

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

**Paulo Roberto Machado**

**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**

SANTA MARIA, RS

2019

**Paulo Roberto Machado**

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

Orientador: Prof. Dr. Luciano Zucuni Pes  
Co - Orientador: Prof. Dr. Lucio de Paula Amaral

SANTA MARIA, RS  
2019

Machado, Paulo Roberto

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 / Paulo Roberto Machado.- 2019.

46 p.; 30 cm

Orientador: Luciano Zucuni Pes

Coorientador: Lucio de Paula Amaral

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2019

1. Agricultura de Precisão 2. Fertilidade do Solo 3. Produtividade I. Pes, Luciano Zucuni II. Amaral, Lucio de Paula III. Título.

**Paulo Roberto Machado**

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

**Aprovado em 27 de fevereiro de 2019:**

---

**Luciano Zucuni Pes, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Lúcio de Paula Amaral, Dr. (UFSM)**  
(Co-Orientador)

---

**Jackson Ernani Fiorin, Dr. (Unicruz)**

---

**Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr. (UFSM)**

**SANTA MARIA, RS**  
**2019**

## **AGRADECIMENTOS**

Durante a realização do mestrado, de uma forma ou de outra, várias pessoas colaboraram para a conclusão desse trabalho, a todos meus sinceros agradecimentos e de maneira especial agradeço: a Deus, pelo dom da vida e as oportunidades concedidas até esse momento, nele encontro porto seguro no final de cada novo desafio; a minha família que ajudou, pelo incentivo, e minha mulher Luciane Sabatke Soares pela compreensão nos momentos mais difíceis. Sempre valorizaram a importância de educação e nunca mediram esforços para que eu pudesse prosseguir nesse caminho; ao professor orientador, Luciano Pes, e co-orientador, Lucio Amaral pela paciência e presteza durante a elaboração dessa dissertação; e demais professores do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, pelos ensinamentos e dedicação; e aos meus colegas de mestrado que auxiliaram em vários momentos dessa caminhada.

Ao Professor Enio Giotto pela ajuda com o software Campeiro na elaboração dos mapas, juntamente com os estagiários do laboratório da geomática pelos tempos dedicado a dissertação.

A UFSM pela disponibilidade da área de estudo para elaboração do projeto e todo apoio durante estes dois anos do curso com políticas de incentivo a qualificação profissional e pelas condições necessárias para realização do mestrado.

Meu muito obrigado!

## RESUMO

### **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**

AUTOR: Paulo Roberto Machado

ORIENTADOR: Dr. Luciano Zucuni Pes

Co – Orientador: Dr. Lúcio de Paula Amaral

A Agricultura de Precisão busca otimizar os insumos utilizados na lavoura para melhorar a produtividade, reduzir custo, diminuir os impactos ambientais e aumentar a eficiência de trabalho, com isso otimizar a tomada de decisão. Com a análise espacial e temporal da produção se pode inferir quais fatores a influenciam. Estas análises são realizadas com auxílio de softwares para determinar a fertilidade do solo, produtividade. Este trabalho tem o objetivo de analisar a variabilidade espacial e temporal dos atributos químicos do solo e da produtividade da soja. Com a estatística descritiva dos atributos químicos do solo, mostrou que a área não é homogênea. Valores de coeficiente de variação maiores que 40% refletem a heterogeneidade dos dois anos de amostragem, como nos resultados da análise dos anos de amostragem 2012 e 2017. Com a estatística clássica e o software Campeiro versão 7.40, para fazer a análise espacial (IDW), dos atributos químicos do solo e colheita. Sendo realizado amostras georreferenciada de 100 x 100, totalizando 33 pontos em uma área de 33,83 ha. Um método de visualizar os mapas de fertilidade e colheita para estudo da variabilidade espacial e temporal nas áreas agrícolas, mostrando que foi suficiente para fazer as classes de recomendação de corretivos e fertilizantes.

**Palavras-chave:** Agricultura de Precisão. Fertilidade do Solo. Produtividade.

## ABSTRACT

### **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**

AUTHOR: Paulo Roberto Machado

ADVISOR: Dr. Luciano Zucuni Pes

Co – ADVISOR: Dr. Lúcio de Paula Amaral

Precision Agriculture seeks to optimize the inputs used in the crop to improve productivity, reduce costs, reduce environmental impacts and increase work efficiency, thereby optimizing decision making. With the spatial and temporal analysis of production one can infer which factors influence it. These analyzes are carried out with the help of software to determine soil fertility, productivity. This work aims to analyze the spatial and temporal variability of soil chemical attributes and soybean yield. With the descriptive statistics of soil chemical attributes, it showed that the area is not homogeneous. Coefficient of variation values greater than 40% reflect the heterogeneity of the two years of sampling, as in the results of the analysis of the sampling years 2012 and 2017. With the classic statistics and the software Campeiro version 7.40, to do the spatial analysis (IDW), soil chemical attributes and harvest. A georeferenced sample of 100 x 100 was performed, totaling 33 points in an area of 33.83 ha. A method of visualizing the fertility and harvest maps to study the spatial and temporal variability in the agricultural areas, showing that it was sufficient to make the classes of recommendation of correctives and fertilizers.

**Key words:** Precision Agriculture. Soil Fertility. Productivity.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação de um mapa do mundo real através de estrutura matricial ou raster.....	17
Figura 2 – Representação de um mapa do mundo real através de estrutura vetorial.....	18
Figura 3 – Localização da área de estudo no Município de Santa Maria, Rio grande do Sul...	23
<b>ARTIGO</b>	
Figura 1 - Localização da área de estudo no Município de Santa Maria, Rio grande do Sul .....	28
Figura 2 – Mapa dos Níveis de Fertilidade do Potássio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), no ano de 2012.....	31
Figura 3 – Mapa dos Níveis de Fertilidade do Potássio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), no ano de 2017.....	32
Figura 4 – Mapa dos Níveis de Fertilidade do Fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), no ano de 2012.....	32
Figura 5 – Mapa dos Níveis de Fertilidade do Fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), no ano de 2017.....	33
Figura 6 – Mapa dos Níveis de pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ), no ano de 2012 (a) e 2017 (b).....	33
Figura 7 – Mapa de Rendimento da soja (Vossoroca Norte): safra 2012/2013 (a) e 2017/2018 (b) .....	34
Figura 8 – Mapa de Rendimento da soja (Vossoroca Sul): safra 2012/2013 (a) e 2017/2018 (b) .....	35



