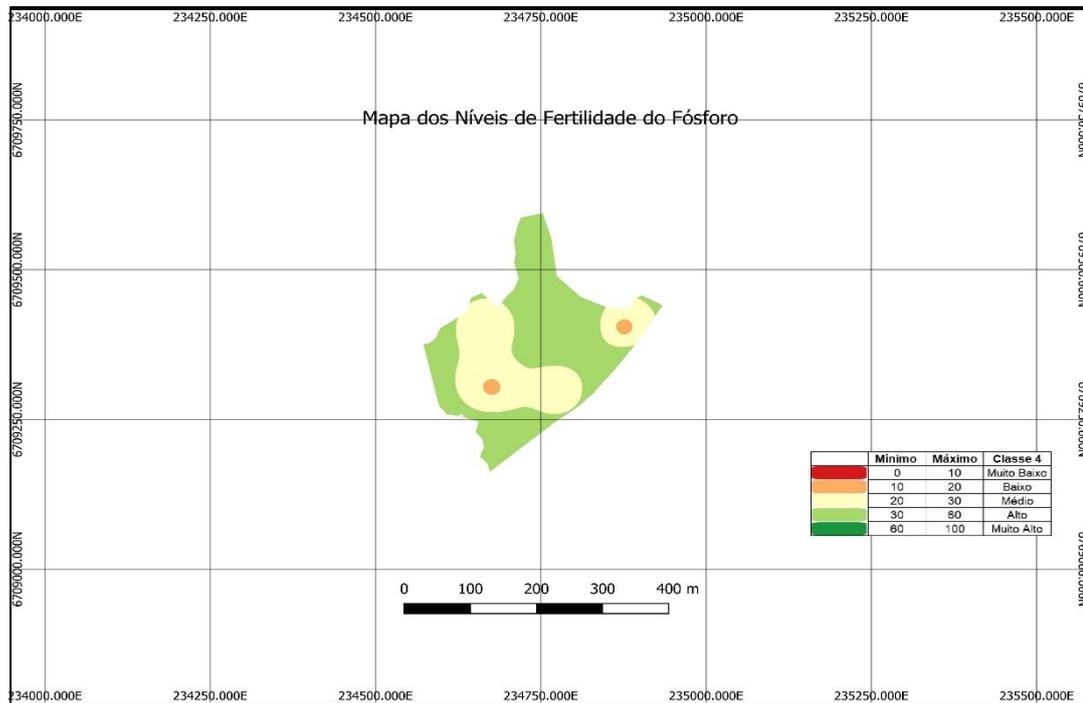
As Figuras 1, 2 e 3 representam o comportamento do P (mg/L) nas áreas denominadas Mangueira 2012, Carrapicho 2020 e Campo Nativo 2020. As áreas são representadas pelos indicadores de mínimo de 0 a 10 (Muito Baixo) e máximo de 60+ (Muito Alto), conforme Classe 4, Tabela 6.4, do Manual de Adubação e Calagem de 2016.

Figura 1 – Mapa dos níveis de fertilidade do Fósforo (Mangueira), no ano de 2012.



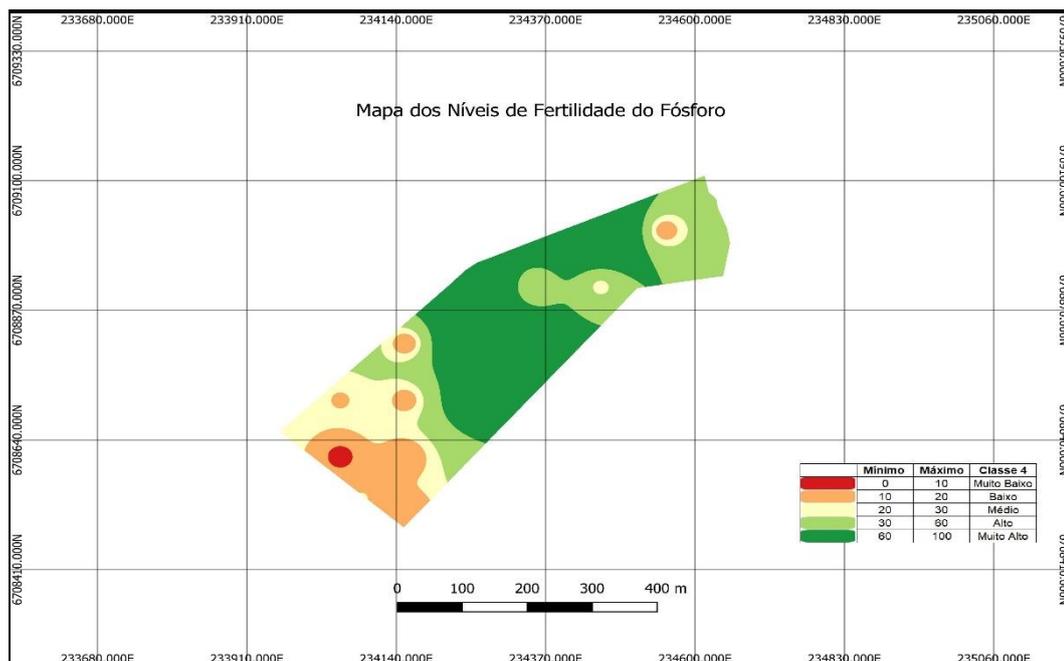
Na Figura 1 é notável uma maior concentração de níveis baixos, a maior parte da mancha está situada entre os valores de 10 a 20 mg/L de P. Segundo Richart *et al.* (2016), os locais onde têm altos índices de pH do solo tendem a oferecer menor quantidade de P. É importante ressaltar que o equilíbrio entre os nutrientes presentes no solo é fundamental para que não haja excesso ou deficiência dos mesmos, pois um único elemento pode prejudicar a absorção dos outros.

Figura 2 – Mapa dos níveis de fertilidade do Fósforo (Carrapicho), no ano de 2020.



A Figura 2 apresenta a maior parte da mancha concentrada em níveis altos entre 30 e 60 mg/L de P. Apesar de ainda existirem setores de níveis baixos, nota-se um bom manejo às correções de pH do solo. Machado (2019), aponta como estratégia principal corrigir o pH nos pontos mais críticos da área estudada.

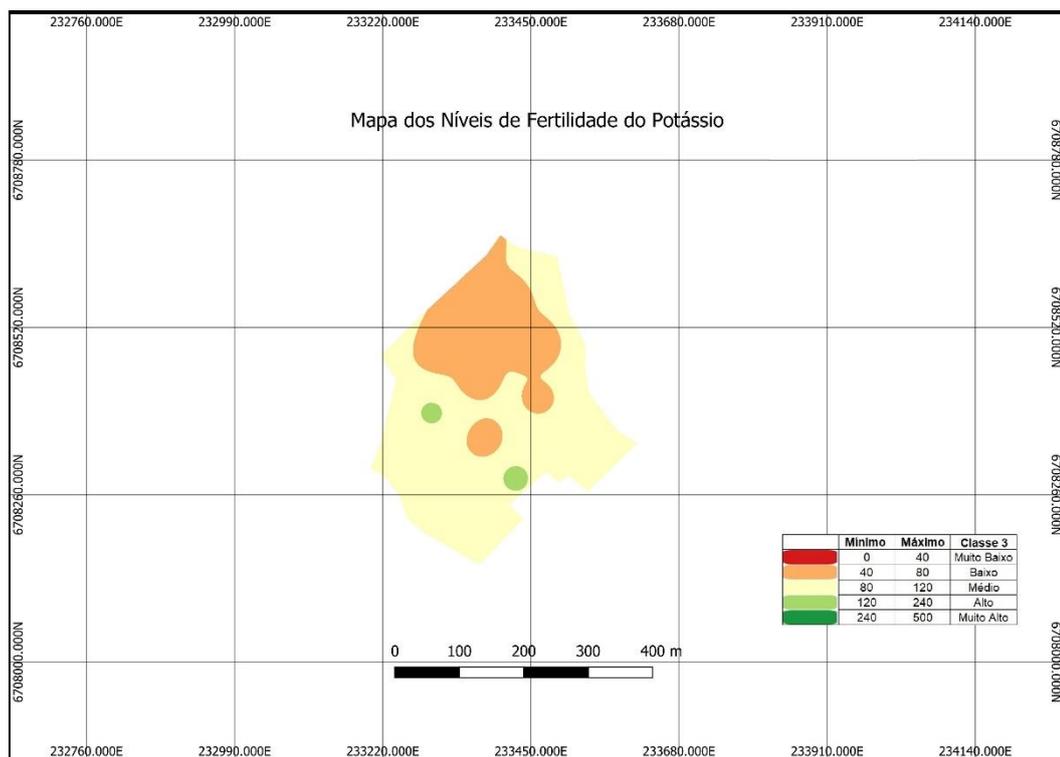
Figura 3 – Mapa dos níveis de fertilidade do Fósforo (Campo Nativo), no ano de 2020.



A Figura 3 representa o P distribuído heterogeneamente, não existe uma mancha predominante. Mesmo assim, é notável que ainda existe grande quantidade de níveis médios (20 a 30) e baixos (10 a 20) mg/L de P. De acordo com Oliveira *et al.* (2013), esta variabilidade encontrada está relacionada aos baixos teores de P no material de origem, ou seja, exportação via produção e sua imobilização pelas fortes interações de absorção com os contribuintes do solo.

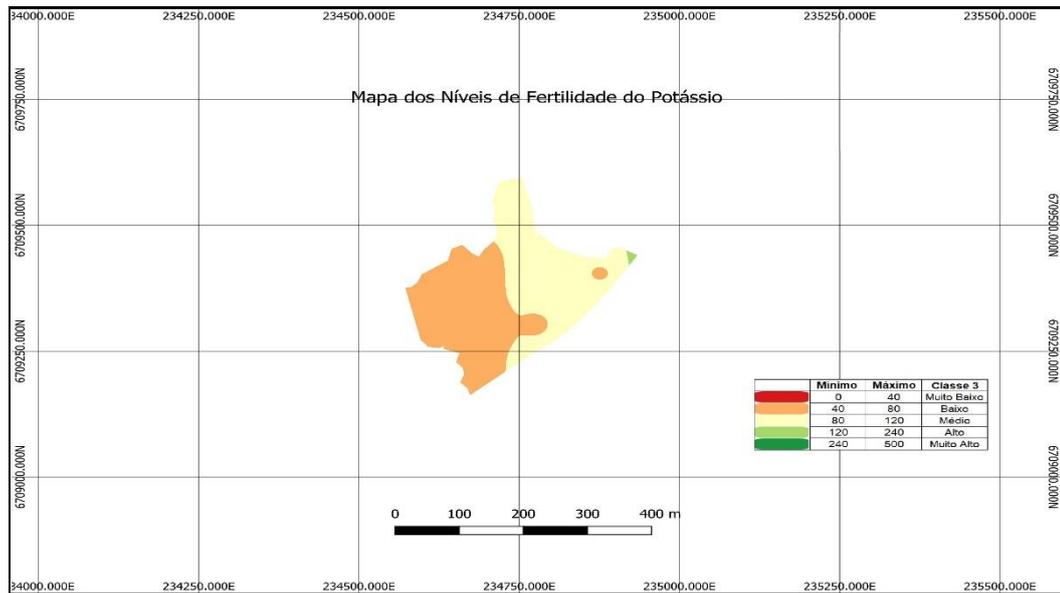
As Figuras 4, 5 e 6 representam o comportamento do K (mg/L) nas áreas denominadas Mangueira 2012, Carrapicho 2020 e Campo Nativo 2020. As áreas são representadas pelos indicadores de mínimo de 0 a 40 (Muito Baixo) e máximo de 240+ (Muito Alto) conforme Classe 3, Tabela 6.9, do Manual de Adubação e Calagem de 2016.

Figura 4 – Mapa dos níveis de fertilidade do Potássio (Mangueira), no ano de 2012.



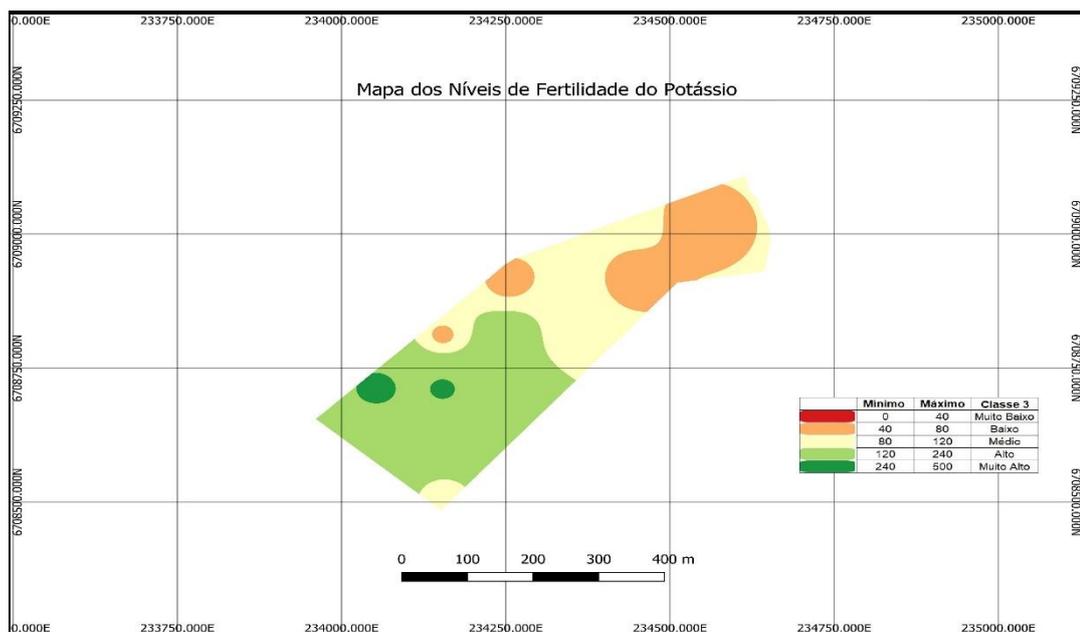
A Figura 4 apresenta uma mancha predominante de nível médio entre 80 e 120 mg/L de K. Scalon (2020), diz que esse resultado pode estar ligado ao CV (coeficiente de variação) classificado como médio. Muitos autores explicam que isso pode ser decorrência da distribuição textural do solo, visto que solos com baixa CTC e matéria orgânica favorecem a lixiviação deste elemento.

Figura 5 – Mapa dos níveis de fertilidade do Potássio (Carrapicho), no ano de 2020.



A Figura 5 apresenta manchas de nível médio (80 e 120) e baixo (40 a 80) mg/L de K. Dellamea (2008), obteve resultados semelhantes, analisando a eficiência da adubação em taxa variável em áreas manejadas com AP no RS, onde realizaram dois mapeamentos da área (2005 e 2007), encontrando em 2007 níveis satisfatórios do K, apesar de ter apresentado certa heterogeneidade do elemento no solo.

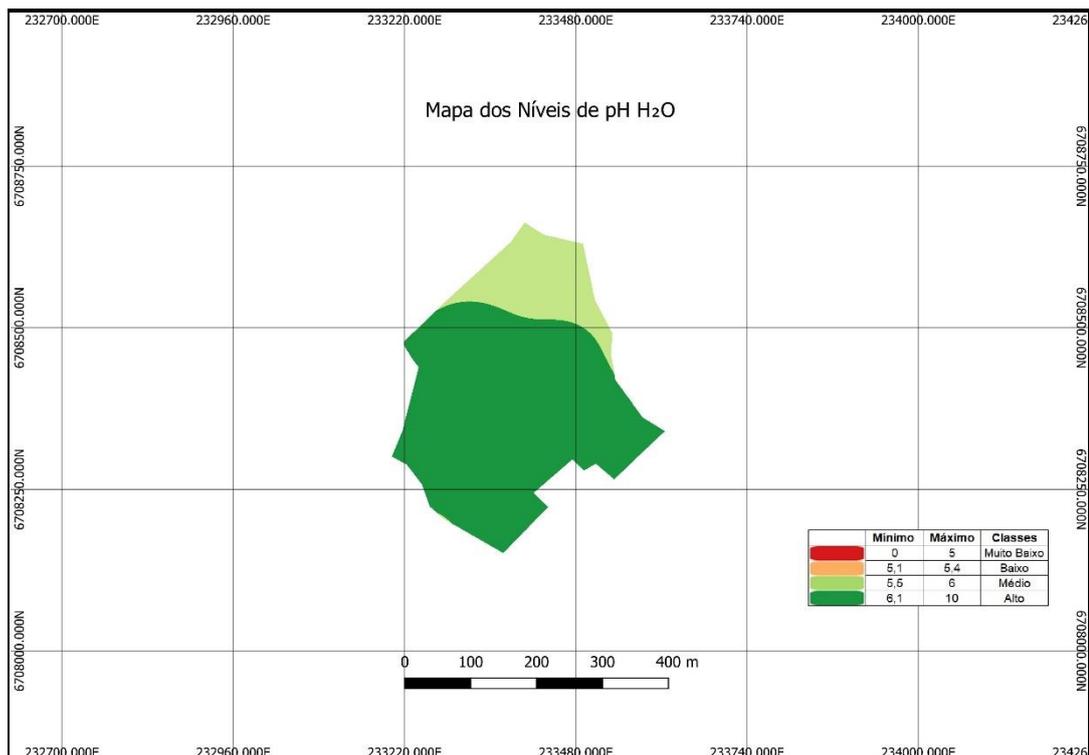
Figura 6 – Mapa dos níveis de fertilidade do Potássio (Campo Nativo), no ano de 2020.



A Figura 6 apresenta maior heterogeneidade, as machas são distribuídas de forma heterogênea por todo o talhão. Levando em consideração que o estudo dessa região foi atribuído somente aos níveis de fertilidade para o ano de 2020, Wilda (2014) explica que locais que não receberam aplicação em taxa variável em outros anos, estão mais propensas a apresentar necessidades na próxima amostragem.

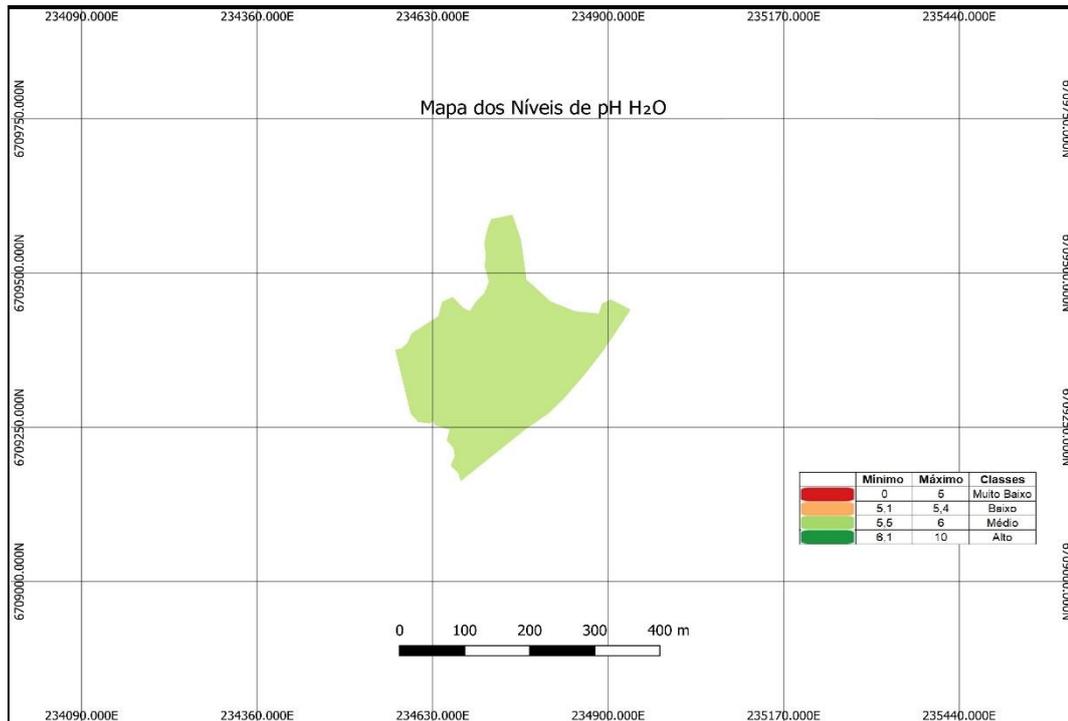
As Figuras 7, 8 e 9 representam o comportamento do pH ( $H_2O$ ) nas áreas denominadas Mangueira 2012, Carrapicho 2020 e Campo Nativo 2020. As áreas são representadas pelos indicadores de mínimo de 0 a 5 (Muito Baixo) e máximo de 6,1+ (Muito Alto), conforme Tabela 5.1 do Manual de Adubação e Calagem de 2004.