## **LISTA DE TABELAS**

### **ARTIGO**

Tabela 1 – Estatística descritiva dos dados brutos de colheita safra 2012/2013 e 2017/2018...34

Tabela 2 – Estatística descritiva dos atributos químicos do solo (2012-2017) .....46

## **LISTA DE QUADROS**

### **ARTIGO**

### **QUADRO**

Quadro 1 – Histórico de Cultivos realizados nas áreas de estudo nos anos de 2011/2012 a 2017/2018.....29

Quadro 2 - Histórico da Aplicação de Corretivos e Fertilizantes nos anos de 2012 e 2017.....35

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
B	Boro
Ca	Cálcio
CTC efetiva	CTC do potencial hidrogeniônico analisado
CTC pH 7,0	CTC potencial
CV	Coefficiente de variação
Cu	Cobre
DP	Desvio Padrão
H	Hidrogênio
H + Al	Acidez Potencial
Índice SMP	Quantidade de calcário para elevar potencial hidrogeniônico
K	Potássio
MDT	Modelo Digital Terreno
MBA	Modelo Básico Aplicação
Mg	Magnésio
M.O	Matéria orgânica
P	Fósforo
pH H <sub>2</sub> O	Atividade íon H <sup>+</sup>
S	Enxofre
VPP	Vetor Pontos Produtividade
Zn	Zinco

## SUMÁRIO

<b>1 APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
1.1.1 Importância da Soja no Agronegócio .....	13
1.1.2 Aspectos Relacionados ao Uso das Tecnologias .....	14
1.1.2 Variabilidade dos Atributos Químicos do Solo .....	16
1.1.3 Análise Espacial .....	17
1.1.3.1 Método do Inverso ponderado da Distância (IDW).....	19
1.1.4 Fertilidade do Solo .....	21
1.1.5 Geração dos Mapas de Produtividade .....	22
<b>1.2 HIPÓTESES .....</b>	<b>23</b>
<b>1.3 PROPOSIÇÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>1.4 MATERIAS E MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
<b>2 ARTIGO .....</b>	<b>26</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>27</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>27</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>38</b>
<b>3 CONCLUSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>41</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>46</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>47</b>

## **1 APRESENTAÇÃO**

Considerando à busca por informações rápidas e precisas dentro da Agricultura de Precisão (AP) para aumentar a produtividade, destacam-se as tecnologias aplicadas no campo, amostragem georreferenciada, taxa variável. Neste sentido, através de suas ferramentas para identificar quais as necessidades a serem corrigidas nos talhões, pode-se otimizar o uso de insumos, corrigir deficiências nutritivas do solo, aumentando a produtividade, melhorar a eficiência de trabalho, e com isso minimizar os custos, conseqüentemente maximizar os lucros.

A Agricultura de Precisão (AP), estão diretamente relacionados o uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) e ferramentas de análise espacial para gerar mapas mais precisos, da real situação da fertilidade do solo. Esses tipos de software para agricultura de precisão auxiliam na análise dos dados, para melhor entender o comportamento da fertilidade do solo, e a produtividade da cultura.

A presente dissertação está estruturada por três partes. A primeira parte é a apresentação, contendo referencial teórico, englobando os principais assuntos do trabalho, hipótese básica e alternativa, proposição e materiais e métodos onde se tem uma descrição geral do assunto. A segunda parte está organizada em formato de artigo científico que será submetido a um periódico de tiragem trimestral intitulado “Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental”, contendo os resultados e discussões com a metodologia detalhada do trabalho nas respectivas normas da revista. A terceira parte é constituída pela conclusão da dissertação, referências bibliográficas.

### **1.1 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **1.1.1 Importância da Soja no Agronegócio**

O agronegócio é um importante setor da economia nacional, registrar importantes avanços quantitativos e qualitativos, que se mantém como setor de grande capacidade empregadora e de geração de renda, cujo desempenho médio, tem superado o desempenho do setor industrial, ocupa, assim, a posição de destaque no âmbito global, o que lhe dá importância crescente no processo de desenvolvimento econômico, por ser um setor dinâmico e pela sua capacidade de impulsionar os demais setores (COSTA, 2006).

De acordo com a Embrapa (2010), nos últimos 15 anos poucos países cresceram tanto no comércio internacional do agronegócio quanto o Brasil. O País é um dos líderes mundiais na produção e exportação de vários produtos agropecuários. Além de liderar o ranking mundial de produção e exportação de café, açúcar, etanol e suco de laranja, o Brasil é o segundo maior no faturamento com as vendas externas do complexo de soja (grão, farelo e óleo).

Brum et al (2005) afirmam, que a soja foi uma das principais responsáveis pela introdução do conceito de agronegócio no país, não só pelo volume físico e financeiro, mas também pela necessidade empresarial de administração da atividade por parte dos produtores, fornecedores de insumos, processadores da matéria-prima e negociantes.

Em 2011, um em quatro produtos do agronegócio em circulação no mundo eram brasileiros. Além disso, segundo as projeções do Ministério da Agricultura, até 2030, um terço dos produtos comercializados no mundo será proveniente do Brasil, em função da crescente demanda dos países asiáticos por alimentos (MAPA, 2011).

O Brasil se destaca como um dos maiores produtores e exportadores mundiais de soja, juntamente com os Estados Unidos da América, com aproximadamente 33,9 milhões de hectares cultivados na última safra. Apenas na região sul são cultivados, aproximadamente, 11,5 milhões de hectares (CONAB, 2017).

A soja destaca-se, no Brasil, como o principal produto agrícola, com potencial para crescer ainda mais em produção, em função do aumento da produtividade e área cultivada. Com o desempenho apresentado nos últimos anos, vem sendo um dos mais importantes produtos da economia brasileira, atuando na geração de divisas, e através do enorme complexo, na geração de empregos (FREITAS e MENDONÇA, 2016).

### 1.1.2 Aspectos Relacionados ao Uso das Tecnologias

A tecnologia agrícola vem despertando grande interesse, seja em termos de transferência entre países ou entre regiões. No Brasil, o conhecimento acumulado sobre esse tema pode ser considerado ainda insuficiente, em particular no que diz respeito às possibilidades e limitações da transferência inter-regional, de grande importância devido à dimensão continental do país, à contínua expansão da fronteira agrícola, ao longo tempo necessário para a realização de pesquisas e obtenção de resultados significativos em novas regiões agrícolas, e aos elevados custos envolvidos. (SILVA, 1984).

Tecnologia é um termo utilizado para englobar uma ampla variedade de mudanças técnicas e nos modelos de produção”. (VASCONCELOS e GARCIA, 2005). A tecnologia representa um dos fundamentos da atividade econômica moderna, sendo resultante da pesquisa pura e aplicada, a traduzir-se em processos científicos voltados para o desenvolvimento social e econômico”. (GASTALDI, 2001).

O potencial de produtividade da cultura da soja, em nível nacional, bem como em todas as regiões produtoras, nas últimas safras, mostra-se elevado, tornando o Brasil um produtor com capacidade competitiva de produção dessa cultura. Fica evidente que as novas tecnologias vêm possibilitando o cultivo em novas áreas e, conseqüentemente, gerando o aumento da área cultivada. O desenvolvimento de novas tecnologias é um dos grandes responsáveis pelo aumento da produção de soja no Brasil (FREITAS e MENDONÇA, 2016).

A agricultura de precisão apresenta vasta comprovação de sua eficiência, mas para aquele produtor mais tecnificado e que possua capital suficiente para custear tal sistema desde sua implantação, até a colheita dos resultados, tendo capacidade para assumir os riscos com algum possível insucesso na sua instalação (SANTOS, 2014).

Aderir a tecnologias na agricultura faz parte do consenso atual e neste contexto a Agricultura de Precisão já é uma conformidade no campo para técnicos e produtores rurais. O conhecimento de que existe uma variabilidade nas áreas de produção, que pode ser devido às variações do relevo, solo, vegetação e também do histórico de uso vem sendo difundido paulatinamente. Informações de variações da produção e da sua qualidade são úteis para qualquer cultura. Assim, é importante um trabalho de observação, medida e registro destas variações. Estas diferenças fazem com que os produtores e técnicos tratem cada região de modo diferente de acordo com suas potencialidades e necessidades (BERNARDI et al., 2014).

A Agricultura de precisão utiliza conceitos antigos de manejo localizado das lavouras e a adoção de técnicas modernas de para o plantio (SANTI et al., 2016; COELHO JUNIOR et al., 2014; MACHADO, 2015ab; MACHADO et al, 2016), posicionamento georreferenciado no campo, permitindo com análises de dados o manejo localizado de solo e planta e a aplicação dos insumos agrícolas nos locais mais adequados. E com isto permite realizar as etapas corretas em períodos e pontos apropriados.

O resultado dessas mudanças tecnológicas nas propriedades rurais causou impacto na redução dos custos de produção, no aumento da competitividade e da incorporação de inovações

tecnológicas e gerenciais, tornando o empreendimento rural mais lucrativo, eficiente e competitivo (ALVES, 2012).

### 1.1.2 Variabilidade dos Atributos Químicos do Solo

A variabilidade espacial de solos sempre existiu e deve ser considerada toda vez em que a amostragem de campo for efetuada, pois pode indicar locais que necessitam de tratamento diferenciado quanto ao manejo, sem prejuízo para a representatividade, possibilitando maior detalhamento da área (VIEIRA, 2000).

No planejamento da produção agrícola, um dos principais fatores a se considerar é a condição inicial do solo. Então, tanto a variabilidade espacial quanto a variabilidade temporal dos atributos do solo devem ser incorporadas aos procedimentos e tecnologias aplicados à agricultura (LI et al., 2002).

A variabilidade espacial desses nutrientes nas análises pode conter erros de laboratório, ou ser iguais entre si, portanto necessita de um número maior de unidades que outras análises, para obter seu comportamento no solo. Uma maneira de solucionar estes problemas seria a adoção de métodos geoestatísticos para avaliar a variabilidade espacial da fertilidade do solo (DEUTSCH e JOURNAL, 1998), ou estatística espacial.

Portanto, as diferentes escalas de variação dos atributos do solo induzem grande dificuldade no desenvolvimento de um plano de amostragem, que utilize uma malha amostral com espaçamento único, quando vários atributos do solo estão envolvidos (MONTANARI et al., 2012).

A análise geoestatística, ou estatística espacial, que permite detectar a existência da variabilidade e distribuição espacial dos atributos avaliados, ou estatística espacial constitui importante ferramenta na análise e descrição detalhada da variabilidade das propriedades do solo (VIEIRA, 2000; CARVALHO et al., 2002; VIEIRA et al., 2002). Conhecer as coordenadas geográficas do ponto amostrado, podem-se analisar os dados, e isso possibilita, segundo Vendrusculo (2001), representar a variabilidade espacial da área.

A heterogeneidade é uma característica intrínseca dos solos e sua variabilidade (espacial, horizontal e vertical) é dependente dos fatores de formação, podendo ser influenciada pelo tipo de manejo adotado. O cultivo resulta em alterações, e aumentar ainda mais a



variabilidade dos atributos do solo (SANTOS et al., 2006; SOUZA et al., 2007). Para Rosa Junior et al. (2004), as práticas de manejo podem provocar alterações em algumas características físicas e/ou químicas do solo.

De acordo com Dampney e Moore (1999), os principais fatores causadores da variabilidade na produção das culturas podem ser classificados em três categorias: (a) fatores fixos, difíceis de serem alterados (textura e profundidade do solo); (b) fatores persistentes, que podem ser alterados (atributos químicos e físicos do solo); (c) fatores sazonais, que são alterações em curto espaço de tempo (clima e incidência de pragas e doenças).

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos de solo e de cultura apresenta-se como ferramenta vantajosa para analisar a variabilidade de rendimento verificada e aperfeiçoar o manejo em áreas agrícolas por meio de um gerenciamento agrícola que leve em consideração informações pontuais do solo e das culturas (AMADO et al., 2009; MENDES; FONTES; OLIVEIRA, 2008; SILVA et al., 2003). Isso é possível através do estabelecimento de zonas específicas de manejo visando à conservação do solo (por exemplo a aplicação de insumo com taxa variada), condições necessárias à agricultura de precisão.

### 1.1.3 Análise Espacial

As características dessa função referem-se às potencialidades que os SIG têm de realizar simultaneamente análises de dados espaciais e seus atributos alfanuméricos. Essas aplicações são fundamentais para esse tipo de sistema, tornando-o diferenciado dos softwares gráficos e de outros sistemas de informação (FITZ, 2008).