Figura 7 – Mapa dos níveis de pH  $H_2O$  (Mangueira), no ano de 2012.



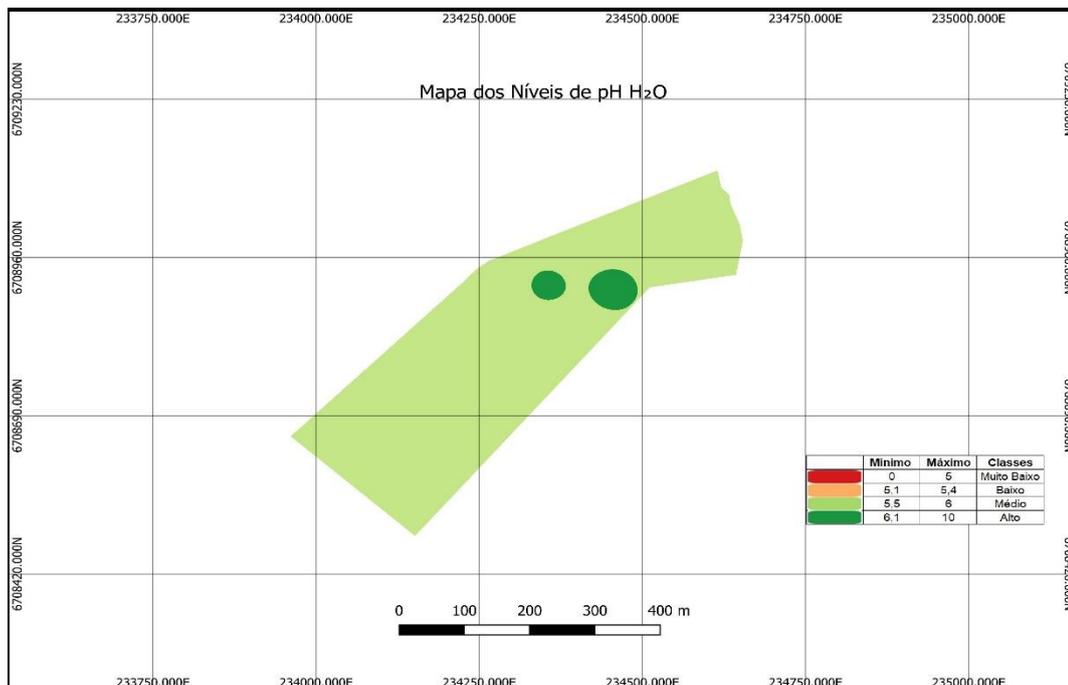
Na Figura 7 nota-se a mancha predominante de nível alto entre 6,1 e 10 de pH  $H_2O$  e um mapa homogêneo.

Figura 8 – Mapa dos níveis de pH H<sub>2</sub>O (Carrapicho), no ano de 2020.



Na Figura 8 é possível ver a homogeneidade com a média de 5,5 a 6 de pH H<sub>2</sub>O para toda a área delimitada.

Figura 9 – Mapa dos níveis de pH H<sub>2</sub>O (Campo Nativo), no ano de 2020.

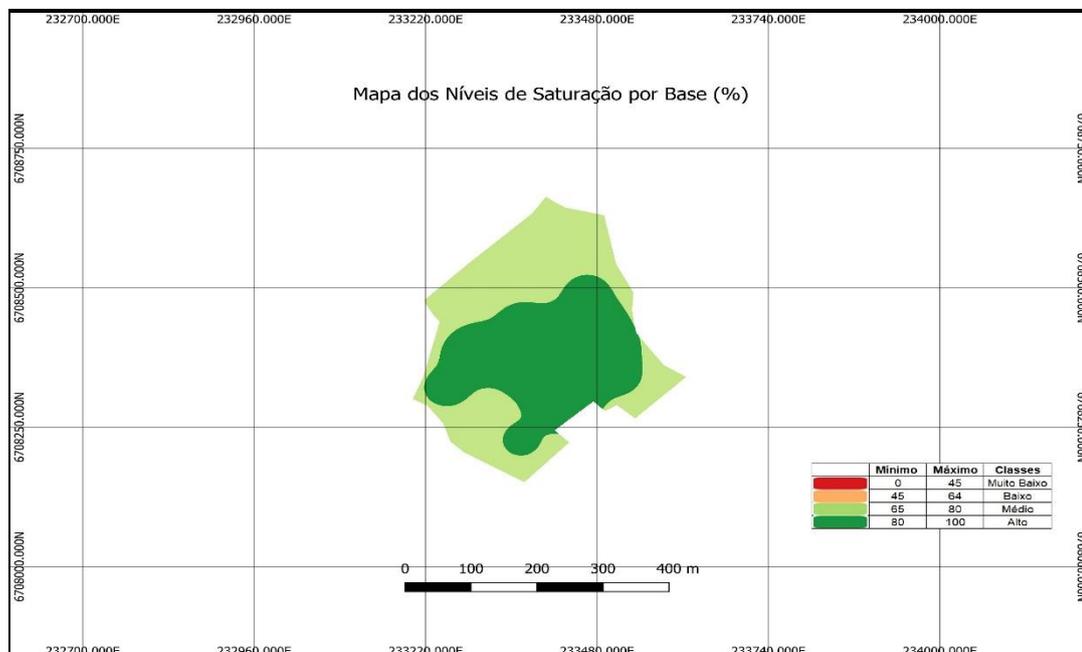


Na Figura 9 é possível identificar uma área predominante de nível médio de 5,5 a 6 de pH H<sub>2</sub>O.

Ao fazer a análise dos mapas dos níveis de pH H<sub>2</sub>O para Mangueira 2012, Carrapicho 2020 e Campo Nativo 2020, fica claro que as glebas mantiveram zonas homogêneas entre os níveis médios e altos nas três situações. Segundo a Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004), nos solos dos Estados do RS e de SC, em média, as porcentagens de saturação da CTC de 65%, 80% e 85% correspondem aos valores de pH em água de 5,5, 6,0 e 6,5 respectivamente. Sendo assim, as áreas mantiveram o padrão de pH em água adequado para essas áreas.

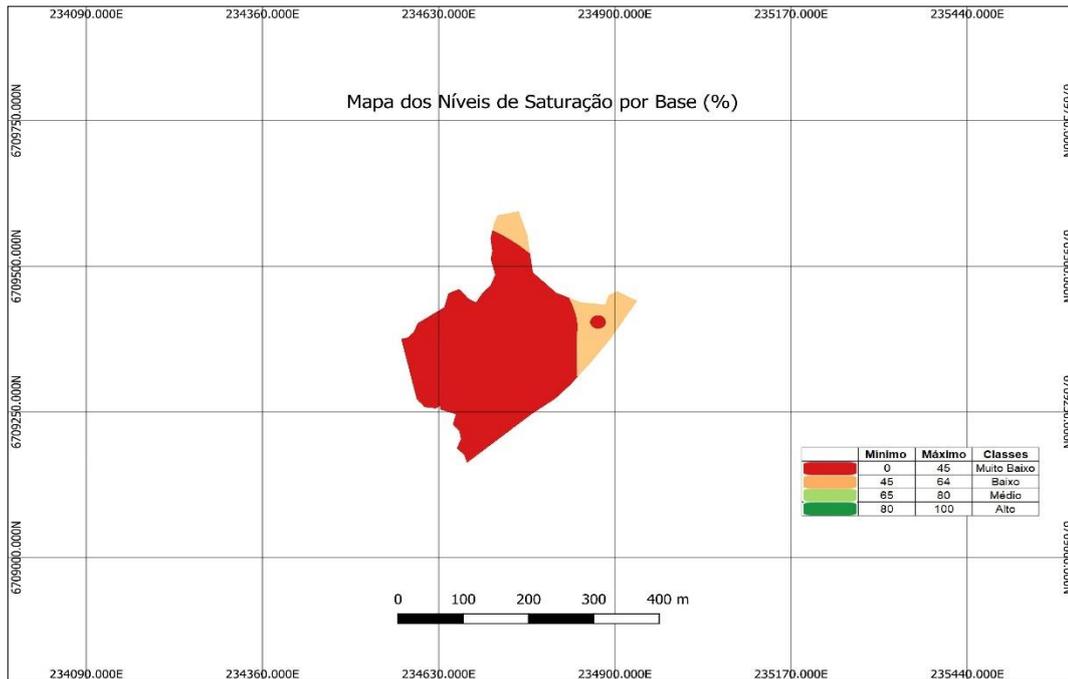
As Figuras 10, 11 e 12 representam o comportamento da Saturação por Base (%) nas áreas denominadas Mangueira 2012, Carrapicho 2020 e Campo Nativo 2020. As áreas são representadas pelos indicadores de mínimo de 0 a 45 (Muito Baixo) e máximo de 80+ (Muito Alto), conforme Tabela 5.1 do Manual de Adubação e Calagem de 2004.

Figura 10 – Mapa dos níveis de Saturação por Base (Mangueira), no ano de 2012.



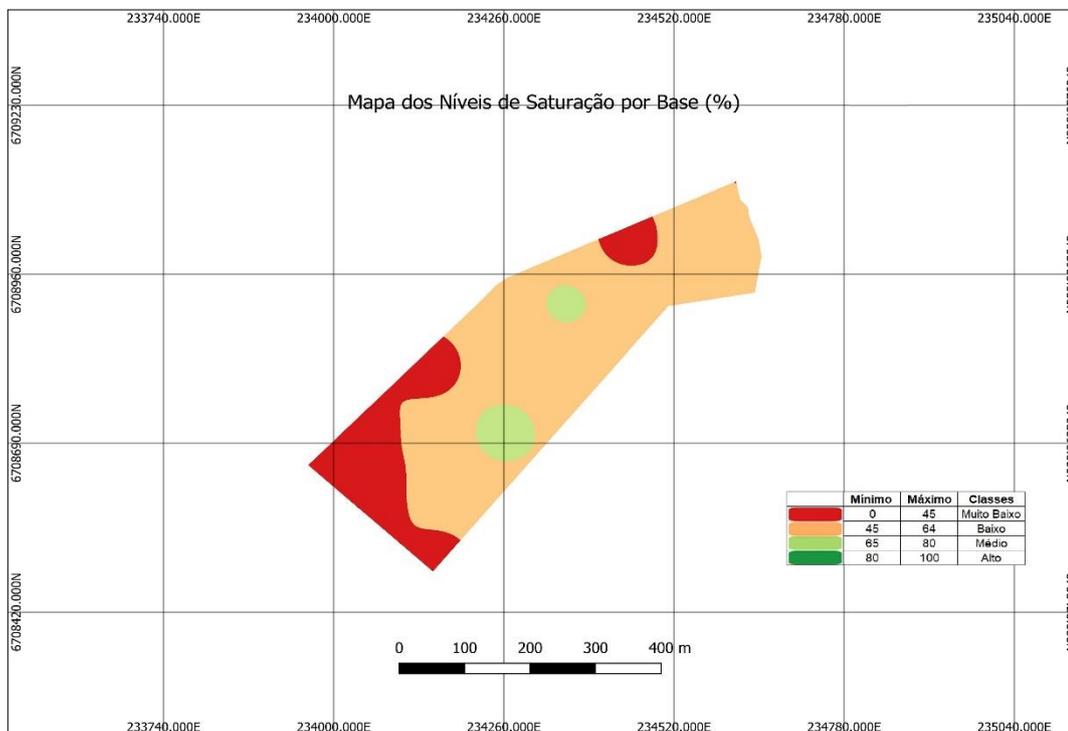
A Figura 10 apresenta a divisão de duas cores, o verde claro e o verde escuro, representados pelos níveis de médio (65 a 80%) e alto (80 a 100%).

Figura 11 – Mapa dos níveis de Saturação por Base (Carrapicho), no ano de 2020.



A Figura 11 apresenta a maior mancha em cor vermelha que representa a média de nível muito baixo (0 a 45%).

Figura 12 – Mapa dos níveis de Saturação por Base (Campo Nativo), no ano de 2020.



A Figura 12 apresenta a maior parte em nível baixo de 45 a 64%.

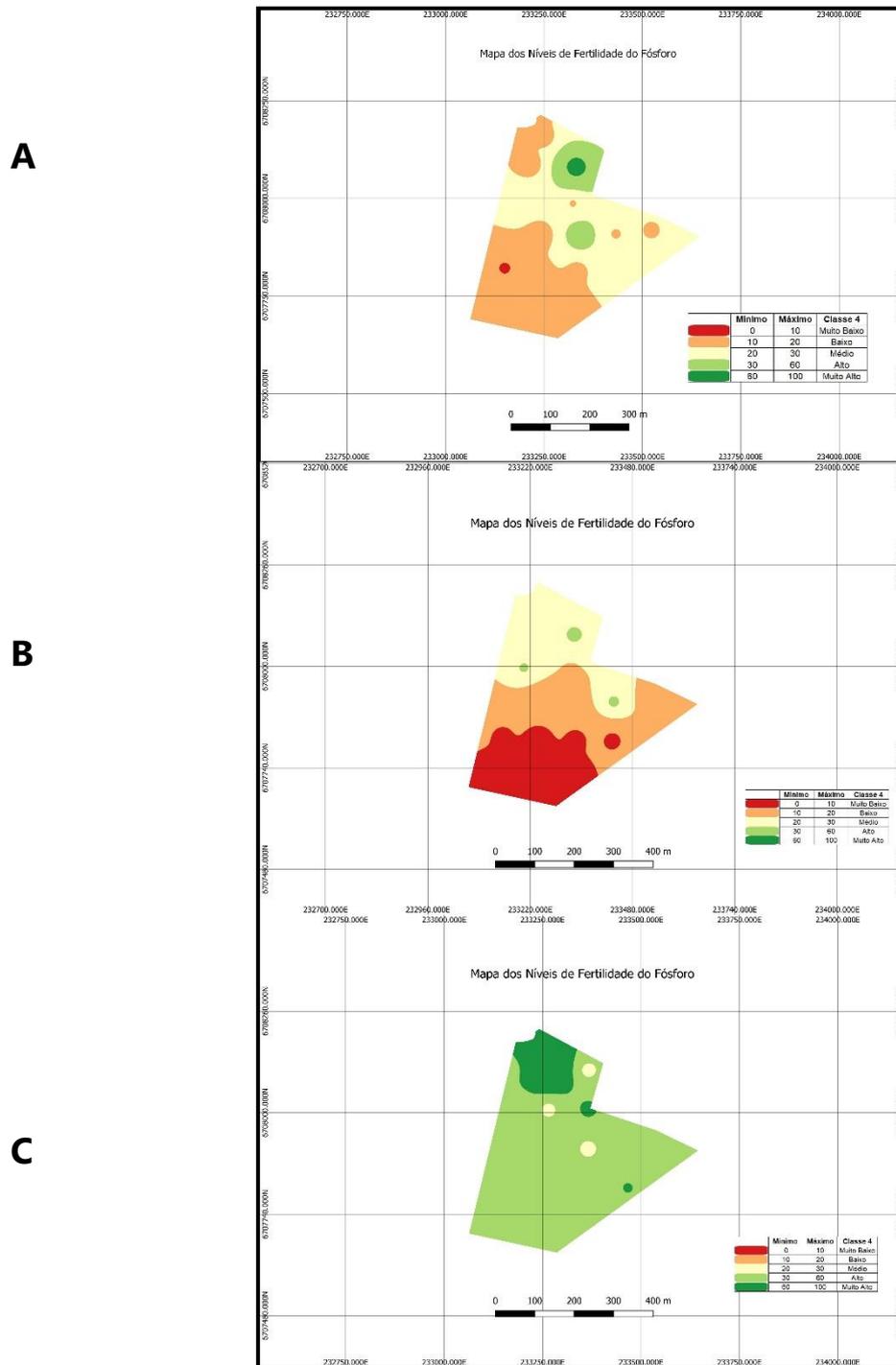
Ao analisar as três áreas, Mangueira 2012, Carrapicho 2020 e Campo Nativo 2020, é possível observar que somente a gleba Mangueira 2012 manteve bons níveis de saturação por base (%), enquanto Carrapicho 2020 e Campo Nativo 2020 apontam carência nesse aspecto. Richart *et. al.* (2016), apresenta um estudo onde o valor mínimo de saturação por base no solo foi de 54,75%, como resposta foi preciso fazer calagem em taxa variável, para que fosse possível diminuir a heterogeneidade do solo. Segundo a EMBRAPA (2015), a saturação por bases é a proporção da capacidade de troca catiônica ocupada pelas bases. Solos com saturação por bases maiores que 70% indicam que não há necessidade de calagem. Solos com saturação por bases menor que 50%, têm cargas ocupadas por componentes da acidez H ou Al e necessitam de correção.

A seguir, as ilustrações farão o comparativo dos níveis de fertilidade do Fósforo (P), do Potássio (K), do pH H<sub>2</sub>O e da saturação por base dada em porcentagem de acordo com suas classes. Sousa *et. al.* (2016), afirma que os valores médios dos teores de nutrientes no solo e dos principais atributos obtidos por Agricultura de Precisão, são apresentados por médias. Vê-se que os teores médios obtidos por nutriente que se enquadraram dentro das mesmas classes de interpretação de fertilidade do solo. Esse é um parâmetro importante de comparação, uma vez que as recomendações de corretivos e fertilizantes são definidas a partir dessas classificações (classes de interpretação).

Foram utilizadas as Classes 3 e 4 para P (Fósforo), Classes 2 e 3 para K (Potássio), conforme Tabela 6.4, do Manual de Adubação e Calagem de 2016. Para pH H<sub>2</sub>O (pH em água) e saturação por base (%) foi utilizada a Tabela 5.1 do Manual de Adubação e Calagem de 2004.