A análise espacial está diretamente ligada ao mundo dos SIG, pois ela inclui todas as transformações, manipulações e métodos que podem ser aplicados aos dados geográficos adicionando valores a eles, apoiando assim na tomada de decisões e revelando padrões e irregularidades que não são vistos sem a realização da mesma. Em outras palavras, é o processo onde se transforma dados brutos em informação direcionada e útil para a finalidade do trabalho científico, auxiliando em uma tomada de decisão mais eficiente (FITZ, 2008; LONGLEY et al., 2013; MIRANDA, 2015).

Para outros autores, é o processo de manipular as informações espaciais dos dados originais para extrair novas informações e significados. Concomitantemente, a análise espacial é executada com um SIG, fornecendo assim, ferramentas de análise espacial para calcular

estatísticas e realizar atividades de geoprocessamento, como é o caso da interpolação de dados (CHANG, 2006; SILVA, 2003)

Segundo Landim et al. (2002) interpolar é predizer (ou estimar) o valor da variável em estudo num ponto não amostrado. Os dados amostrados podem ser avaliados através do interpolador determinístico inverso do quadrado da distância (IDW). Este permite estimar valores para pontos não amostrados com base em pontos amostrados, atribuindo pesos diferentes para cada amostra com base na distância em que estas se encontram do ponto a ser amostrado (ALVARENGA et al., 2010).

Os dados espaciais são aqueles que podem ser representados de forma gráfica, ou seja, imagens, mapas temáticos ou planos de informações, registro em tabelas, dentre outros. Existem dois tipos básicos de estruturas de armazenamento de dados em SIG, matricial e vetorial. Os dados matriciais são armazenados em uma representação matricial, onde o espaço é dividido em uma malha retangular de células (geralmente quadrados), essas células também são chamadas pixels ou raster, cada uma representa um endereço identificado por coordenadas de linhas representa o mundo real. Na figura 1 está ilustrada a forma mais comum de originais esses dados, que é através de satélites que capturam dados e os enviam á Terra para armazenamento e posterior análise (LONGLEY et al., 2013).

Figura 1 – Representação de um mapa do mundo real através de estrutura matricial ou raster.



Os dados vetoriais são constituídos por estruturas de armazenamento vetoriais que representam mapas através de coordenadas X e Y, ou longitude e latitude, dentre outras formas de coordenadas, onde os elementos e/ou fenômenos do mundo real são localizados por pontos, linhas e/ou polígonos (Figura 2) (SILVA, 2004). Esta estrutura permite que todas as posições, comprimentos e dimensões e certas relações topológicas possam ser definidas exatamente (MIRANDA, 2015; LONGLEY et al., 2013), por isso neste modelo as coordenadas são consideradas matematicamente exatas (BURROUGH, 1986).

Figura 2 - Representação de um mapa do mundo real através de estrutura vetorial.



Em um sistema de informação geográfica a introdução de dados pode ser dar por sensoriamento remoto (consiste na utilização de ferramentas, com satélites e radares, para a captação de informações e imagens acerca da superfície terrestre, o qual também engloba a aerofotogrametria, analógica ou digital, para a obtenção de fotografias aéreas), por receptores GNSS para aquisição de coordenadas das mais variadas feições ou elementos na superfície terrestre, muito utilizado para a confecção de planilhas de dados a serem inseridas posteriormente no SIG, e por processos de digitalização e vetorização, geralmente de mapas e/ou cartas topográficas analógicas, acesso á distintos bases de dados, das quais podem ser obtidos arquivos em diversos formatos e configurações acessadas pela internet (PENA, 2016; LONGLEY et al.,2013).

#### 1.1.3.1 Método do Inverso ponderado da Distância (IDW)

Em agricultura de precisão utilizam-se, basicamente, os algoritmos de interpolação, denominados inverso da distância a determinada potência e krigagem. De acordo com (Isaaks e Srivastava. (1989), o método do inverso da distância estipula pesos aos pontos que são inversamente proporcionais à distância elevada a uma potência que, normalmente, é quadrática. Desta forma, o interpolador dá maior importância a valores mais próximos do ponto a ser estimado. Quanto maior o valor da potência, maior o peso de pontos mais próximos e menor a influência de pontos mais distantes em relação a um perto de interesse. O algoritmo do IDW é dado por (GIOTTO et al., 2016).

Onde:

$$\hat{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}}$$

$\hat{Z}$ : Valor interpolado do nó da grade;

$z_i$ : Valor do ponto  $i$  vizinho ao nó da grade;

$d_i$ : Distância entre o ponto  $i$  ao nó da grade;

$n$ : Número de pontos amostrados;

$p$ : Expoente de ponderação, no caso = 2 (quando quadrática).

A partir da definição do raio de pesquisa, em cada nó, o sistema “varre” em todos os quadrados os pontos amostrais do Projeto Agricultura de Precisão (PAP), toma os seus valores de atributo e os pondera, proporcionalmente, pelo inverso do quadrado de suas distâncias ao nó da grade. Assim, os pontos mais próximos, têm maior influência no cálculo de  $\hat{Z}$ . Para evitar um número excessivo de pontos, principalmente se o raio de pesquisa for grande, a varredura capta no máximo 12 pontos (os mais próximos) para executar o cálculo da interpolação. (GIOTTO et al.; 2016).

O procedimento de interpolação pelo Inverso do Quadrado da Distância, é um dos métodos mais antigos de interpolação espacial e também um dos mais utilizados, tem as características de ser um método de fácil entendimento, seguro e relativamente preciso, desde que haja uma definição correta do raio de pesquisa e realiza a interpolação a partir de um único ponto próximo. Sua aplicação é recomendada, quando o “grid de amostragem” for de formato retangular uniforme, com boa densidade de pontos e a variabilidade espacial do atributo pesquisado não for significativa. (GIOTTO et al., 2016).

Segundo Silva et al. (2008), inúmeros métodos de interpolação, com diversos níveis de complexidade, estão disponíveis na literatura para mapear a variabilidade espacial dos atributos de solo e de planta. O processo de interpolação nada mais é do que, a partir de uma amostragem, realizar inferências sobre a população, ou seja, sobre todos os pontos mesmo aqueles não amostrados (ARAÚJO, 2004). Os métodos de interpolação mais utilizados em agricultura de precisão são o Inverso do quadrado da distância (IDW) e a Krigagem (MUELLER et al., 2004).

#### 1.1.4 Fertilidade do Solo

De acordo com Bissani et al. (2004), durante a formação dos solos, materiais de diferentes origens, sob diferentes condições climáticas, sofrem processos físicos, químicos e biológicos diversos, dando origem a solos com características diferentes entre si. Essas variações encontradas oferecem diferentes condições de desenvolvimento às plantas.

O manejo para obtenção de altas produtividades na cultura da soja é traduzido na interação clima, planta e solo, propondo o uso eficiente e racional dos fertilizantes (VITTI e TREVISAN, 2000 apud SCHOFFEL et al. 2011).

Segundo Vezzani (2001), o solo se trata de um sistema complexo, dinâmico e heterogêneo, sendo que sua qualidade é resultado da dinâmica entre os subsistemas minerais, matéria orgânica e planta. A forma como o solo é manejado ao longo dos anos pode levar à sua excelência em termos de qualidade, assim como em sentido oposto, a sua má utilização pode levar a sua total degradação.

Desta forma, é possível verificar que em alguns casos, somente uma análise química do solo não se apresenta como uma ferramenta adequada para manejar o mesmo de forma eficiente, sendo necessária uma visão e análise mais completa do solo, principalmente quanto à dinâmica entre as propriedades químicas, físicas e biológicas que determinarão a qualidade deste (Amado et al. 2006).

Mesmo em áreas de plantio direto que possuam níveis de fertilidade elevados, se tem percebido a existência de uma grande variabilidade espacial no rendimento e a utilização desta ferramenta, onde se expressam os potenciais produtivos de forma gráfica e por meio de mapas, é uma possibilidade de ampliar o aspecto gerencial na propriedade por garantir uma visualização da real expressão produtiva das culturas (SANTI et al. 2005).

Com a modernização da agricultura, práticas de correção da acidez e de adubação do solo contribuíram significativamente para a melhoria da fertilidade dos solos (Bernardi et al., 2002).

As propriedades químicas dos solos são afetadas com a retirada da vegetação natural e o cultivo, principalmente na camada arável, em virtude da adição de corretivos e fertilizantes e de operações agrícolas. As principais modificações químicas nos solos cultivados em relação às condições originais decorreram da variação do pH e dos teores de cátions, os quais são

dependentes da fertilidade inicial, ou seja, solos eutróficos diminuem a fertilidade e os álicos aumentam, além da redução do alumínio trocável e da saturação por alumínio (MAIA; RIBEIRO, 2004).

### 1.1.5 Geração dos Mapas de Produtividade

O processo de adoção da AP encontra-se na fase em que o agricultor busca solucionar os principais problemas levantados em sua lavoura, através de mapas de produtividade e de fertilidade (WERNER et al., 2007).

BALASTREIRE (1998) considerou que a geração de mapas de produtividade é a fase que apresenta maior facilidade de execução dentro do ciclo da AP. Devido à grande variedade de equipamentos e pesquisas realizadas, principalmente em colheita de cereais, tais como, soja e milho, pode-se coletar grande quantidade de informações sobre uma área a um custo operacional acessível (SCHUELLER, 2000).

A coleta de dados de colheita para elaborar mapas de produtividade tornou-se possível pelo desenvolvimento e evolução de diversos equipamentos e sensores (ARSLAN e COLVIN, 2002). A maior parte dos sensores se incorporou naturalmente aos equipamentos agrícolas, importados de outras áreas do conhecimento. Tratando-se de coleta de dados georreferenciados em tempo real, o GPS foi a ferramenta chave que impulsionou a AP (MOLIN, 1998).

Para realizar o mapeamento da produtividade de uma lavoura de grãos são necessários equipamentos como um receptor GPS, sensor de massa ou volume de grãos, sensor de umidade, sensor de velocidade (caso não possua DGPS), sensor de altura de plataforma e um sistema central de aquisição e armazenamento de dados (PEREIRA e MOLIN, 2003). O número e tipos de sensores que compõe os kits para mapeamento da produtividade variam de acordo com o fabricante.

O desenvolvimento de sensores e equipamentos para mapeamento da produtividade foi foco de pesquisa internacional principalmente durante o fim da década de 80 e início da década de 90 (ARSLAN e COLVIN, 2002), quando surgiu no mercado europeu o primeiro monitor de produtividade (MOLIN, 2000). Apesar dos avanços em sensores, a presença de erros nos dados de produtividade impulsionou uma série de estudos para validação dos equipamentos e remoção desses erros (BLACKMORE e MOORE, 1999; MENEGATTI e MOLIN, 2004).

Segundo Brusco et al. (2005), a agricultura de precisão é um sistema capaz de gerar informações agronômicas sobre áreas de colheita e permite um acompanhamento metro a metro da lavoura, possibilitando uma ação localizada em pequenas áreas, tratando cada um desses pontos de acordo com a necessidade. Assim, aumenta-se a rentabilidade além de ajudar a proteger o meio ambiente. De acordo com Molin (2000), vários pesquisadores consideraram que os mapas de produtividade são fontes de informação mais completas, que permitem visualizar a variabilidade espacial da cultura que, por sua vez, é o momento no qual os grãos têm maior valor agregado.

## **1.2 HIPÓTESES**

A hipótese básica: manejo baixa a heterogeneidade, e os mapas de fertilidade e de colheita não possibilitam definir as classes de recomendação.

A hipótese alternativa mapas de fertilidade e de colheita permitem determinar as classes de recomendação.

## **1.3 PROPOSIÇÃO**

A presente dissertação tem como principal objetivo estudo da variabilidade espacial e temporal dos atributos químicos do solo e de produtividade da soja.

Assim, essa dissertação tem como objetivos específicos:

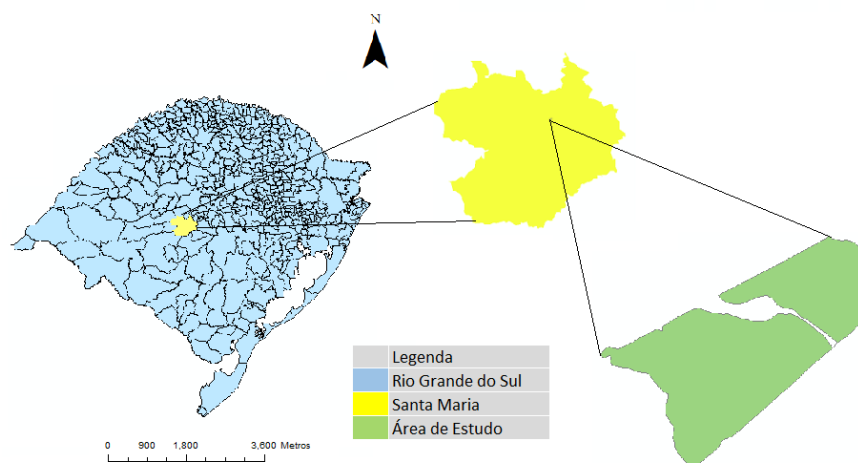
- Analisar com a estatística descritiva e análise espacial os atributos químicos do solo.
- Analisar os mapas de fertilidade do P, K, pH.
- Analisar a produtividade da área, com a colheita da soja.