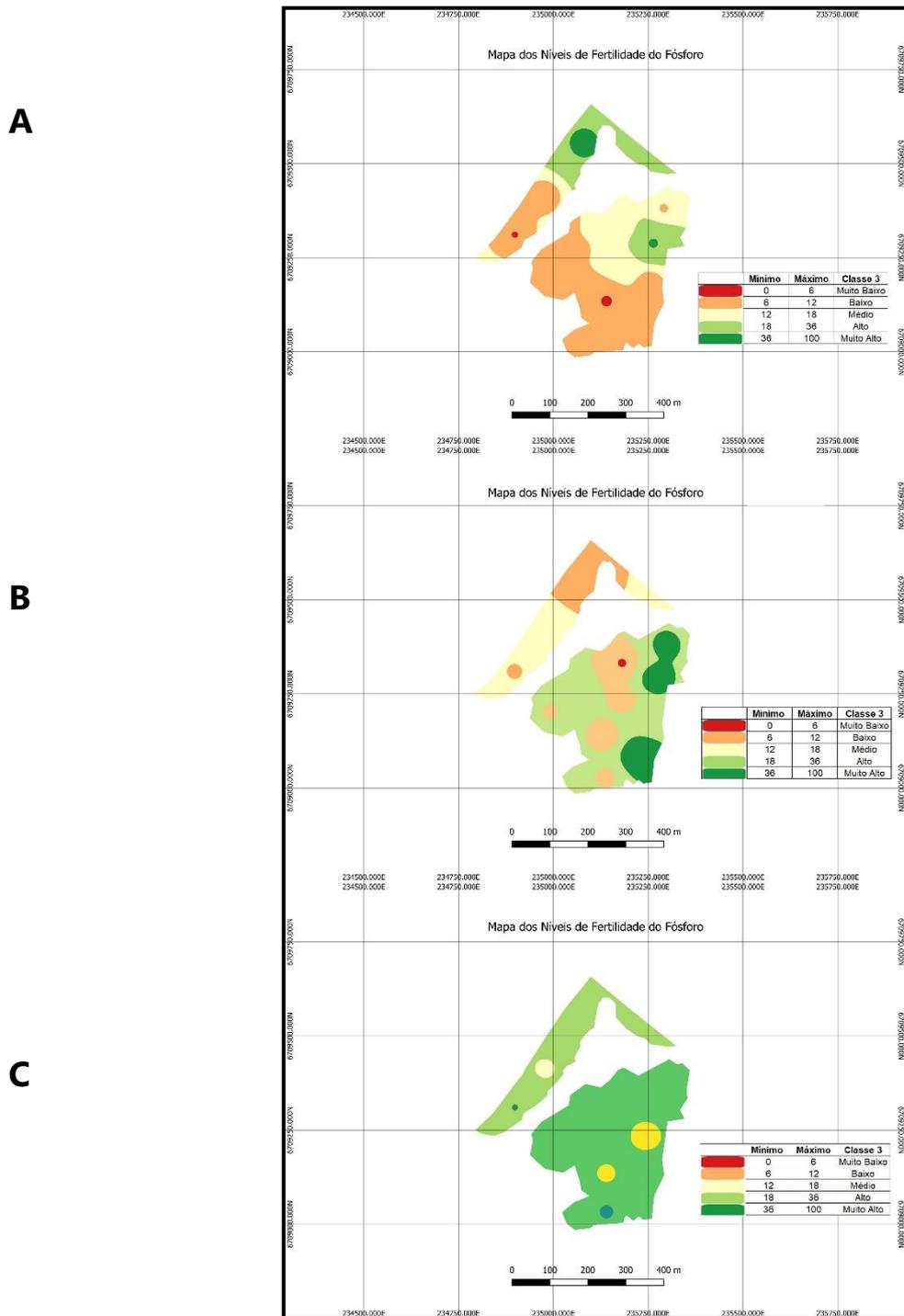
As Figuras 13, 14, 15 e 16 representam o comportamento do P (mg/L) comparando os três anos de estudo (2012, 2017 e 2020).

Figura 13 – Comparativo dos níveis de fertilidade do Fósforo (Erva-Mate), nos anos de 2012 (A), 2017 (B) e 2020 (C).



A Figura 13 ilustra o comparativo dos níveis de fertilidade do Fósforo (P). Ao fazer a média da argila, observou-se que em 2012 (A) o talhão Erva-Mate ficou com a média de 18,75, em 2017 (B) com a média de 18,93 e em 2020 (C) com a média de 17,8. É notável a melhora da correção de P desde 2012 até 2020.

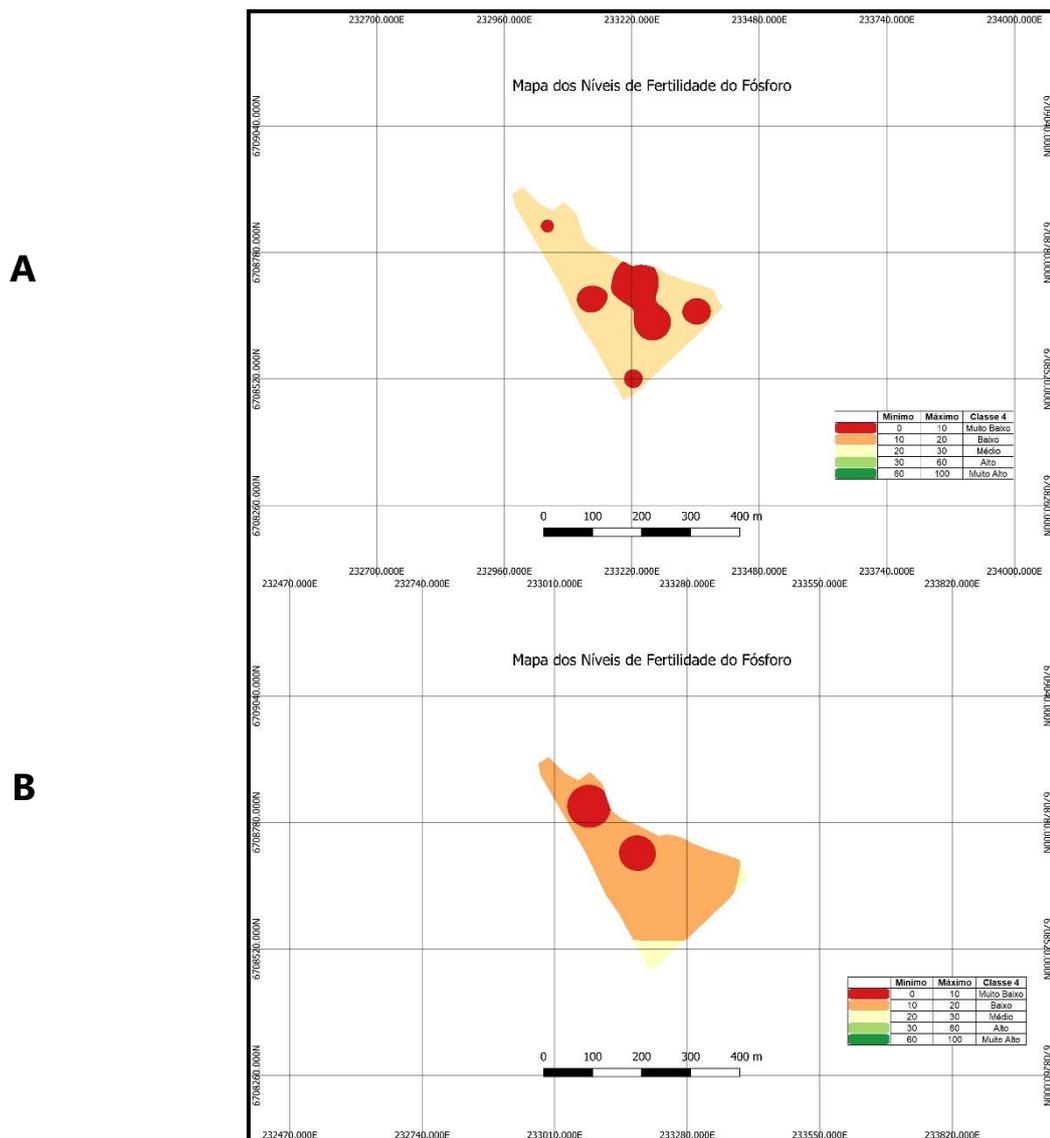
Figura 14 – Comparativo dos níveis de fertilidade do Fósforo (Diogo-Taquareira), nos anos de 2012 (A), 2017 (B) e 2020 (C).



A Figura 14 ilustra o comparativo dos níveis de fertilidade do Fósforo (P). Ao fazer a média da argila, observou-se que em 2012 (A) os talhões Diogo-Taquareira ficaram com a média de 26,23, em 2017 (B) com a média de 27,46 e em 2020 (C) com a média de 23,5.

Ao analisar os talhões Erva-Mate (Figura 13) e Diogo-Taquaireira (Figura 14), foi possível identificar uma melhora na correção em P de 2012 até 2020. Pantano *et al.* (2016), afirma que o P é um nutriente crítico, e a quantidade exigida pelas culturas está aumentando devido à busca por altas produtividades e que não há elementos que substituam as funções vitais do P nos organismos vivos.

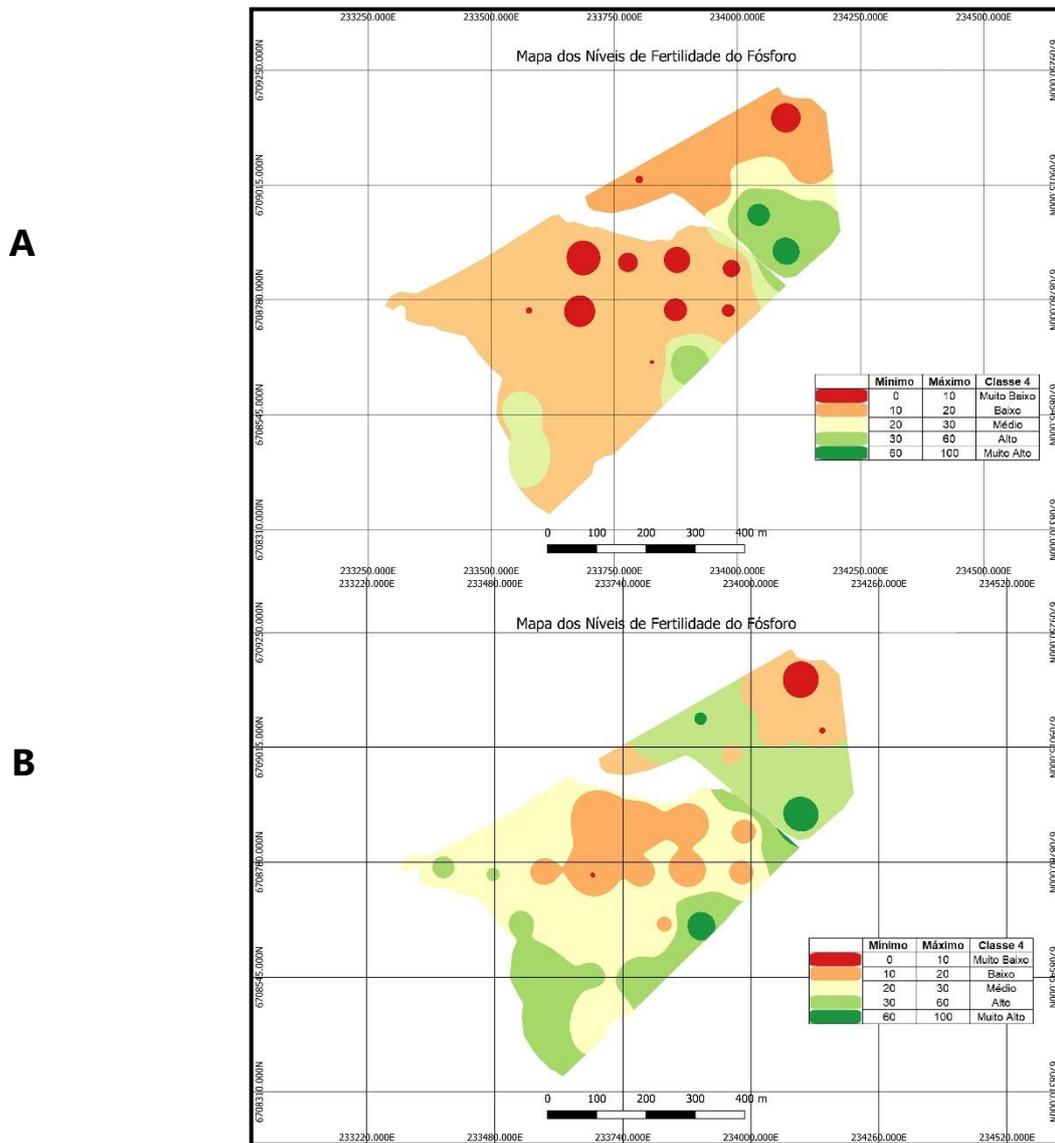
Figura 15 – Comparativo dos níveis de fertilidade do Fósforo (Várzea), nos anos de 2012 (A) e 2020 (B).



A Figura 15 ilustra o comparativo dos níveis de fertilidade do Fósforo (P). Ao fazer a média da argila, observou-se que em 2012 (A) o talhão Várzea ficou com a média de 18,42 e em 2020 (B) com a média de 18,20. Nota-se que de 2012 para 2017 ainda existe necessidade de correção para o solo para P. Pereira (2009) afirma que o Fósforo (P) é considerado um nutriente de baixa mobilidade no solo, comportamento

atribuído à sua “fixação” pelos minerais da argila, e esse elemento tem presença relevante nos solos tropicais que apresentam elevados teores de óxidos de ferro e de alumínio – com os quais o P tem grande afinidade.

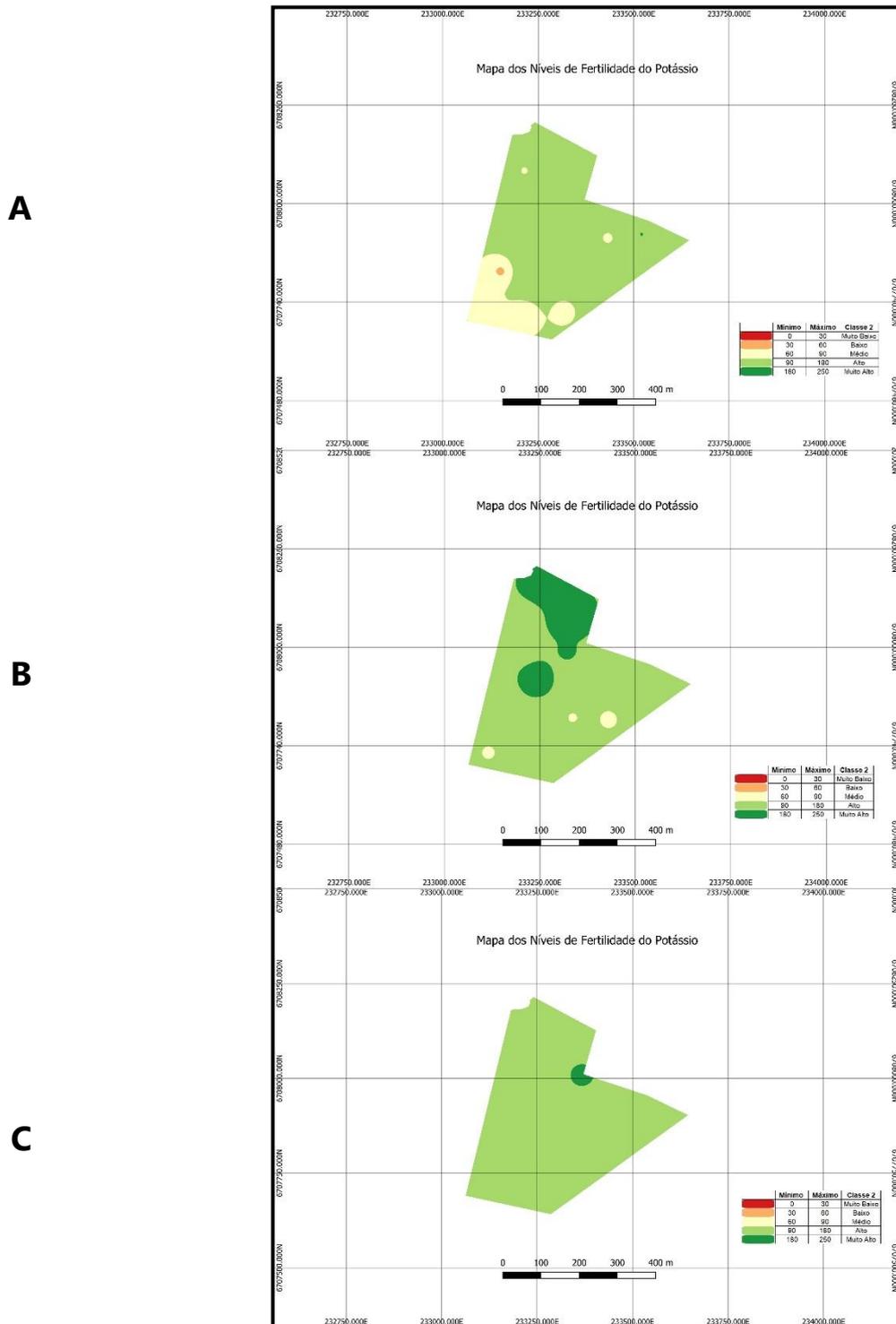
Figura 16 – Comparativo dos níveis de fertilidade do Fósforo (Vossorooca Norte e Vossorooca Sul), nos anos de 2012 (A) e 2017 (B).



A Figura 16 ilustra o comparativo dos níveis de fertilidade do Fósforo (P). Ao fazer a média da argila, observou-se que em 2012 (A) os talhões Vossorooca Norte e Vossorooca Sul ficaram com a média de 21,12 e em 2017 (B) com a média de 23,76 fazendo uso da Classe 4, conforme Manual de Adubação e Calagem 2016. Francisco *et. al.* (2021) apresenta a média de ambos os talhões, conforme Classe 3, onde para o ano de 2012 está entre 12 e 18 e para o ano de 2017 entre 6 e 12.

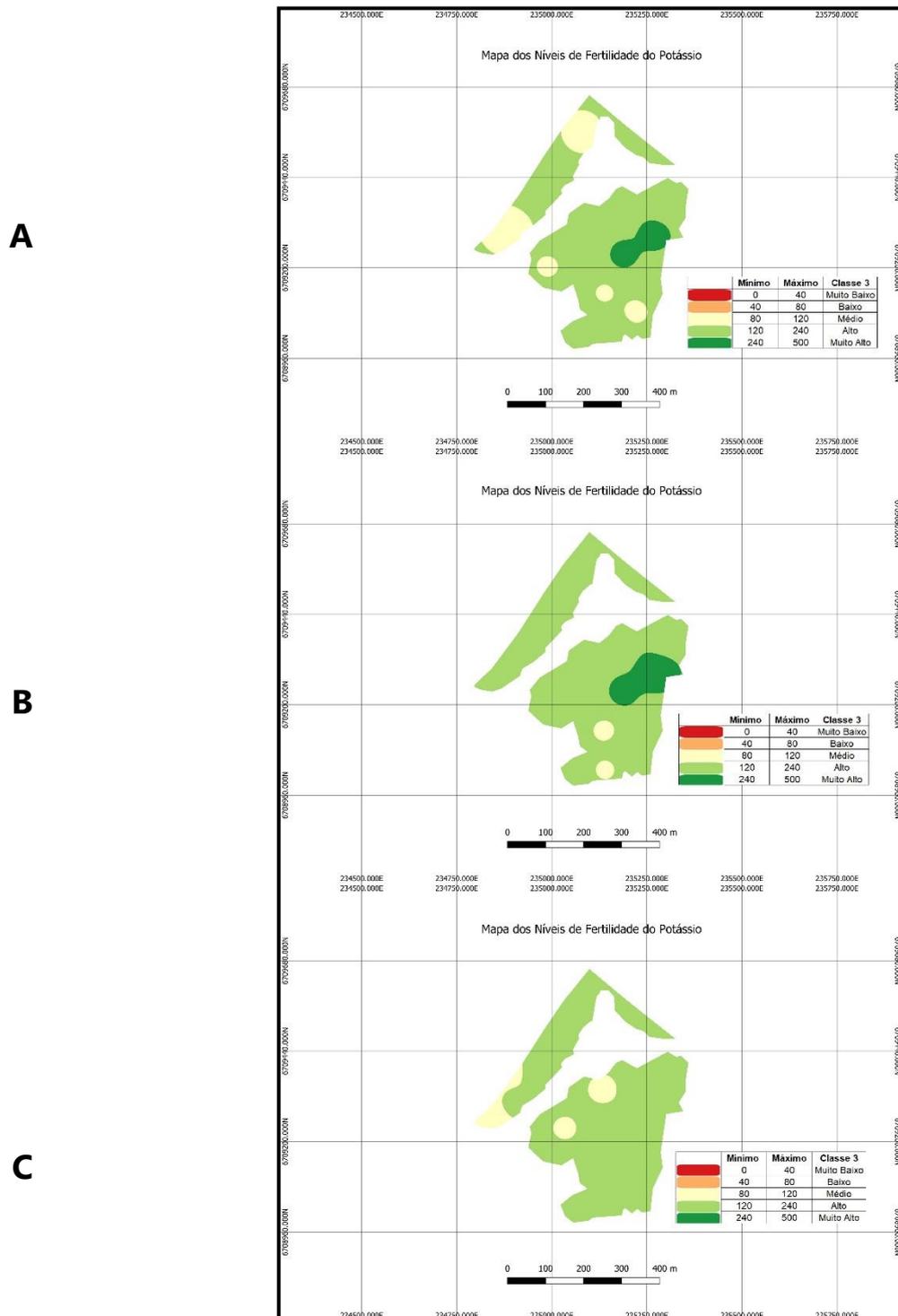
As Figuras 17, 18, 19 e 20 representam o comportamento do K (mg/L) comparando os três anos de estudo (2012, 2017 e 2020).

Figura 17 – Comparativo dos níveis de fertilidade do Potássio (Erva-Mate), nos anos de 2012 (A), 2017 (B) e 2020 (C).



A Figura 17 ilustra o comparativo dos níveis de fertilidade do Potássio (K). Ao fazer a média do CTC pH7, notou-se que em 2012 (A) o talhão Erva-Mate ficou com a média de 14,50, em 2017 (B) média de 14,30 e em 2020 (C) média de 11,00.

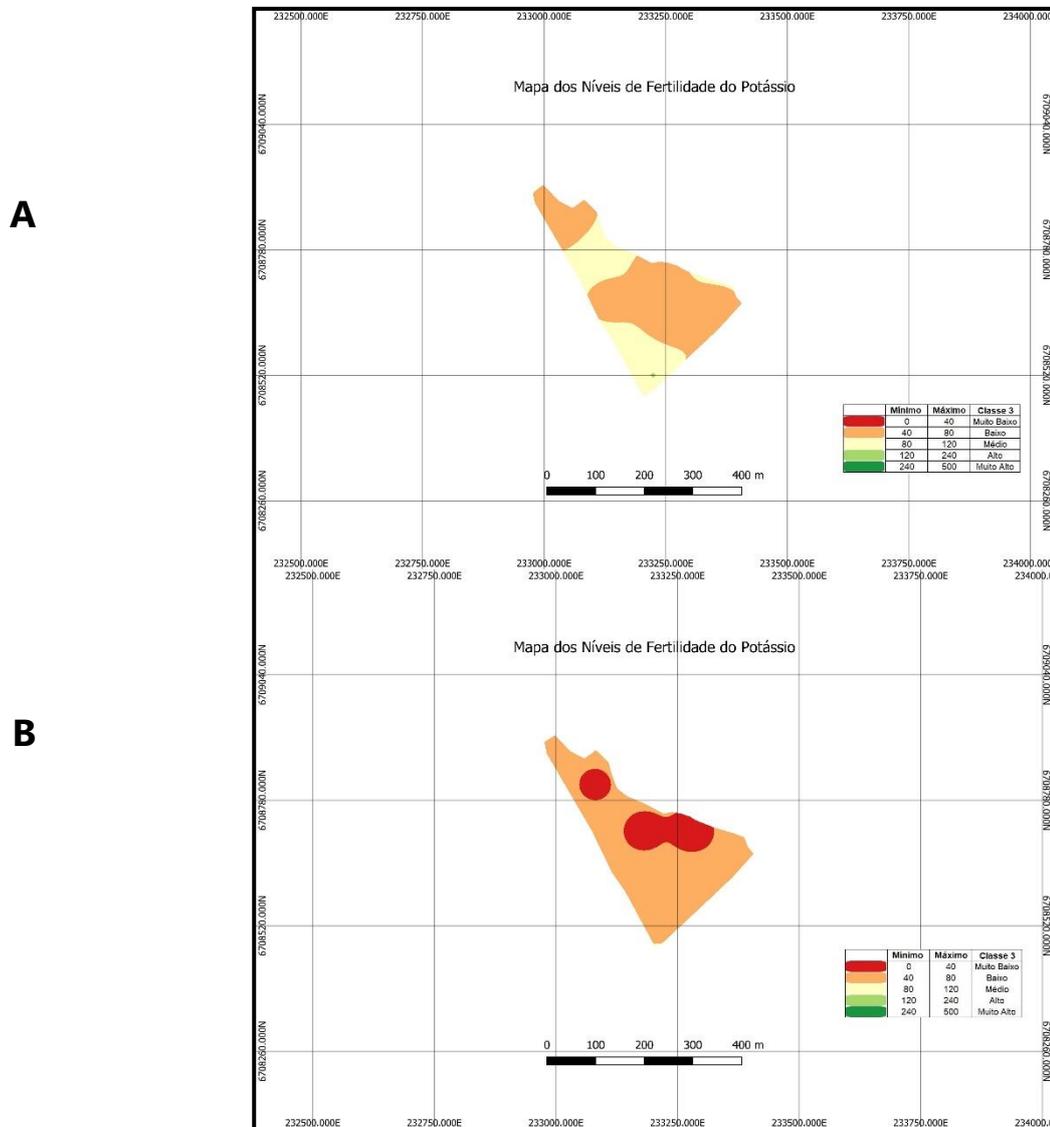
Figura 18 – Comparativo dos níveis de fertilidade do Potássio (Diogo-Taquareira), nos anos de 2012 (A), 2017 (B) e 2020 (C).



A Figura 18 ilustra o comparativo dos níveis de fertilidade do Potássio (K). Ao fazer a média do CTC pH7, observou-se que em 2012 (A) os talhões Diogo e Taquaireira ficaram com a média de 20,8, em 2017 (B) com a média de 20,4 e em 2020 (C) com a média de 18,6.

Ao fazer uma análise dos talhões Erva-Mate (Figura 17) e Diogo-Taquaireira (Figura 18), pode-se afirmar que houve constância corretiva com o K para os anos de 2012, 2017 e 2020.

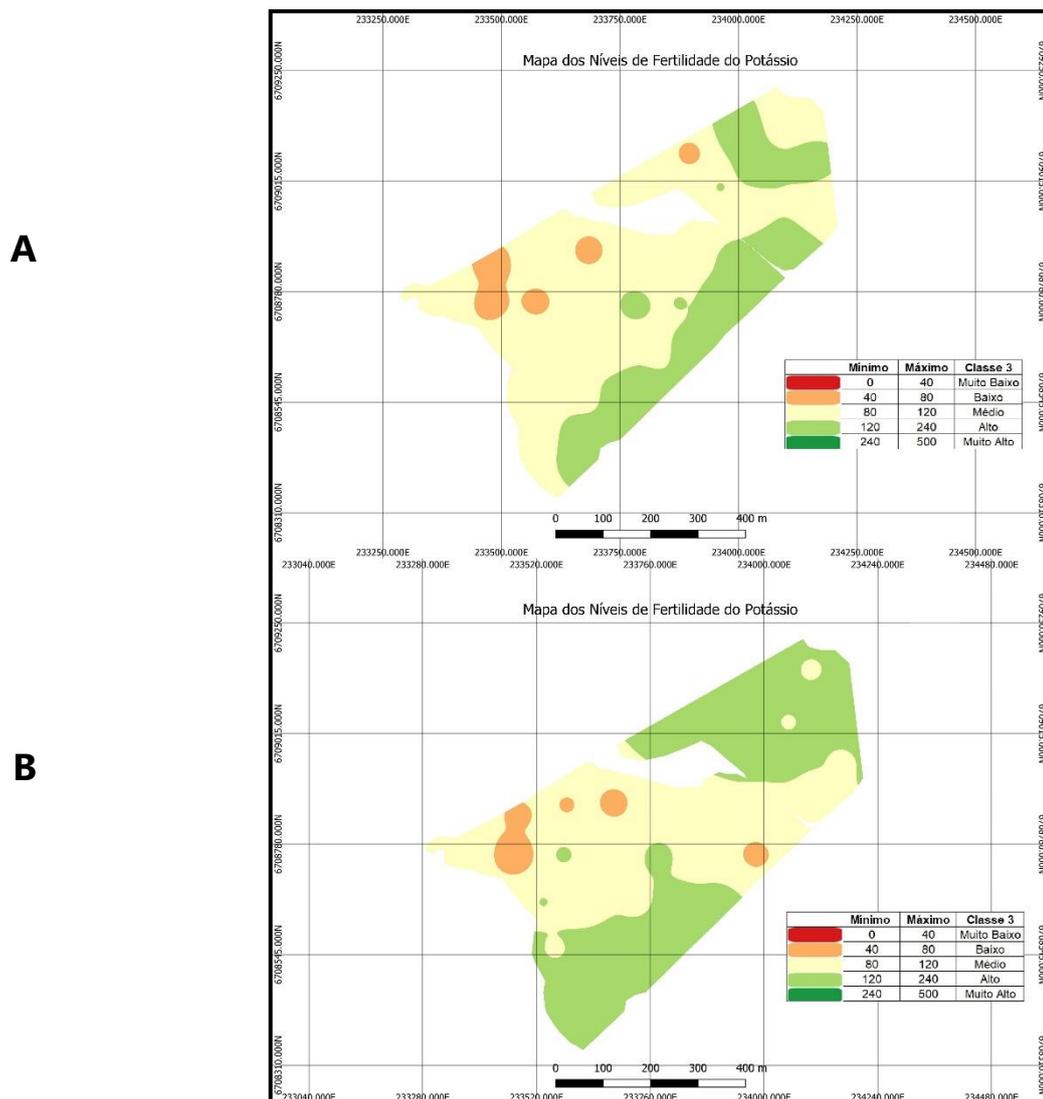
Figura 19 – Comparativo dos níveis de fertilidade do Potássio (Várzea), nos anos de 2012 (A) e 2020 (B).



A Figura 19 ilustra o comparativo dos níveis de fertilidade do Potássio (K). Ao fazer a média do CTC pH7, observou-se que em 2012 (A) o talhão Várzea ficou com

a média de 16,90 e em 2020 (B) com a média de 15,50. De acordo com Vasconcelos *et. al.* (2015), no solo, o Potássio possui pouca mobilidade, portanto, adubações de cobertura devem ser observadas com cuidado, principalmente, quando em solos argilosos. Algumas vezes, para repor o K extraído, recomenda-se sua aplicação em cobertura, entretanto, esta adubação será mais efetiva para as safras seguintes.

Figura 20 – Comparativo dos níveis de fertilidade do Potássio (Vossoroça Norte e Vossoroça Sul), nos anos de 2012 (A) e 2017 (B).

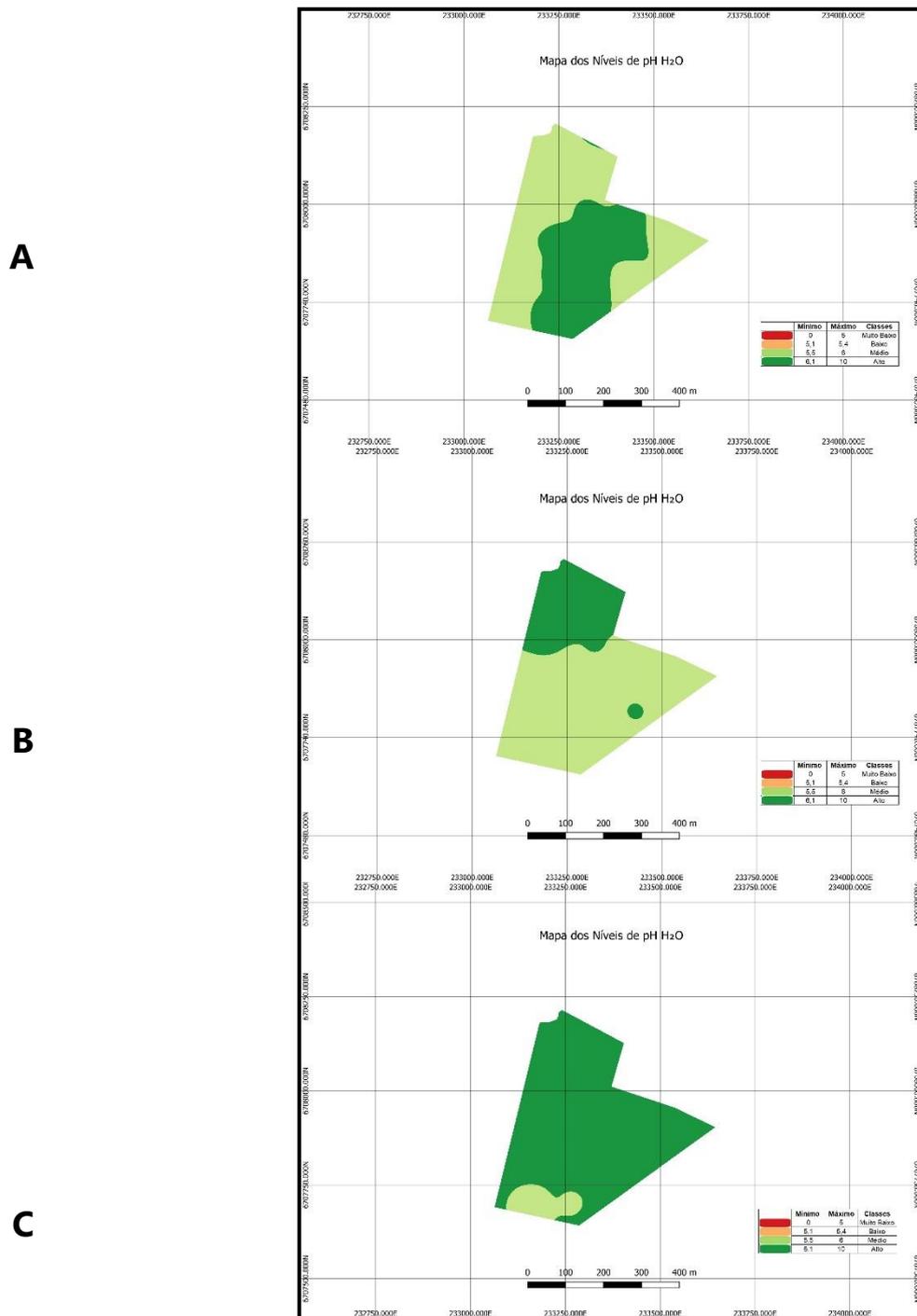


A Figura 20 ilustra o comparativo dos níveis de fertilidade do Potássio (K). Ao fazer a média do CTC pH7, observou-se que em 2012 (A) os talhões Vossoroça Norte e Vossoroça Sul ficaram com a média de 22,3 e em 2017 (B) com a média de 20,1. Francisco *et. al.* (2021), apresenta o mesmo mapa, onde em 2012 o valor está situado entre 80 e 120 (média) totalizando a maior parte, e no ano de 2017 ainda se mantém

nos valores entre 80 e 120 com maior concentração, havendo uma pequena redução desse atributo. Ao analisar o mapa de diferença foi possível observar que houve o acúmulo de pontos negativos na maior parte da área, mostrando que esse atributo diminuiu seus teores de solo.

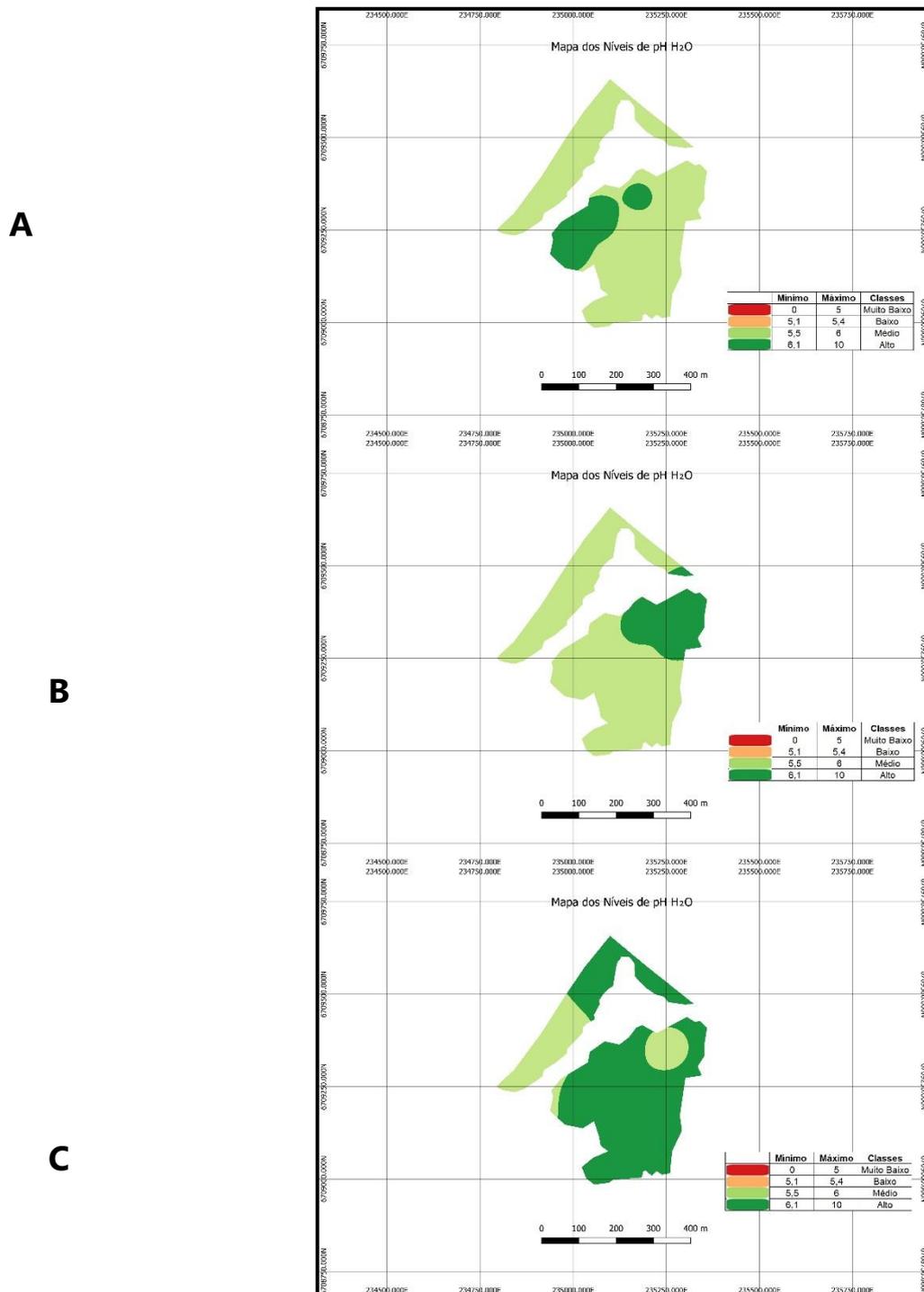
As Figuras 21, 22, 23 e 24 representam o comportamento do pH (H<sub>2</sub>O) comparando os três anos de estudo (2012, 2017 e 2020).

Figura 21 – Comparativo dos níveis de pH H<sub>2</sub>O (Erva-Mate), nos anos de 2012 (A), 2017 (B) e 2020 (C).



A Figura 21 ilustra o comparativo dos níveis de pH (H<sub>2</sub>O). Ao fazer a média do pH (H<sub>2</sub>O), em 2012 (A) o talhão Erva-Mate ficou com a média de 5,4, em 2017 (B) com a média de 5,3 e em 2020 (C) com a média de 5,9.