## **1.4 MATERIAS E MÉTODOS**

O presente trabalho foi realizado na área experimental da UFSM, na região central do Estado do Rio Grande do Sul conforme figura 3. A partir de um banco de dados da análise química do solo de dois anos de amostragens, com a colheita da soja, foi possível fazer a análise

espacial no software campeiro versão 7.40, e no MSEXcel a estatística clássica. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cfa – temperado chuvoso e quente, com nenhuma estação seca, sendo úmido o ano todo, com temperatura entre  $-3^{\circ}\text{C}$  e  $18^{\circ}\text{C}$  no inverno, e verão com média superior a  $22^{\circ}$ , situa-se numa zona de transição entre o Planalto Meridional Brasileiro e a Depressão Central do Rio Grande do Sul. PEREIRA (1989). De acordo com EMBRAPA (2006) o solo da região é 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.

Figura 3 – Localização da área de estudo no Município de Santa Maria, Rio Grande do Sul.



Fonte: O Autor.

A coleta de dados da área de estudo foi obtida com dois anos de amostragem que início em 2012 e uma reamostragem em 2017, utilizando uma malha amostral de 100 x100 (1 ha), totalizando 33 pontos em uma área de 33,83 ha. Sendo coletado com a profundidade de 0-20 cm de profundidade, utilizando pá de corte (COMISSÃO 2004), com 5 sub-amostras, no formato cruz (ponto central e 4 extremidades a 30 metros do ponto central).

Nas safras agrícolas dos cultivos para produção de grãos, a adubação era realizada na base e em cobertura, quando necessário. Nos anos em que os cultivos eram destinados para cobertura do solo e/ou produção de forragem (pastagem), não se realizava adubação de base nas áreas, apenas N em cobertura com ureia. A calagem nas áreas no ano de 2012 era com calcário dolomítico (PRNT 70%), em três taxas de aplicação com base no Índice SMP (COMISSÃO, 2004). Os níveis de P e K para atingir patamar alto. Em 2017 foi realizada novamente a calagem para elevar o ph em 6,0, com taxa variável de aplicação.



Os dados da análise química foram obtidos em arquivo formato Vetorial Extensão. VET, transformado em shapefile para posterior uso no Campeiro para fazer os mapas de fertilidade do P, K e pH.

Os dados da análise química foram obtidos em arquivo formato Vetorial Extensão. VET, transformado em shapefile para posterior uso no Campeiro para fazer os mapas de fertilidade do P, K e pH.

A análise química, foi realizada a estatística descritiva através no MSEXcel através da ferramenta “Análise de Dados” para os anos de 2012 e 2017. Transformados em formato CSV no MSEXcel, para analisar no software Campeiro versão 7.40. Na ferramenta agricultura de precisão, foi feita a análise espacial com o interpolador IDW. Utilizado um raio de 250 metros, células de X (2,3) e Y (2,3), salva nem formato Modelo Terreno Digital (MDT), para posterior visualização dos mapas.

Os dados de colheita dos anos de 2012/2013 e 2017/2018, foram obtidos com a colhedora da Massey Fergusson, modelo MF 32, equipada com sistema “fieldstar“ que congrega um conjunto composto de sensor de rendimento do tipo “micro-trak” de duas hastes, cartão para armazenamento de dados tipo PCMCIA e antena receptora de sinal Sistema Global de Navegação Satélite (GNSS) com Sistema de Posicionamento Global (GPS), com a máquina calibrada para a colheita., arquivos em formato de extensão. TXT. Fazer a transformação dos dados no MSEXcel para o formato CSV, colocando as coordenadas e o número zero na última coluna dos pontos de colheita. Dentro da ferramenta edição de rendimentos vetor pontos de produtividade (VPP), através de filtros, eliminar pontos aos extremos, e um segundo filtro, com exclusão de valores abaixo de 1000 kg, que era analisado essa distribuição com um gráfico de amplitude (histograma), para verificar a normalidade dos pontos de colheita.

Os dados de colheita foram feitos a análise espacial no Campeiro, com o interpolador IDW, raio de 250 metros, células de X (2.3) e Y (2.3), salvo em MDT para visualização dos mapas das áreas Vossoroca Norte e Sul, safra 2012/2013 e 2017/2018, colocando em classes de porcentagem, < 95 (Baixa), > 95-105 (Média), > 105 (Alta).

**2 ARTIGO****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****MANAGEMENT OF SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOIL BASED ON SAMPLING AND VARIABLE RATE OF FERTILIZERS AND CORRECTIVE FOR SOYBEAN CULTURE**

**Paulo Roberto Machado <sup>1</sup>, Luciano Zucuni Pes <sup>2</sup>, Lucio de Paula Amaral <sup>3</sup>, Telmo Jorge Carneiro Amado <sup>4</sup>, Jackson Ernani Fiorin <sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestrando do PPGAP/UFSM, Av. Roraima, 1000 - Camobi, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil, paulo76machado@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr. Professor Colégio Politécnico/UFSM, PPGAP/UFSM, Campus Sede Politécnico – Prédio 70 - 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil, lucianopes@politecnico.ufsm.br

<sup>3</sup> Engenheiro Florestal, Dr. Professor DER/CCR/UFSM, PPGAP/UFSM, Campus Sede - Prédio 44J - 2º piso, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil, amaralufsm@gmail.com

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr. Professor CCR/UFSM, PPGAP/UFSM, Campus Sede – Prédio 44J, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil, florestatel@hotmail.com

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo, Dr. Professor Unicruz CCGL/TEC, Campus Sede -98005-973, Cruz Alta, RS, Brasil, Jackson.fiorin@ccgl.com.com.br

**A ser submetido ao periódico Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.**

# **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**

## **MANAGEMENT OF SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOIL BASED ON SAMPLING AND VARIABLE RATE OF FERTILIZERS AND CORRECTIVE FOR SOYBEAN CULTURE**

### **RESUMO**

A Agricultura de Precisão (AP) busca cada vez mais informações para melhorar o processo de produção, e a automatização de rotinas para processamento de dados espaciais dentro de ferramentas de Sistema de Informações Geográficas que auxilia na viabilidade de se gerar resultados precisos e rápidos, mesmo utilizando uma grande quantidade de dados. Com a estatística clássica e o software Campeiro versão 7.40, para fazer a análise espacial (IDW), dos atributos químicos do solo e colheita. Sendo realizado amostras georreferenciada de 100 x 100, totalizando 33 pontos em uma área de 33,83 ha. Um método de visualizar os mapas de fertilidade e colheita para estudo da variabilidade espacial e temporal nas áreas agrícolas, mostrando que foi suficiente para fazer as classes de recomendação de corretivos e fertilizantes. O objetivo deste trabalho analisar a variabilidade espacial e temporal dos atributos químicos do solo e da produtividade da soja.