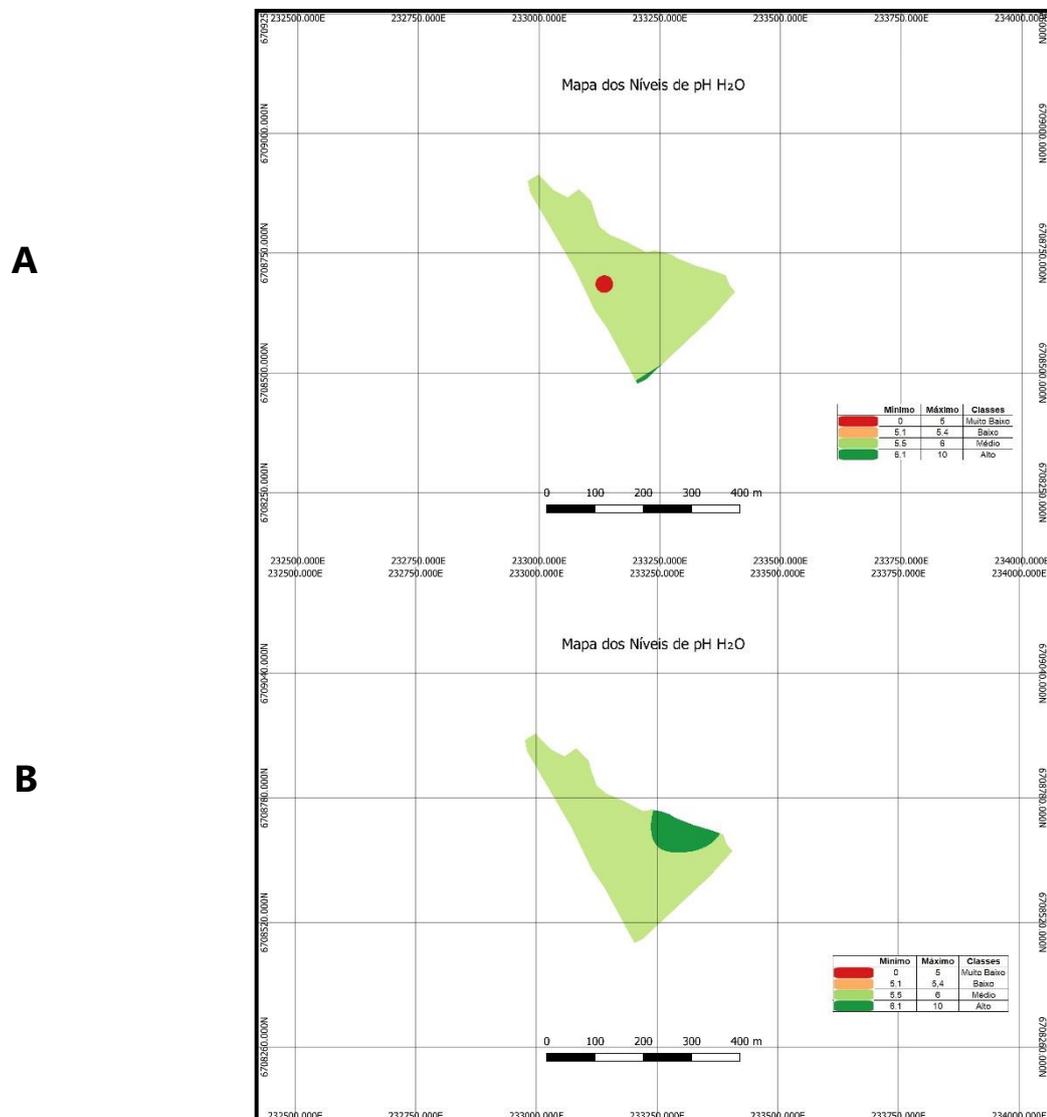
Figura 22 – Comparativo dos níveis de pH H<sub>2</sub>O (Diogo-Taquareira), nos anos de 2012 (A), 2017 (B) e 2020 (C).



A Figura 22 ilustra o comparativo dos níveis de pH (H<sub>2</sub>O). Ao fazer a média do pH (H<sub>2</sub>O), em 2012 (A) os talhões Diogo e Taquareira ficaram com a média de 5,3, em 2017 (B) com a média de 5,4 e em 2020 (C) com a média de 5,8.

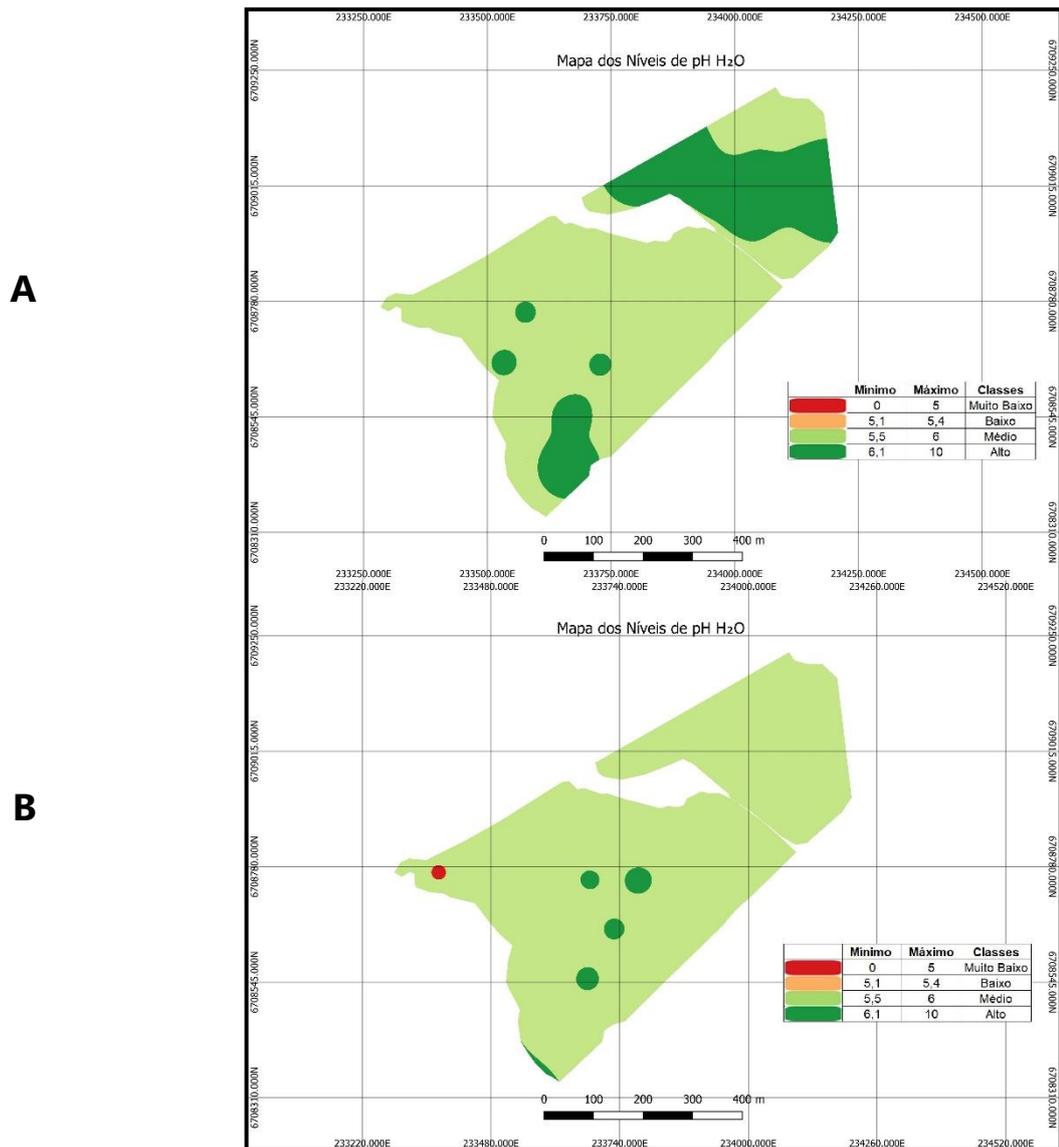
Ao analisar os talhões Erva-Mate (Figura 21) e Diogo-Taquareira (Figura 22), nota-se uma correção constante ao decorrer dos três anos de estudo, onde os níveis de fertilidade chegaram ao indicador de Muito Alto em 2017, mantendo a homogeneidade do pH em água. Gama (2004) diz que a acidez ativa apresenta diversas formas de ser representada, sendo o pH em água ainda bastante empregado por representar condições naturais. A avaliação do pH (H<sub>2</sub>O) para as áreas Erva-Mate e Diogo-Taquareira encontra-se no grau de reação entre moderadamente ácido e fortemente neutro.

Figura 23 – Comparativo dos níveis de pH H<sub>2</sub>O (Várzea), nos anos de 2012 (A) e 2020 (B).



A Figura 23 ilustra o comparativo dos níveis de pH ( $H_2O$ ), observou-se que em 2012 (A) o talhão Várzea ficou com a média de 4,9 e em 2020 (B) com a média de 5,2.

Figura 24 – Comparativo dos níveis de pH  $H_2O$  (Vossoroca Norte e Vossoroca Sul), nos anos de 2012 (A) e 2017 (B).

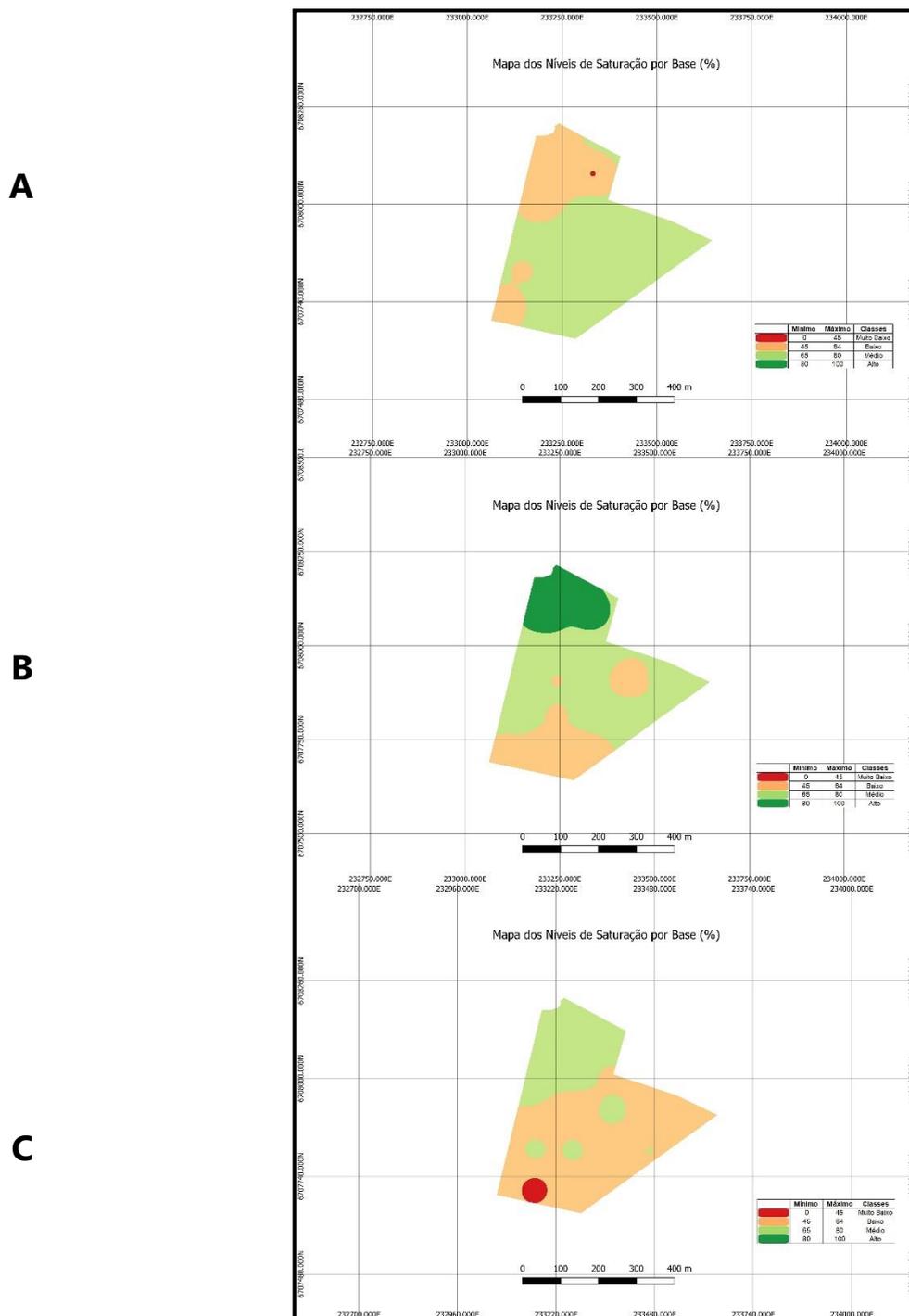


A Figura 24 ilustra o comparativo dos níveis de pH ( $H_2O$ ). Ao fazer a média do pH ( $H_2O$ ), em 2012 (A) os talhões Vossoroca Norte e Vossoroca Sul ficaram com a média de 5,1 e em 2017 (B) com a média de 5,3. Francisco *et. al.* (2021), obteve resultados das médias semelhantes, onde a média do pH para o ano de 2012 ficou em torno de 5,07 e no ano de 2017 de 5,34. A estratégia adotada foi a realização da

correção do pH nas áreas em defasagem a fim de manter a homogeneidade das áreas.

As Figuras 25, 26, 27 e 28 representam o comportamento da Saturação por Base (%) comparando os três anos de estudo (2012, 2017 e 2020).

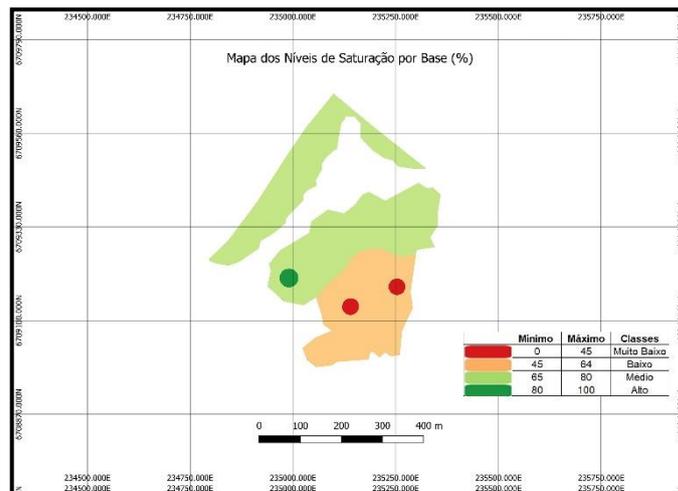
Figura 25 – Comparativo dos níveis de Saturação por Base (Erva-Mate), nos anos de 2012 (A), 2017 (B) e 2020 (C).



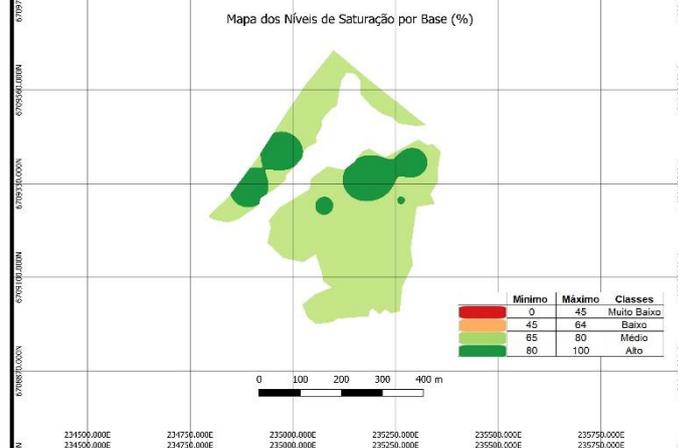
A Figura 25 ilustra o comparativo dos níveis de Saturação por Base (%). Ao fazer a média de saturação por base, em 2012 (A) o talhão Erva-Mate ficou com a média de 65,1, em 2017 (B) com a média de 68,6 e em 2020 (C) com a média de 61,6.

Figura 26 – Comparativo dos níveis de Saturação por Base (Diogo-Taquareira), nos anos de 2012 (A), 2017 (B) e 2020 (C).

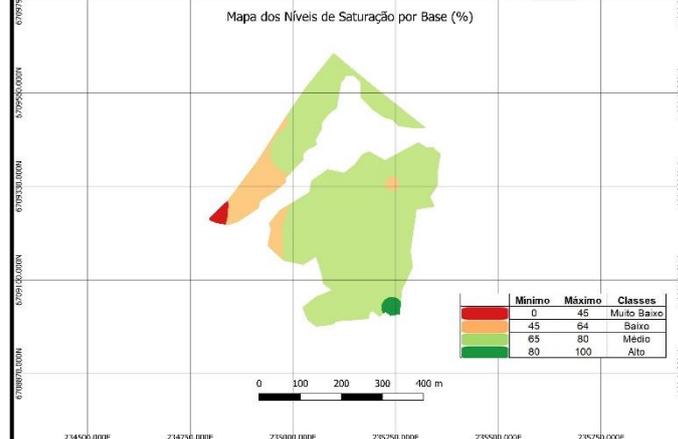
A



B

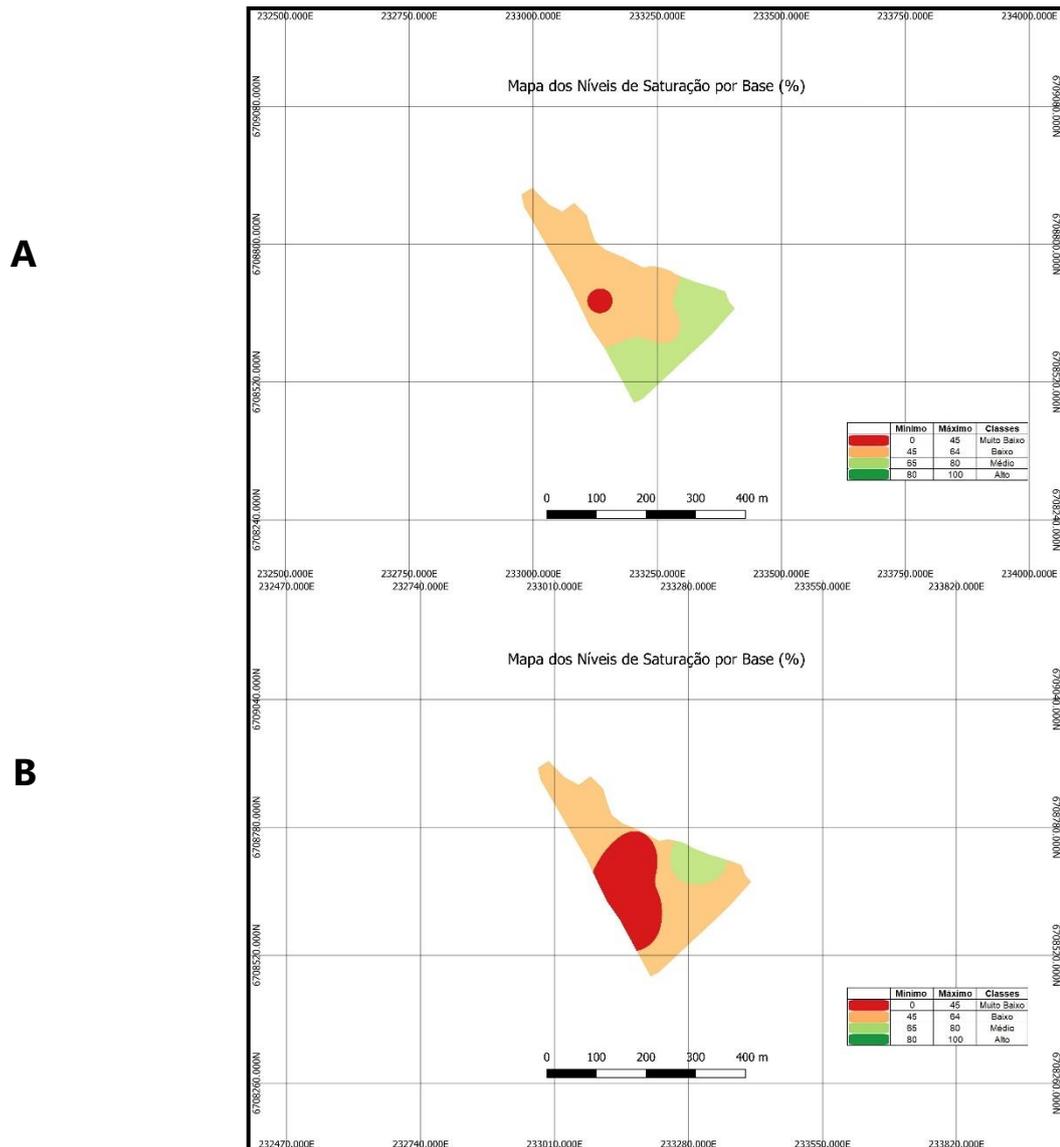


C



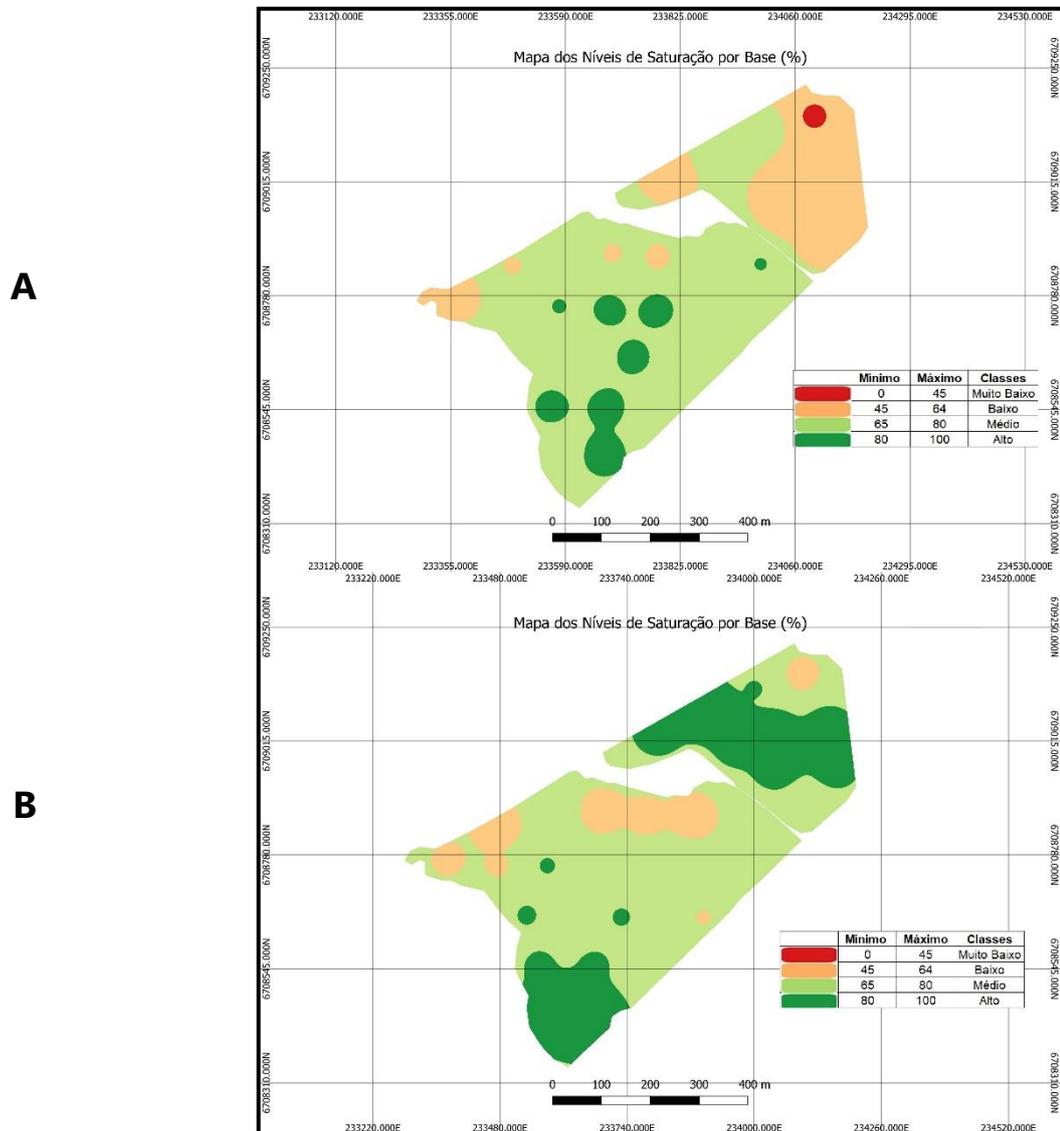
A Figura 26 ilustra o comparativo dos níveis de Saturação por Base. Ao fazer a média de saturação por base, em 2012 (A) os talhões Diogo e Taquaireira ficaram com a média de 65,9, em 2017 (B) com a média de 75,5 e em 2020 (C) com a média de 71.

Figura 27 – Comparativo dos níveis de Saturação por Base (Várzea), nos anos de 2012 (A) e 2020 (B).



A Figura 27 ilustra o comparativo dos níveis de Saturação por Base. Ao fazer a média de saturação por base, em 2012 (A) o talhão Várzea ficou com a média de 58,2 e em 2020 (B) com a média de 50,5.

Figura 28 – Comparativo dos níveis de Saturação por Base (Vossoroca Norte e Vossoroca Sul), nos anos de 2012 (A) e 2017 (B).



A Figura 28 ilustra o comparativo dos níveis de Saturação por Base. Ao fazer a média de saturação por base, em 2012 (A) os talhões Vossoroca Norte e Vossoroca Sul ficaram com a média de 69,4 e em 2017 (B) com a média de 73,9. Ao comparar os mapas é possível notar uma certa uniformidade entre os anos.

Wilda (2014) explica que está alternância de regiões contrastantes nos mapas a cada duas amostragens é plausível, ao se considerar que os processos de acidificação atuam continuamente nas áreas de cultivo, assim os locais que receberam menor quantidade do que não receberam corretivos em um ano, estão mais propensas a apresentar necessidades de corretivos em uma amostragem subsequente.

## 5 CONCLUSÃO

Foi possível entender que o estudo da variabilidade espacial tem grande importância na agricultura de precisão e possibilita fazer um manejo mais adequado da propriedade rural.

Ao fazer uma análise completa dos atributos químicos do solo, o estudo da variabilidade espacial é refletido em um manejo diferenciado para a área e pode-se otimizar o aproveitamento de recursos e diminuir os custos.

A aplicação de taxa variável reduziu significativamente a variabilidade espacial e temporal das áreas.

Os dados proporcionaram fazer uma análise geoestatística das zonas de manejo da área de estudo de três anos de amostragens (2012, 2017 e 2020), podendo analisar, principalmente, o comportamento dos atributos químicos do P, K, pH H<sub>2</sub>O e saturação por base no solo de interesse.

A possibilidade de gerar mapas relacionados aos sistemas de produção agrícola pode permitir a identificação de zonas homogêneas e conseqüentemente a aplicação de insumos e manejos localizados, auxiliando a tomada de decisão por parte do produtor e/ou técnico responsável.

## **6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

O presente trabalho obteve bons resultados quanto ao estudo da variabilidade espacial do P, K, pH e saturação por base nos três anos de amostragem, porém não demonstrou quais são os valores ideais para a correção de cada atributo químico da área. Sendo assim, seria extremamente relevante fazer um estudo mais aprofundado de indicações e recomendações técnicas de corretivos destes atributos químicos visando a maximização de controle e produtividade das propriedades rurais e a minimização de gastos desnecessários.

## REFERÊNCIAS

- ANDERL, R. Industrie 4.0 - Abordagens tecnológicas, uso casos e implementação. **Automatisierungstechnik**, v. 63, n. 10, p. 753-765, 2015.
- BERNARDI, A. **Agricultura de Precisão: um novo olhar**. São Paulo: Embrapa, p. 11, 2011.
- BERNARDI, A. C. C.; INAMASU, R.Y. **Adoção da agricultura de precisão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, p. 559-577, 2014.
- BOTTEGA, E. L. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.
- BOTTEGA, E. L. et al. Correlação entre condutividade elétrica aparente e atributos químicos e físicos de um Latossolo. **Comunicata Scientiae**, v.6, n.2, p. 134-142, 2015.
- CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 695-703, 2003.
- CHANG, J. et al. Different techniques to identify management zones impact nitrogen and phosphorus sampling variability. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, p. 1.550-9, 2003.
- CHENG, Y. T. et al. Distribuição espacial do fósforo total do solo em Yingwugou bacia hidrográfica do rio Dan, na China. **Catena**, n. 136, p. 175–181, 2016.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC. **Manual de Adubação e Calagem para o estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Porto Alegre: SBC/Núcleo Regional Sul. UFRGS, p. 404, 2004.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC. **Manual de Adubação e Calagem para o estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade

**Brasileira de Ciência do Solo**. Porto Alegre: SBC/Núcleo Regional Sul. UFRGS, p. 376, 2016.

DALCHIAVON, F. C. et al. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012.

DARILEK, J. L. et al. Mudanças nos parâmetros de fertilidade do solo e os efeitos ambientais em uma região em rápido desenvolvimento da China. **Agricultura, Ecossistemas e Meio ambiente**, n. 129, p. 286–292, 2009.

DELLAMEA, R. B. C. **Eficiência da adubação a taxa variável em áreas manejadas com agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. **GSLIB: Geostatistical software library and user's guide**. New York: Oxford University, p. 369, 1998.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Geotecnologias e Geoinformação: O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF, 2014.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo**. Aracaju, SE, 2015.

FILHO, G. B. R. et al. Potencial agroecológico do Município de Itacuruba, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, p. 172-184, 2016.

FRANCISCO, P. R. M. et al. **Tecnologias Aplicadas às Pesquisas GEO21**. 1. ed. Campina Grande: EPTEC, 2021.

FRANZEN, D. W. et al. Evaluation of soil survey scale for zone development of site-specific-nitrogen management. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 381-9, 2002.

GAMA, J. R. N. F. **Solos: manejo e interpretação**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, p. 183, 2004.

GARRIGUES, E. et al. Soil quality in life cycle assessment: towards development of an indicator. **Ecological Indicators**, v. 18, p. 434-442, 2012.

GIOTTO, E. et al. **Agricultura de Precisão no Sistema CR Campeiro 7**. 1. ed. Santa Maria: CESPOL, 2016.

GUARÇONI, A.; ALVAREZ, V. H; SOBREIRA, F. M. Fundamentação teórica dos sistemas de amostragem do solo de acordo com a variabilidade de características químicas. **Terra Latinoam.** vol. 35, n.4, 2017.

HOU, D. et al. Integrated GIS and multivariate statistical analysis for regional scale assessment of heavy metal soil contamination: A critical review. **Environmental Pollution**, v. 231, n. 1, p. 1188-1200, 2017.

INAMASU, R. Y. et al. **Agricultura de Precisão para a sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro.** Agricultura de Precisão: Um Novo Olhar, 2011.

ISPA. International Society of Precision Agriculture (Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão). **Definições de Agricultura de Precisão.** [S.I.] ASBRAP: Associação Brasileira de Agricultura de Precisão, 2019.

KLERKX, L.; ROSE, D. **Lidando com a mudança de tecnologias da Agricultura 4.0: Como podemos gerenciar a diversidade e responsabilidade nas vias de transição do sistema alimentar?** Segurança Alimentar Global, v. 24, 2020.

LIMA, G. C. et al. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, v. 18, n. 5, p. 517-526, 2014.

LIU Z. P.; SHAO M. A.; WANG Y. Q. Padrões espaciais do solo nitrogênio total e fósforo total do solo em toda a Região do planalto de Loess na China. **Geoderma**, v. 197, p. 67-78, 2013.

MACHADO, T. C. E. et al. Avaliação do uso e ocupação das áreas de preservação permanente nos anos de 2008 e 2013 na zona urbana de Humaitá, Amazonas. **Revista Universidade Vale do Rio Verde**, n. 15, p. 744-750, 2017.

MACHADO, J. et al. Agricultura de Precisão: Programas Tecnológicos no Brasil. **Revista Geama.** n. 4, p. 23-30, 2018.

MACHADO, P. R. **Gestão da variabilidade espacial de atributos químicos do solo com base na amostragem e taxa variável de fertilizantes e corretivos para a cultura da soja.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2019.

MAPA: MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Agricultura de Precisão**. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Brasília: Mapa/ACS, p. 35, 2013. Acesso em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/tecnologia-agropecuaria/agricultura-de-precisao-1/arquivos-de-agricultura-de-precisao/boletim-tecnico-agricultura-de-precisao-2013.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2021.

MARQUES JÚNIOR, J.; LEPSCH, I. F. Depósitos superficiais neocenoicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto - SP. **Geociência**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 90-106, 2000.

MELLONI, R. et al. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2461-2470, 2008.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2015. Disponível em: <<https://www.bibliotecaagppta.org.br/agricultura/precisao/livros/AGRICULTURA%20DE%20PRECISAO%20-%20OFICINA%20DE%20TEXTOS.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2021.

MONTANARI, R. et al. The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 5, p. 542-552, 2012.

MUNIZ, Y. S. et al. Análise da fertilidade do solo em área experimental da Universidade Estadual do Maranhão. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, 2018.

OLIVEIRA, I. R. O. et al. **Modelagem geoestatística das incertezas da distribuição espacial do fósforo disponível no solo, em área de cana-de-açúcar**. R. Bras. Ci. Solo. Curitiba, 2013.

OLIVEIRA, R. P. R.; GREGO, C. R.; BRANDÃO, Z. N. Geoestatística aplicada na Agricultura de Precisão utilizando Vesper. **Embrapa Solos**, 2015.

QUILCHANO, C. et al. Padrões e ecologia consequências da heterogeneidade abiótica na cortiça manejada florestas de carvalho do sul da Espanha. **Ecological Research**, n. 23, p. 127-139, 2008.

PANTANO, G. et al. Sustentabilidade no uso do Fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. **Química Nova**, v. 39, n. 6, p. 732–740, 2016.

PEREIRA, H. S. Fósforo e Potássio exigem manejos diferenciados. **Visão Agrícola**, nº 9, 2009.

RESENDE, A. V. et al. **Agricultura de precisão no Brasil: Avanços, Dificuldades, e Impactos no Manejo e Conservação do Solo, Segurança Alimentar e Sustentabilidade**. Teresina-PI, 2010.

RESENDE, A. V., COELHO, A. M. Amostragem para mapeamento e manejo da fertilidade do solo na abordagem de Agricultura de Precisão. **Embrapa Milho e Sorgo**, 2017.

RICHART, A. et al. Análise espaço-temporal de atributos químicos do solo influenciados pela aplicação de calcário de cloreto de potássio em taxa variável. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 4, 2016.

SANTOS, L. B. **Viabilidade econômica da implantação de agricultura de precisão na cultura do arroz irrigado em Cachoeira do Sul/RS**. Dissertação (mestrado), Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Universidade Federal de Santa Maria, 2014. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ppgap/images/dissertacoes/2014/Lucas-Bauer-dos-Santos.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2021.

SANTOS, C. L. R. et al. Critérios para amostragem de solo. In: FLORES, R. A., CUNHA, P. P. (Org.), **Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no cerrado**. Gráfica UFG, Goiânia, p. 107-124, 2016.

SCALON, L. Q. **Variabilidade espacial da fertilidade do solo e mapas de recomendação**. Universidade Federal da Grande Dourados. Faculdade de Ciências Agrárias. Dourados – MS, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/4422/1/LourencoQuintaoScalon.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2022.

SCHWALBERT, R. A.; CORASSA, G. M.; AMADO, T. J. C. **Definição de zonas de manejo utilizando “multi-layers” e sensoriamento “on-the-go”**: definições e usos. In: SANTI, A. L. et al. **Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul**. 1. ed. Santa Maria: CESPOL, p. 233-249, 2016.

SILVA, E. N. S. et al. Variabilidade de atributos físicos e químicos do solo e produção de feijoeiro cultivado em sistema de cultivo mínimo com irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 598-607, 2015.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. Avaliação da variabilidade do estado nutricional e produtividade de café por meio da análise de componentes principais e geoestatística. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 271-277, 2012.

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**, v. 34, p. 15-22, 2010.

SOUSA, S. S.; MOREIRA, S. G.; CASTRO, G. F. **Avaliação do solo por Agricultura de Precisão e Convencional**. Sete Lagoas, MG, 2016.

SOUZA, Z. M. et al. Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo. **Ciência Rural**, v. 44, n. 2, p. 261-268, 2014.

VASCONCELOS, C. A. et al. Produtividade em alta. **Revista Cultivar**, 2015. Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/artigos/produtividade-em-alta>>. Acesso em: 08 mar. 2022.

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

WANG, B. H. et al. Improvement of soil nutrient management via information technology. **Better Crops**, Norcross, v. 90, n. 3, p. 30-2, 2006.

WANG, H. J. et al. Fatores que determinam os nutrientes da solo distribuição em uma bacia hidrográfica de pequena escala no solo roxo região da província de Sichuan, China. **Pesquisa de preparo do solo**, v. 105, p. 300-306, 2009.

WANG, B. et al. Mudanças nas atividades de nutrientes e enzimas do solo sob diferentes vegetações na área do planalto de Loess, noroeste China. **Catena**, v. 92, p. 186-195, 2012.

WILDA, L. R. M. **Amostragem georreferenciada e aplicação a taxa variável de corretivos e fertilizantes**: dinâmica da fertilidade do solo em lavouras de grãos do

cerrado. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

YANG, Y. H. et al. Estequiométricos mudanças nos solos superficiais em amplas escalas geográficas. **Global and Biogeography**, n. 23, p. 947-955, 2014.

YAZDANI, M. et al. Um sistema de apoio à tomada de decisão em grupo em logística e gestão da cadeia de abastecimento. **Sistemas especialistas com aplicativos**, v. 88, p. 376-392, 2017.

YUAN, J. et al. Urbanização, desenvolvimento rural e saúde ambiental na China. **Desenvolvimento Ambiental**, v. 28, p. 101-110, 2018.

ZHAI, Z. et al. Decision support systems for agriculture 4.0: survey and challenges. **E3S Web of Conferences**, 2020.

Tabela 1 - Apêndice A: Análise descritiva dos atributos químicos do solo para o Ano de 2012.