**Palavras-chave:** Variabilidade. Amostragem. Colheita.

### **ABSTRACT**

Precision Agriculture (AP) is increasingly seeking information to improve the production process, and the automation of routines for spatial data processing within Geographic Information System tools that assists in the feasibility of generating accurate and fast results even using a large amount of data. With classical statistics and the software Campeiro version 7.40, to do spatial analysis (IDW), soil chemical attributes and harvest. A georeferenced sample of 100 x 100 was performed, totaling 33 points in an area of 33.83 ha. A method of visualizing the fertility and harvest maps to study the spatial and temporal variability in the agricultural areas, showing that it was sufficient to make the classes of recommendation of correctives and fertilizers. The objective of this work was to analyze the spatial and temporal variability of soil chemical attributes and soybean yield.

**Keywords:** Variability. Sampling. Harvest.

## INTRODUÇÃO

O potencial de produtividade da cultura da soja, em nível nacional, bem como em todas as regiões produtoras, nas últimas safras, mostra-se elevado, tornando o Brasil um produtor com capacidade competitiva de produção dessa cultura. Fica evidente que as novas tecnologias vêm possibilitando o cultivo em novas áreas e, conseqüentemente, gerando o aumento da área cultivada. O desenvolvimento de novas tecnologias é um dos grandes responsáveis pelo aumento da produção de soja no Brasil (FREITAS & MENDONÇA, 2016).

A adoção da Agricultura de Precisão (AP) na região Sul Brasil, tem se intensificado nos últimos anos. Estima-se que, somente no Rio Grande do Sul, mais de dois milhões de hectares (ha) utilizem alguma ferramenta de AP (SANTI et al., 2009), especialmente aquelas voltadas ao manejo da fertilidade do solo. A utilização de técnicas de Agricultura de Precisão, bem como seu emprego no manejo localizado da fertilidade do solo, vem sendo amplamente utilizado. (LUZ et al., 2014). São usados diversos indicadores para verificar se existe ou não necessidade de calagem, que foram desenvolvidos pelos programas regionais de pesquisa em Fertilidade do Solo. Os indicadores de acidez mais utilizados são: o pH em água, no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina (CQFS RS/SC, 2004); a saturação por bases, em São Paulo (Raij et al., 2001).

A eficiência do manejo da fertilidade do solo, realizado nas áreas de Agricultura de Precisão é diretamente condicionada pela qualidade da amostragem de solo, tradicionalmente realizada de modo sistemático por meio de malhas regulares (KERRY et al., 2010; WEBSTER & LARK, 2012), a qual deve possibilitar captar as diferentes escalas de variabilidade espacial dos atributos do solo (BOTTEGA et al., 2013).

A análise espacial está diretamente ligada ao mundo dos SIG, pois nela constam-se todas as transformações, manipulações e métodos que podem ser acrescentados e aplicados aos dados geográficos, adicionando valores aos dados não amostrados a partir de técnicas estatísticas de interpolação que geram esses valores a partir dos dados já amostrados. Apoiando assim na tomada de decisões e revelando padrões e irregularidades que não são vistos sem a realização da mesma. Em outras palavras, é o processo no qual se transforma dados brutos em informação direcionada e útil para a finalidade de cada especificidade de trabalho científico ou técnico (FITZ, 2008; LONGLEY et al., 2013; MIRANDA, 2015).

Para Molin (2014), mapa de produtividade de uma lavoura é um conjunto de vários pontos. Cada ponto deste representa uma pequena amostra da lavoura, sendo que, o dado mais

importante é a quantidade de grãos colhidos naquele determinado ponto, é importante e necessário conhecer a posição espacial deste ponto.

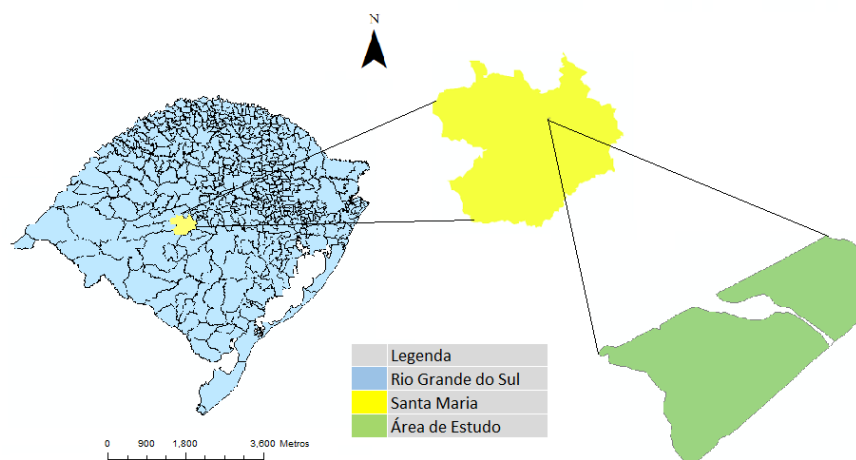
Este trabalho tem o objetivo analisar variabilidade espacial e temporal dos atributos químicos do solo e da produtividade da soja em dois anos. Tendo como objetivos específicos, fazer a estatística descritiva e análise espacial do P, K, pH, para gerar as classes de recomendação dos fertilizantes e corretivos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

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. Na figura 1 está a área experimental de 33,82 ha, está situado nas coordenadas geográficas de latitude 29° 43'08.83"S e longitude 53° 45'23.74" 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, sendo úmido o ano todo, com temperatura entre -3° C e 18° C no inverno, e verão com média superior a 22°, situa-se numa zona de transição entre o Planalto Meridional Brasileiro e a Depressão Central do Rio Grande do Sul. PEREIRA (1989).