X	Y	Gleba	Ponto	Argila	Textura	pHH2O	Índice SMP	P (mg/L)	K (mg/L)	K (cmol/L)	M.O. (%)	Al (cmol/L)	Ca (cmol/L)	Mg (cmol/L)	H+Al (cmol/L)	CTC ef	CTC ph7	Saturação bases(%)	Saturação Al(%)	Relações Ca/Mg	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	S (mg/L)	B (mg/L)
233251.98	6708155.33	ERVA MATE	1	23	3	5,0	5,3	17,1	140	0,36	3,5	0,5	5,1	2,5	9,7	8,4	17,6	45,0	6,0	2,1	1,2	1,0	17,0	0,2
233214.07	6708087.08	ERVA MATE	2	16	4	5,2	6,0	14,4	88	0,23	2,6	0,2	4,3	1,6	4,4	6,3	10,5	58,1	3,2	2,6	1,6	1,0	24,0	0,5
233331.06	6708080.59	ERVA MATE	3	21	3	4,8	5,4	76,0	156	0,40	3,4	0,5	4,7	1,7	8,7	7,3	15,5	43,8	6,8	2,8	8,5	1,9	26,0	0,6
233204.32	6707996.09	ERVA MATE	4	16	4	5,1	5,9	25,8	96	0,25	2,4	0,4	3,9	1,6	4,9	6,2	10,7	53,8	6,5	2,4	1,0	0,7	21,0	0,4
233323.48	6707987.43	ERVA MATE	5	20	3	5,6	6,0	18,9	104	0,27	2,9	0,0	6,0	2,4	4,4	8,7	13,1	66,4	0,0	2,5	1,9	1,1	16,0	0,3
233242.23	6707908.35	ERVA MATE	6	20	3	5,7	6,1	14,4	128	0,33	3,4	0,0	7,5	3,6	3,9	11,5	15,4	74,6	0,0	2,1	1,6	1,0	14,0	0,5
233341.89	6707905.10	ERVA MATE	7	18	4	5,6	6,0	43,3	160	0,41	3,3	0,0	8,7	3,5	4,4	12,6	17,0	74,2	0,0	2,5	3,5	1,4	16,0	0,2
233431.80	6707909.44	ERVA MATE	8	12	4	6,0	6,4	18,9	84	0,22	2,5	0,0	6,0	2,5	2,8	8,7	11,5	75,3	0,0	2,4	0,8	0,8	15,0	0,1
233520.62	6707919.18	ERVA MATE	9	20	3	5,2	5,8	18,9	180	0,46	3,2	0,2	6,6	3,3	5,5	10,6	15,9	65,2	1,9	2,0	0,6	0,9	15,0	0,1
233151.24	6707821.69	ERVA MATE	10	23	3	5,1	5,7	8,4	56	0,14	3,3	0,4	6,2	3,4	6,2	10,1	15,9	61,2	4,0	1,9	1,3	0,9	14,0	0,3
233242.23	6707817.36	ERVA MATE	11	14	4	5,7	6,3	18,9	176	0,45	4,1	0,0	6,7	2,8	3,1	10,0	13,1	76,1	0,0	2,4	1,3	0,7	13,0	0,5
233335.39	6707815.20	ERVA MATE	12	14	4	5,7	6,2	17,1	124	0,32	2,9	0,0	5,9	2,6	3,5	8,8	12,3	71,3	0,0	2,3	0,8	0,7	11,0	0,2
233428.55	6707811.95	ERVA MATE	13	19	4	5,3	6,0	29,0	140	0,36	3,7	0,1	8,3	4,2	4,4	13,0	17,3	74,3	0,8	2,0	1,0	0,5	13,0	0,3
233315.89	6707718.79	ERVA MATE	14	21	3	5,5	5,9	10,9	76	0,19	3,4	0,0	7,1	3,8	4,9	11,0	15,9	69,4	0,0	1,9	0,6	0,7	11,0	0,4
233215.15	6707709.04	ERVA MATE	15	23	3	5,7	6,1	14,4	68	0,17	3,0	0,0	8,8	5,1	3,9	14,1	18,0	78,3	0,0	1,7	0,7	0,7	12,0	0,3
233116.58	6707723.12	ERVA MATE	16	20	3	5,1	5,8	18,0	80	0,21	2,6	0,1	4,4	2,0	5,5	6,8	12,2	54,8	1,5	2,2	0,6	0,7	17,0	0,1
234898.7	6709311.04	DIOGO	1	28	3	5,4	5,8	5,3	80	0,205	2,8	0,1	10,9	5,7	5,5	16,9	22,3	75,2	0,6	1,9	0,3	0,3	20,0	0,3
234978.65	6709411.81	DIOGO	2	34	3	5,2	5,6	6,8	208	0,532	3,2	0,7	15,1	6,6	6,9	22,9	29,1	76,3	3,1	2,3	0,1	0,3	18,0	0,1
235079.42	6709550.05	DIOGO	3	27	3	5,5	5,9	39,4	96	0,246	3,5	0,1	10,9	5,7	4,9	16,9	21,7	77,6	0,6	1,9	6,0	0,6	20,0	0,1
234992.51	6709204.33	TAQUAREIRA	1	19	4	6,0	6,3	12,6	112	0,286	3,7	0,0	8,9	4,5	3,1	13,7	16,8	81,8	0,0	2,0	0,6	0,2	13,0	0,1
235074.66	6709272.65	TAQUAREIRA	2	24	3	5,9	6,1	18,9	132	0,338	4,1	0,0	9,9	5,0	3,9	15,3	19,2	79,5	0,0	2,0	0,8	0,4	14,0	0,2
235181.04	6709331.46	TAQUAREIRA	3	26	3	5,7	5,9	24,8	168	0,43	4,6	0,0	12,1	6,6	4,9	19,1	24,0	79,4	0,0	1,8	1,3	0,3	16,0	0,1
235290.87	6709379.89	TAQUAREIRA	4	30	3	5,4	5,8	18,9	172	0,44	2,8	0,1	11,6	6,0	5,5	18,1	23,5	76,7	0,6	1,9	0,7	0,6	20,0	0,1
235263.20	6709288.21	TAQUAREIRA	5	23	3	5,1	5,7	62,8	300	0,767	3,5	0,1	8,9	2,8	6,2	12,5	18,6	66,8	0,8	3,2	15,2	2,1	20,0	0,1
235189.69	6709234.59	TAQUAREIRA	6	28	3	4,8	5,2	27,9	312	0,798	3,3	1,3	8,1	4,2	10,9	14,4	24,0	54,4	9,0	1,9	3,0	0,6	20,0	0,1
235251.95	6709184.43	TAQUAREIRA	7	24	3	4,7	5,3	12,6	184	0,471	2,5	1,5	4,2	1,9	9,7	8,1	16,3	40,6	18,5	2,2	0,4	0,5	20,0	0,1
235140.39	6709135.14	TAQUAREIRA	8	29	3	4,7	5,0	8,4	104	0,266	3,5	2,3	5,9	3,3	13,7	11,8	23,2	40,8	19,5	1,8	0,2	0,4	22,0	0,2
235219.96	6709087.57	TAQUAREIRA	9	24	3	5,1	5,7	18,0	96	0,246	2,8	0,5	5,5	2,6	6,2	8,8	14,5	57,5	5,7	2,1	0,6	0,4	14,0	0,6
235142.12	6709029.63	TAQUAREIRA	10	25	3	4,8	5,4	12,6	184	0,471	3,5	0,8	5,7	2,7	8,7	9,7	17,6	50,3	8,2	2,1	1,1	0,4	30,0	0,3
233048.34	6708834.18	VARZEA	1	17	4	4,5	5,8	9,3	56	0,143	2,6	0,8	5,0	1,8	5,5	7,7	12,4	56,0	10,4	2,7	1,5	1,1	16,0	0,1
233109.73	6708769.33	VARZEA	2	20	3	4,6	5,6	11,8	108	0,276	3,0	1,0	5,4	2,4	6,9	9,1	15,0	53,9	11,0	2,2	1,0	1,0	22,0	0,1
233135.67	6708685.45	VARZEA	3	19	4	4,4	5,2	8,4	68	0,174	3,9	1,7	4,4	2,0	10,9	8,3	17,5	37,6	20,5	2,2	1,5	1,0	20,0	0,4
233231.65	6708724.36	VARZEA	4	18	4	4,9	5,5	5,3	60	0,153	4,0	0,6	6,3	3,3	7,7	10,3	17,4	55,7	5,8	1,9	1,0	1,2	19,0	0,5
233264.51	6708632.71	VARZEA	5	20	3	4,8	5,4	6,8	56	0,143	3,2	0,6	7,6	3,7	8,7	12,1	20,2	56,8	5,0	2,1	0,6	0,8	15,0	0,3
233355.30	6708660.38	VARZEA	6	20	3	5,5	5,9	6,8	60	0,153	3,8	0,0	10,5	5,6	4,9	16,2	21,1	76,9	0,0	1,9	0,9	0,8	14,0	0,5
233223.87	6708520.30	VARZEA	7	15	4	5,5	6,0	8,4	120	0,307	2,8	0,0	6,8	3,4	4,4	10,5	14,9	70,6	0,0	2,0	1,5	0,7	17,0	0,5
233800.90	6709026.37	VOSSOROCA NORTE	1	27	3	4,7	5,1	9,3	100	0,256	3,5	1,8	10,0	4,3	12,3	16,4	26,9	54,1	11,0	2,4	0,6	0,6	18,0	0,1
233898.15	6709073.00	VOSSOROCA NORTE	2	21	3	5,0	5,9	16,2	88	0,174	2,6	0,2	7,0	3,1	4,9	10,4	15,1	67,7	1,9	2,3	0,6	0,6	18,0	0,1
233961.65	6709002.55	VOSSOROCA NORTE	3	24	3	4,9	5,5	13,5	120	0,307	3,3	0,6	9,0	4,1	7,7	14,0	21,1	63,5	4,3	2,2	0,7	0,5	18,0	0,3
234042.03	6708955.92	VOSSOROCA NORTE	4	19	4	4,6	5,2	76,0	100	0,256	3,7	1,0	7,4	3,0	10,9	11,7	21,6	49,5	8,5	2,5	10,1	1,5	22,0	0,1
234097.59	6708880.50	VOSSOROCA NORTE	5	18	4	4,8	5,4	76,0	164	0,419	3,8	0,2	9,0	3,6	8,7	13,2	21,7	60,1	1,5	2,5	12,8	2,0	20,0	0,1
234160.11	6708958.89	VOSSOROCA NORTE	6	20	3	4,7	5,3	31,2	84	0,215	2,9	0,8	7,9	2,9	9,7	11,8	20,7	53,1	6,8	2,7	3,9	0,8	21,0	0,1
234145.22	6709049.19	VOSSOROCA NORTE	7	20	3	4,8	5,4	11,8	136	0,348	3,3	0,8	6,3	2,9	8,7	10,4	18,3	52,3	7,7	2,2	0,7	0,7	20,0	0,2
234050.96	6709039.27	VOSSOROCA NORTE	8	23	3	4,9	5,5	19,9	136	0,348	3,2	0,3	9,5	3,4	7,7	13,6	21,0	63,3	2,2	2,8	0,6	0,4	22,0	0,1
234003.33	6709123.61	VOSSOROCA NORTE	9	24	3	5,0	5,7	10,1	160	0,409	3,8	0,2	10,8	4,1	6,2	15,6	21,6	71,2	1,3	2,6	0,8	0,6	20,0	0,2
234097.59	6709148.42	VOSSOROCA NORTE	10	23	3	4,6	5,0	5,3	84	0,215	2,6	2,2	5,8	2,8	13,7	11,0	22,5	39,1	20,0	2,1	0,7	0,4	20,0	0,2
233483.34	6708840.87	VOSSOROCA SUL	1	19	4	4,8	5,5	14,4	64	0,164	3,9	0,5	8,6	3,5	7,7	12,8	20,0	61,6	3,9	2,5	0,9	0,4	17,0	0,5
233584.26	6708862.60	VOSSOROCA SUL	2	24	3	5,2	5,8	13,5	104	0,266	4,1	0,1	13,0	5,9	5,5	19,4	24,8	77,7	0,5	2,2	0,9	0,4	20,0	0,2
233685.18	6708865.71	VOSSOROCA SUL	3	20	3	4,9	5,5	6,0	64	0,164	3,3	0,5	8,3	3,6	7,7	12,6	19,8	61,1	4,0	2,3	0,6	0,4	17,0	0,5
233778.33	6708856.39	VOSSOROCA SUL	4	20	3	4,9	5,5	8,4	88	0,225	3,5	0,4	7,7	3,4	7,7	11,7	19,0	59,4	3,4	2,3	0,7	0,4	20,0	0,5
233879.25	6708862.60	VOSSOROCA SUL	5	22	3	5,0	5,6	6,0	104	0,266	3,3	0,4	8,7	3,5	6,9	12,8	19,3	64,3	3,1	2,5	0,7	0,4	18,0	0,4
233989.48	6708845.52	VOSSOROCA SUL	6	22	3	5,3	6,1	6,0	124	0,317	3,5	0,1	11,3	5,0	3,9	16,7	20,5	81,1	0,6	2,3	0,7	0,2	17,0	0,3
233981.72	6708758.58	VOSSOROCA SUL	7	22	3	5,3	5,7	8,4	144	0,368	3,9	0,2	11,8	5,6	6,2	18,0	24,0	74,1	1,1	2,1	1,0	0,2	17,0	0,5
233874.59	6708757.03	VOSSOROCA SUL	8	18	4	5,4	6,1	6,0	120	0,307	2,7	0,1	7,6	3,5	3,9	11,5	15,3	74,3	0,9	2,2	0,7	0,4	16,0	0,4
233778.33	6708753.92	VOSSOROCA SUL	9	21	3	5,7	6,2	10,1	132															

Tabela 2 - Apêndice B: Análise descritiva dos atributos químicos do solo para o Ano de 2017.

X	Y	Gleba	Ponto	Argila	Textura	pH <sub>H2O</sub>	Índice SMP	P (mg/L)	K (mg/L)	K (cmol/L)	M.O. (%)	Al (cmol/L)	Ca (cmol/L)	Mg (cmol/L)	H+Al (cmol/L)	CTC ef	CTC pH7	Saturação bases(%)	Saturação Al(%)	Relações Ca/Mg	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	S (mg/L)	B (mg/L)
233251.98	6708155.33	ERVA MATE	1	18	4	6,2	6,6	22,4	208	0,53	3,7	0,0	9,7	4,0	2,2	14,2	16,4	86,6	0,0	2,4	2,4	0,6	11,8	0,2
233214.07	6708087.08	ERVA MATE	2	14	4	6,5	7,2	24,1	164	0,42	3,6	0,0	8,4	3,0	1,1	11,8	12,9	91,1	0,0	2,8	2,1	0,6	11,9	0,3
233331.06	6708080.59	ERVA MATE	3	15	4	6,1	6,7	31,4	224	0,57	3,6	0,0	9,2	3,4	2,0	13,2	15,2	86,6	0,0	2,7	2,3	0,6	12,8	0,3
233204.32	6707996.09	ERVA MATE	4	15	4	5,7	6,3	30,4	168	0,43	3,4	0,0	7,6	2,9	3,1	10,9	14,0	78,1	0,0	2,6	1,6	0,8	12,3	0,3
233323.48	6707987.43	ERVA MATE	5	15	4	5,6	6,2	18,7	184	0,47	2,9	0,0	7,7	2,7	3,5	10,8	14,3	75,5	0,0	2,9	1,6	0,7	12,2	0,3
233242.23	6707908.35	ERVA MATE	6	19	4	4,9	5,7	11,8	232	0,59	4,0	0,2	7,4	2,4	6,2	10,6	16,6	62,5	1,9	3,1	2,2	0,7	11,6	0,2
233341.89	6707905.10	ERVA MATE	7	18	4	4,7	6,0	18,3	164	0,42	3,3	0,3	6,0	1,5	4,4	8,3	12,4	64,5	3,6	3,9	2,7	1,0	11,7	0,2
233431.80	6707909.44	ERVA MATE	8	15	4	4,6	5,6	31,2	152	0,39	3,2	0,4	4,8	1,2	6,9	6,8	13,3	47,9	5,9	4,1	1,1	0,5	11,8	0,3
233520.62	6707919.18	ERVA MATE	9	22	3	5,3	5,9	17,0	140	0,36	2,6	0,1	7,0	2,9	4,9	10,4	15,2	68,0	1,0	2,4	0,8	0,5	12,0	0,2
233151.24	6707821.69	ERVA MATE	10	24	3	5,4	5,9	8,7	128	0,33	2,8	0,1	8,2	3,4	4,9	12,1	16,9	70,8	0,8	2,4	0,4	0,7	11,7	0,2
233242.23	6707817.36	ERVA MATE	11	24	3	5,1	5,8	6,6	164	0,42	2,2	0,1	6,5	1,9	5,5	8,9	14,3	61,6	1,1	3,4	0,2	0,8	11,5	0,3
233335.39	6707815.20	ERVA MATE	12	19	4	5,4	6,4	7,5	84	0,22	2,2	0,1	5,8	1,7	2,8	7,9	10,6	73,2	1,3	3,4	0,5	0,8	11,5	0,4
233428.55	6707811.95	ERVA MATE	13	18	4	5,6	6,5	8,0	76	0,19	2,1	0,0	6,2	2,1	2,5	8,5	11,0	77,1	0,0	2,9	0,3	0,4	11,5	0,3
233315.89	6707718.79	ERVA MATE	14	21	3	4,7	5,7	2,5	92	0,24	2,3	0,9	4,0	1,3	6,2	6,4	11,7	47,1	14,1	3,0	0,4	0,4	11,4	0,3
233215.15	6707709.04	ERVA MATE	15	24	3	4,5	5,2	2,7	136	0,35	2,7	0,7	6,9	2,3	10,9	10,3	20,5	46,7	6,8	3,0	1,5	1,0	11,8	0,2
233116.58	6707723.12	ERVA MATE	16	22	3	5,1	5,8	6,6	84	0,22	1,8	0,3	5,8	2,6	5,5	9,0	14,2	61,0	3,3	2,2	0,5	0,7	11,9	0,1
234898.7	6709311.04	DIOGO	1	30	3	5,5	6,0	11,3	136	0,35	3,2	0,0	13,0	6,5	4,4	19,8	24,2	81,7	0,0	2,0	0,6	0,4	12,4	0,2
234978.65	6709411.81	DIOGO	2	33	3	5,4	5,8	16,1	184	0,47	3,1	0,2	16,2	7,5	5,5	24,3	29,6	81,6	0,8	2,2	3,0	1,8	16,3	0,2
235079.42	6709550.05	DIOGO	3	29	3	5,1	5,7	5,8	128	0,33	2,9	0,3	9,0	4,0	6,2	13,7	19,6	68,3	2,2	2,2	1,9	0,9	12,2	0,2
234992.51	6709204.33	TAQUAREIRA	1	24	3	5,1	5,8	11,3	120	0,31	3,0	0,2	7,4	2,6	5,5	10,4	15,7	65,2	1,9	2,9	0,6	0,4	12,1	0,3
235074.66	6709272.65	TAQUAREIRA	2	25	3	5,5	6,3	12,2	132	0,34	3,3	0,0	8,8	3,6	3,1	12,7	15,8	80,5	0,0	2,5	0,8	0,4	12,7	0,2
235181.04	6709331.46	TAQUAREIRA	3	29	3	5,6	6,2	4,9	180	0,46	3,0	0,0	12,4	5,7	3,5	18,6	22,1	84,0	0,0	2,2	1,3	0,7	12,0	0,2
235290.87	6709379.89	TAQUAREIRA	4	30	3	5,7	6,0	18,9	168	0,43	2,6	0,0	12,0	5,5	4,4	18,0	22,4	80,2	0,0	2,2	1,2	0,5	12,9	0,1
235263.20	6709288.21	TAQUAREIRA	5	23	3	5,6	6,1	22,0	356	0,91	2,8	0,0	10,9	3,6	3,9	15,4	19,3	79,6	0,0	3,0	20,6	1,9	12,7	0,2
235189.69	6709234.59	TAQUAREIRA	6	31	3	5,4	5,8	9,2	316	0,81	3,2	0,1	12,0	6,1	5,5	19,0	24,4	77,6	0,5	2,0	1,8	0,3	18,1	0,2
235251.95	6709184.43	TAQUAREIRA	7	26	3	5,4	6,1	14,9	188	0,48	2,6	0,1	7,3	3,3	3,9	11,2	15,0	73,8	0,9	2,3	0,6	0,4	12,4	0,2
235140.39	6709135.14	TAQUAREIRA	8	27	3	5,2	5,6	8,5	96	0,25	3,0	0,4	9,4	4,6	6,9	14,6	21,1	67,3	2,7	2,1	0,2	0,5	12,8	0,3
235219.96	6709087.57	TAQUAREIRA	9	25	3	5,4	5,9	27,2	156	0,40	2,8	0,1	7,9	3,5	4,9	11,9	16,7	70,6	0,8	2,3	0,6	0,5	11,9	0,3
235142.12	6709029.63	TAQUAREIRA	10	25	3	5,4	5,8	10,5	112	0,29	2,8	0,1	8,8	4,2	5,5	13,4	18,8	70,5	0,7	2,1	0,6	0,6	11,8	0,2
233800.90	6709026.37	VOSSOROCA NORTE	1	24	3	5,9	6,3	18,2	160	0,41	1,6	0,0	15,8	6,0	3,1	22,2	25,3	87,8	0,0	2,7	1,1	0,3	13,9	0,2
233898.15	6709073.00	VOSSOROCA NORTE	2	18	4	5,9	6,7	37,3	140	0,36	1,1	0,0	10,4	3,8	2,0	14,6	16,6	88,0	0,0	2,7	1,3	0,3	13,7	0,2
233961.65	6709002.55	VOSSOROCA NORTE	3	21	3	5,7	6,3	16,4	192	0,49	1,9	0,0	12,6	4,9	3,1	18,0	21,1	85,3	0,0	2,6	1,2	0,2	13,6	0,1
234042.03	6708955.92	VOSSOROCA NORTE	4	19	4	6,1	6,7	27,8	128	0,33	3,0	0,0	11,1	4,2	2,0	15,7	17,7	88,6	0,0	2,6	3,1	0,4	10,4	0,1
234097.59	6708880.50	VOSSOROCA NORTE	5	22	3	5,1	5,8	49,3	104	0,27	1,9	0,2	10,4	3,7	5,5	14,6	19,9	72,3	1,4	2,8	5,3	0,9	10,6	0,2
234160.11	6708958.89	VOSSOROCA NORTE	6	21	3	5,7	6,3	30,6	116	0,30	1,4	0,0	10,9	3,7	3,1	14,9	18,0	82,9	0,0	3,0	1,9	0,3	10,5	0,2
234145.22	6709049.19	VOSSOROCA NORTE	7	24	3	5,9	6,4	11,3	148	0,38	1,7	0,0	11,3	4,4	2,8	16,1	18,9	84,9	0,0	2,5	0,6	0,1	13,2	0,1
234050.96	6709039.27	VOSSOROCA NORTE	8	24	3	5,8	6,4	15,2	116	0,30	1,1	0,0	11,2	4,0	2,8	15,5	18,3	84,9	0,0	2,8	0,3	0,3	16,4	0,2
234003.33	6709123.61	VOSSOROCA NORTE	9	26	3	5,3	6,0	16,7	148	0,38	1,1	0,1	12,7	4,5	4,4	17,7	22,0	80,0	0,6	2,8	1,0	0,3	12,0	0,2
234097.59	6709148.42	VOSSOROCA NORTE	10	25	3	4,8	5,3	7,5	116	0,30	1,2	0,7	8,3	3,1	9,7	12,4	21,4	54,5	5,6	2,7	0,8	0,3	13,7	0,1
233483.34	6708840.87	VOSSOROCA SUL	1	24	3	4,8	5,4	8,5	72	0,18	2,7	0,8	6,6	2,5	8,7	10,1	18,0	51,7	7,9	2,6	0,6	0,4	10,4	0,1
233584.26	6708862.60	VOSSOROCA SUL	2	28	3	5,5	5,9	16,2	76	0,19	2,7	0,0	10,8	4,9	4,9	15,9	20,8	76,3	0,0	2,2	0,9	0,5	10,1	0,1
233685.18	6708865.71	VOSSOROCA SUL	3	24	3	5,0	5,4	3,7	60	0,15	2,7	1,0	6,2	2,6	8,7	10,0	17,7	50,8	10,0	2,3	0,7	0,6	12,1	0,2
233778.33	6708856.39	VOSSOROCA SUL	4	25	3	4,7	5,7	11,8	112	0,29	2,2	1,6	5,3	2,1	6,2	9,3	13,9	55,5	17,2	2,5	0,7	0,7	17,6	0,1
233879.25	6708862.60	VOSSOROCA SUL	5	25	3	4,6	5,2	10,1	96	0,25	2,5	1,4	6,8	2,5	10,9	11,0	20,5	46,9	12,7	2,7	0,6	0,3	15,5	0,1
233989.48	6708845.52	VOSSOROCA SUL	6	24	3	5,1	5,6	6,0	88	0,23	2,2	0,6	8,4	3,5	6,9	12,7	19,0	63,8	4,7	2,4	0,4	0,2	14,0	0,1
233981.72	6708758.58	VOSSOROCA SUL	7	24	3	5,2	6,0	7,7	64	0,16	2,5	0,2	9,1	4,2	4,4	13,7	17,9	75,2	1,5	2,1	0,7	0,1	15,6	0,3
233874.59	6708757.03	VOSSOROCA SUL	8	23	3	5,2	5,9	8,8	80	0,21	3,2	0,2	6,7	2,6	4,9	9,8	14,5	65,9	2,0	2,5	0,7	0,4	13,6	0,2
233778.33	6708753.92	VOSSOROCA SUL	9	26	3	5,2	5,9	15,8	128	0,33	2,5	0,4	11,8	4,7	4,9	17,2	21,7	77,5	2,3	2,5	1,0	0,3	11,0	0,2
233678.97	6708753.92	VOSSOROCA SUL	10	26	3	5,2	5,6	8,0	104	0,27	2,9	0,3	10,6	5,1	6,9	16,2	22,8	69,9	1,9	2,1	1,7	0,4	13,3	0,1
233576.50	6708758.58	VOSSOROCA SUL	11	27	3	5,6	5,9	10,6	124	0,32	2,8	0,0	14,3	6,8	4,9	21,4	26,3	81,4	0,0	2,1	0,8	0,5	15,6	0,1
233477.13	6708755.48	VOSSOROCA SUL	12	24	3	5,0	5,6	8,2	44	0,11	2,6	0,4	7,5	3,2	6,9	11,3	17,8	61,1	3,5	2,3	0,4	0,5	14,6	0,1
233374.66	6708767.90	VOSSOROCA SUL	13	20	4	4,7	5,7	15,9	92	0,24	2,7	0,6	6,8	2,7	6,2	10,3	15,9	61,3	5,8	2,5	0,4	0,4	11,9	0,1
233534.58	6708657.66	VOSSOROCA SUL	14	22	3	5,6	6,2	41,3	120	0,31	2,6	0,0	9,8	4,9	3,5	15,0	18,5	81,0	0,0	2,0	1,2	0,8	13,2	0,2
233629.28	6708654.56	VOSSOROCA SUL	15	23	3	5,2	6,0	12,9	96	0,25	2,5	0,1	9,9	4,9	4,4	15,1	19,4	77,3	0,7	2,0	0,6	0,6	12,1	0,1
233728.65	6708653.00	VOSSOROCA SUL	16	18	4	5,6	6,3	21,1	108															

Tabela 3 - Apêndice C: Análise descritiva dos atributos químicos do solo para o Ano de 2020.

X	Y	Gleba	Ponto	Argila	Textura	pH <sub>H2O</sub>	Índice SMP	P (mg/L)	K (mg/L)	K (cmolc/L)	M.O. (%)	Al (cmolc/L)	Ca (cmolc/L)	Mg (cmolc/L)	H+Al (cmolc/L)	CTC ef	CTC pH7	Saturação bases(%)	Saturação Al(%)	Relações Ca/Mg	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	S (mg/L)	B (mg/L)
233165.67	6708108.41	ERVA MATE	1	19	4	6,0	6,1	50,5	196	0,50	1,6	0,0	5,1	2,2	3,9	7,7	11,6	66,8	0,0	2,3	1,3	0,9	6,8	0,5
233265.67	6708108.41	ERVA MATE	2	15	4	5,9	6,1	173,5	176	0,45	1,7	0,0	5,6	2,1	3,9	8,1	12,0	67,4	0,0	2,7	18,1	2,3	10,5	0,4
233365.67	6708108.41	ERVA MATE	3	16	4	6,5	6,5	23,7	124	0,32	1,2	0,0	5,4	2,4	2,5	8,2	10,7	76,3	0,0	2,2	2,2	1,0	7,4	0,5
233165.67	6708008.41	ERVA MATE	4	16	4	6,3	6,4	32,4	120	0,31	1,2	0,0	4,6	2,1	2,8	6,9	9,7	71,6	0,0	2,2	0,6	0,6	9,6	0,5
233265.67	6708008.41	ERVA MATE	5	16	4	6,1	6,2	23,3	152	0,39	1,6	0,0	4,9	2,0	3,5	7,3	10,8	68,0	0,0	2,4	1,1	0,6	5,3	0,3
233365.67	6708008.41	ERVA MATE	6	16	4	6,0	6,0	63,7	292	0,75	1,4	0,0	4,6	1,9	4,4	7,3	11,7	62,1	0,0	2,4	2,5	0,8	10,5	0,4
233265.67	6707908.41	ERVA MATE	7	20	4	5,6	5,9	39,1	172	0,44	1,1	0,0	3,5	1,6	4,9	5,6	10,5	53,2	0,0	2,2	0,7	0,5	5,7	0,6
233365.67	6707908.41	ERVA MATE	8	19	4	5,9	6,3	24,2	132	0,34	1,3	0,0	4,3	1,8	3,1	6,4	9,5	67,4	0,0	2,3	0,5	0,6	1,9	0,3
233465.67	6707908.41	ERVA MATE	9	15	4	5,8	6,3	48,7	124	0,32	1,0	0,0	3,3	1,2	3,1	4,8	7,9	61,4	0,0	2,8	0,9	0,4	9,3	0,4
233165.67	6707808.41	ERVA MATE	10	19	4	5,7	6,2	32,1	168	0,43	1,4	0,0	4,5	1,8	3,5	6,8	10,3	65,6	0,0	2,4	0,9	0,6	9,9	0,4
233265.67	6707808.41	ERVA MATE	11	14	4	6,2	6,4	58,0	156	0,40	1,6	0,0	3,8	1,5	2,8	5,7	8,5	67,2	0,0	2,6	2,0	0,7	4,7	0,3
233365.67	6707808.41	ERVA MATE	12	18	4	5,6	5,7	30,2	164	0,42	1,4	0,0	3,3	1,2	6,2	4,9	11,1	44,5	0,0	2,8	0,8	0,8	3,4	0,4
233465.67	6707808.41	ERVA MATE	13	15	4	6,2	6,3	60,6	164	0,42	1,2	0,0	3,6	1,5	3,1	5,5	8,6	63,7	0,0	2,4	1,2	0,5	7,6	0,4
233165.67	6707708.41	ERVA MATE	14	25	3	5,2	5,2	30,3	136	0,35	1,4	0,5	4,4	2,0	10,9	7,2	17,6	38,3	6,9	2,2	0,4	1,0	8,8	0,4
233265.67	6707708.41	ERVA MATE	15	24	3	5,4	5,6	56,4	208	0,53	1,6	0,2	4,7	1,9	6,9	7,3	14,0	50,5	2,7	2,5	1,1	1,0	5,3	0,3
234898,7	6709311,04	DIOGO	1	27	3	5,4	5,4	60,3	128	0,33	1,7	0,3	7,8	3,5	8,7	11,9	20,3	57,3	2,5	2,2	6,2	1,5	10,8	0,3
234978,65	6709411,81	DIOGO	2	34	3	5,4	5,5	26,9	188	0,48	1,9	0,3	12,5	6,2	7,7	19,5	26,9	71,4	1,5	2,0	0,7	0,7	11,7	0,7
235079,42	6709550,05	DIOGO	3	25	3	6,4	6,0	43,9	152	0,39	2,1	0,0	11,3	5,4	4,4	17,0	21,4	79,5	0,0	2,1	1,4	0,7	7,2	0,5
235139,75	6709335,23	TAQUAREIRA	1	27	3	5,6	5,6	32,0	96	0,25	3,5	0,0	11,7	9,6	6,9	17,4	24,3	71,6	0,0	2,1	1,3	1,3	6,7	0,3
235239,75	6709335,23	TAQUAREIRA	2	25	3	5,3	5,6	42,5	188	0,48	3,4	0,3	7,6	3,7	6,9	12,1	18,7	62,9	2,5	2,1	1,9	1,4	3,2	0,5
235339,75	6709335,23	TAQUAREIRA	3	22	3	5,5	5,8	40,3	132	0,34	2,7	0,0	6,5	3,2	5,5	10,0	15,5	64,7	0,0	2,1	2,0	1,4	6,6	0,3
235039,75	6709235,23	TAQUAREIRA	4	20	4	5,8	6,1	35,2	112	0,29	3,2	0,0	6,6	3,0	3,9	9,9	13,8	71,5	0,0	2,2	1,1	1,0	8,5	0,2
235139,75	6709235,23	TAQUAREIRA	5	27	3	5,7	5,8	44,3	152	0,39	3,5	0,0	10,4	5,1	5,5	15,9	21,4	74,1	0,0	2,0	1,2	1,0	5,2	0,2
235239,75	6709235,23	TAQUAREIRA	6	21	3	5,7	5,8	76,6	192	0,49	3,4	0,0	7,4	3,4	5,5	11,3	16,8	67,1	0,0	2,2	3,4	1,5	7,4	0,2
235139,75	6709135,23	TAQUAREIRA	7	23	3	5,7	5,7	66,5	136	0,35	4,7	0,0	9,1	4,5	6,2	14,0	20,2	69,4	0,0	2,0	2,0	1,1	6,5	0,2
235239,75	6709135,23	TAQUAREIRA	8	18	4	6,1	6,2	39,2	152	0,39	2,6	0,0	5,9	2,8	3,5	9,1	12,6	72,5	0,0	2,1	1,4	1,2	3,0	0,4
235039,75	6709035,23	TAQUAREIRA	9	22	3	5,6	5,8	37,2	188	0,48	4,3	0,0	9,1	4,1	5,5	13,7	19,2	71,5	0,0	2,2	1,8	1,2	6,0	0,3
235139,75	6709035,23	TAQUAREIRA	10	19	4	5,9	6,3	27,0	144	0,37	3,7	0,0	7,5	3,6	3,1	11,5	14,6	78,5	0,0	2,1	1,6	1,1	3,9	0,3
235239,75	6709035,23	TAQUAREIRA	11	19	4	6,4	6,5	35,2	144	0,37	2,9	0,0	7,5	3,6	2,5	11,5	14,0	82,1	0,0	2,1	1,6	1,1	4,3	0,6
233080,29	6708812,48	VÁRZEA	1	14	4	5,5	5,8	6,7	36	0,09	4,8	0,3	4,2	2,1	5,5	6,7	11,9	53,7	4,5	2,0	0,7	1,5	5,2	0,1
233180,29	6708712,48	VÁRZEA	2	21	3	4,9	5,1	6,2	32	0,08	7,0	1,7	4,0	1,7	12,3	7,4	18,0	31,9	23,0	2,4	0,9	1,9	7,7	0,1
233280,29	6708712,48	VÁRZEA	3	17	4	6,0	6,4	9,8	28	0,07	3,8	0,0	6,8	3,8	2,8	10,7	13,5	79,4	0,0	1,8	0,9	1,4	5,6	0,2
233180,29	6708612,48	VÁRZEA	4	17	4	4,7	5,1	15,0	44	0,11	3,3	1,2	3,1	1,7	12,3	6,1	17,2	28,7	19,7	1,9	1,0	2,0	7,2	0,2
233280,29	6708612,48	VÁRZEA	5	22	3	5,1	5,6	13,4	48	0,12	3,4	0,5	6,1	3,6	6,9	10,3	16,7	59,0	4,9	1,7	1,0	1,7	4,4	0,2
234675,88	6709404,13	CARRAPICHO	1	19	4	4,7	5,1	22,3	40	0,10	1,6	1,4	3,3	1,0	12,3	5,8	16,7	26,6	24,1	3,3	0,9	1,0	10,4	0,5
234775,88	6709404,13	CARRAPICHO	2	25	3	4,7	5,1	51,9	104	0,27	2,0	1,1	5,2	2,0	12,3	8,6	19,8	38,0	12,8	2,6	9,2	2,2	11,8	0,5
234875,88	6709404,13	CARRAPICHO	3	19	4	4,8	5,4	17,6	76	0,19	1,1	1,0	5,1	1,6	8,7	7,9	15,6	44,0	12,7	3,2	1,2	0,9	10,5	0,4
234675,88	6709304,13	CARRAPICHO	4	16	4	4,7	5,3	18,0	52	0,13	1,1	1,6	2,8	0,8	9,7	5,4	13,5	27,9	29,6	3,5	0,5	0,9	13,5	0,3
234775,88	6709304,13	CARRAPICHO	5	21	3	4,7	4,7	19,6	76	0,19	1,7	2,2	3,3	1,1	19,4	6,9	24,1	19,3	31,9	3,0	2,5	1,3	11,9	0,2
234675,88	6709204,13	CARRAPICHO	6	19	4	4,5	4,7	41,1	68	0,17	1,3	2,0	2,9	0,7	19,4	5,8	23,2	16,5	34,5	4,0	2,7	1,3	4,8	0,6
234454,52	6709011,32	CAMPO NATIVO	1	21	3	4,6	4,6	229,5	84	0,22	2,5	1,8	7,1	3,0	21,8	12,1	32,1	32,0	14,9	2,4	22,4	5,0	17,2	0,9
234554,52	6709011,32	CAMPO NATIVO	2	22	3	5,3	5,7	12,7	52	0,13	1,5	0,4	6,4	3,2	6,2	10,2	16,0	61,1	3,9	2,0	0,6	0,8	11,1	0,4
234254,52	6708911,32	CAMPO NATIVO	3	16	4	5,3	5,6	172,7	56	0,14	2,1	0,3	6,8	2,4	6,9	9,7	16,3	57,7	3,1	2,8	17,0	2,7	14,1	0,2
234354,52	6708911,32	CAMPO NATIVO	4	19	4	5,6	5,8	37,3	80	0,21	2,0	0,0	8,8	3,3	5,5	12,3	17,8	69,0	0,0	2,6	4,2	1,1	7,9	0,4
234454,52	6708911,32	CAMPO NATIVO	5	16	4	5,7	5,9	25,2	56	0,14	1,7	0,0	5,8	2,3	4,9	8,3	13,2	62,9	0,0	2,5	1,2	0,8	8,5	0,3
234154,52	6708811,32	CAMPO NATIVO	6	17	4	5,0	5,1	11,2	68	0,17	1,7	1,2	4,0	1,6	12,3	7,0	18,1	32,1	17,1	2,5	0,6	0,7	13,0	0,3
234254,52	6708811,32	CAMPO NATIVO	7	20	4	5,3	5,3	153,5	172	0,44	2,6	0,4	8,8	3,1	9,7	12,7	22,0	56,0	3,1	2,9	14,3	2,3	15,1	0,2
234354,52	6708811,32	CAMPO NATIVO	8	24	3	5,0	5,0	79,8	80	0,21	2,4	1,4	9,3	3,2	13,7	14,1	26,4	48,0	9,9	2,9	6,9	1,5	9,8	0,3
234054,52	6708711,32	CAMPO NATIVO	9	17	4	5,1	5,3	18,4	272	0,70	1,7	0,6	3,9	1,8	9,7	7,0	16,1	39,7	8,6	2,1	1,1	0,8	11,0	0,3
234154,52	6708711,32	CAMPO NATIVO	10	24	3	5,0	5,0	13,5	260	0,67	2,5	0,9	8,6	3,5	13,7	13,7	26,5	48,2	6,6	2,4	0,9	0,7	16,7	0,2
234254,52	6708711,32	CAMPO NATIVO	11	24	3	5,5	5,7	95,0	152	0,39	2,5	0,0	19,0	4,3	6,2	23,7	29,9	79,1	0,0	4,5	9,2	1,5	17,7	0,3
234054,52	6708611,32	CAMPO NATIVO	12	17	4	4,8	4,8	6,5	156	0,40	1,9	2,6	3,1	1,5	17,3	7,6	22,3	22,4	34,2	2,2	0,3	0,7	15,3	0,5
234154,52	6708611,32	CAMPO NATIVO	13	19	4	5,1	5,3	9,8	144	0,37	2,2	0,5	8,5	3,0	9,7	12,3	21,5	55,1	4,1	2,8	0,5	0,7	10,3	0,3
234154,52	6708511,32	CAMPO NATIVO	14	20	4	4,8	5,0	10,5	104	0,27	2,3	2,0	5,8	2,9	13,7	10,9	22,6	39,6	18,3	2,0	0,7	0,9	9,8	0,3

Legenda: P = Fósforo; K = Potássio; M.O. = Matéria Orgânica; Al = Alumínio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; H + Al = Acidez Potencial; CTC = Capacidade de Troca de Cátions; Saturação Al = Saturação do Alumínio; Relações Ca /Mg = Relação do Cálcio e Magnésio; Zn = Zinco; Cu = Cobre; S = Enxofre; B = Boro. Fonte: Autor.