De acordo com EMBRAPA (2006) o solo da região é 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.

Figura 1 – Localização da área de estudo no Município de Santa Maria, Rio grande do Sul.



Fonte: Autor

No manejo e condução do sistema da área, iniciado em 2012, e com uma segunda em 2017, utilizou-se as ferramentas de: amostragem georreferenciada do solo; interpretação dos atributos químicos; elaboração de mapas de fertilidade das condições químicas; recomendações e aplicações de corretivos e fertilizantes na área, mapas de produtividade. No período estudado, de 2012 a 2017, a sequência de cultura utilizada está descrita no quadro 1.

Quadro 1 – Histórico de Cultivos realizados nas áreas de estudo nos anos de 2011/2012 a 2017/2018.

<b>Safra</b>	<b>Talhão – Vossoroca Norte (menor)</b>	<b>Talhão - Vossoroca Sul (maior)</b>
Verão 2011/2012	Soja (grãos)	Soja (grãos)
Inverno 2012	Trigo (grãos)	Trigo (grãos)
Verão 2012/2013	Soja (grãos)	Soja (grãos)
Inverno 2013	Aveia-Preta (cobertura)	Centeio (cobertura)
Verão 2013/2014	Soja (grãos)	Soja (grãos)
Inverno 2014	Trigo (grãos)	Aveia-Preta (cobertura)
Verão 2014/2015	Soja (grãos)	Soja (grãos)
Inverno 2015	Centeio (cobertura)	Aveia-Preta (cobertura)
Verão 2015/2016	Soja (grãos)	Soja (grãos)
Inverno 2016	Azevém (pastagem)	Azevém (pastagem)
Verão 2016/2017	Soja (grãos)	Soja (grãos)
Inverno 2017	Aveia Preta + Azevém (pastagem)	Azevém (pastagem)
Verão 2017/2018	Soja (grãos)	Soja (grãos)

Fonte: O Autor

A amostragem de solo foi realizada em 2012 e a reamostragem em 2017, utilizando uma malha amostral 100 x 100 m, totalizando 33 pontos amostrais, em uma área de 33.83 ha. A profundidade de coleta foi de 0 a 20 cm, utilizando como instrumento amostrador a pá de corte (COMISSÃO 2004), sendo que cada ponto de amostragem foi realizado 5 sub-amostras, no formato de cruz (uma amostra no ponto central e 4 nas extremidades, aproximadamente a 30 metros do ponto central). Mesmo procedimento adotado na reamostragem de 2017.

Nas safras agrícolas dos cultivos para produção de grãos, a adubação era realizada na base e em cobertura, quando necessário. Nos anos em que os cultivos eram destinados para cobertura do solo e/ou produção de forragem (pastagem), não se realizava adubação de base nas áreas, apenas N em cobertura com ureia. Em julho de 2012 foi realizada calagem nas áreas, superficial, com calcário dolomítico (PRNT 70%), em três diferentes taxas de aplicação, para elevação do pH para 5,5. As taxas de aplicação foram definidas com base no Índice SMP (COMISSÃO, 2004). Além disso, os níveis de P e K foram corrigidos, para elevação para o nível “alto”. Em maio de 2017, novamente, foi realizada calagem nas áreas, superficial, com calcário dolomítico (PRNT 70%), em três diferentes taxas de aplicação, para elevação do pH para 6,0. As taxas de aplicação foram definidas com base no Índice SMP (COMISSÃO, 2004). As taxas de aplicação foram definidas com base em equações polinomiais que levam em conta

o teor de matéria orgânica e de Al trocável (COMISSÃO, 2016). Além disso, os níveis de P e K foram corrigidos, para elevação para o nível “alto”. Os custos levantados de corretivos e fertilizantes, foi com base no MFRURAL.

Foi realizada análise química completa das amostras, para ambos os anos de 2012 e 2017. Para fins de estudo desse trabalho foram utilizadas as determinações do K, P, pH no solo. Estes dados da análise química do solo foram obtidos do banco de dados da UFSM em arquivo formato Vetorial Extensão. VET, transformado em shapefile e posterior uso no Campeiro, para fazer os mapas de fertilidade.

De posse dos resultados da análise química do solo, foi realizada a estatística descritiva através no MSExcel através da ferramenta “Análise de Dados” para os anos de 2012 e 2017. Após esse procedimento foi utilizado o software Campeiro versão 7.40 para interpolação. Antes de analisar os dados, foram unidas as duas áreas, com o uso da ferramenta topografia no próprio software, fazendo um único shape. Utilizando a ferramenta Agricultura de Precisão na estruturação de modelos digitais (MDT), utiliza um raio de 250 metros e com a estrutura de linhas e colunas de células X (2,3), Y (2,3), na definição de linhas e colunas, e com a interpolação no IDW, salva em formato MDT. Para visualizar os modelos digitais, e fazer a espacialização dos mapas e definir as classes de acordo com o manual de adubação e calagem (2016).

Os dados de produtividade foram obtidos com o auxílio de colhedora Massey Ferguson, modelo MF 32, equipada com sistema “fieldstar”, que congrega um conjunto composto de sensor de rendimento do tipo “micro-trak” de duas hastes, cartão para armazenamento de dados tipo PCMCIA e antena receptora de sinal Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS) com sistema de Posicionamento Global (GPS), com a máquina calibrada para a colheita. Fiz o polígono das áreas de acordo com os pontos de colheita da máquina. Na safra 2012/2013 e 2017/2018 foram analisados dentro da ferramenta edição de rendimentos VPP (Vetor pontos produtividade), excluindo os extremos e um segundo filtro eliminando valores menores que 1000 kg.

E com o auxílio da ferramenta edição de arquivos VPP para observar a distribuição dos pontos de colheita na célula para ver a normalidade dos pontos de colheita, para depois fazer os mapas de colheita, fazer a interpolação IDW e visualização os modelos digitais e classificar com 3 classes de porcentagem, < 95 (Baixa), > 95-105 (Média), > 105 (Alta), para área vossoroça norte e sul.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as análises dos atributos químicos do solo foi possível fazer a estatística descritiva dos laudos 2012 e 2017, mostrado no Anexo A. A variabilidade dos atributos químicos no laudo pode ser classificada em função do seu coeficiente de variação (CV), mostrar a regularidade ou homogeneidade das amostras na área. Nestes foi possível observar a alta heterogeneidade do Zn, Saturação por Alumínio, Al. No pH em relação à média aumentou em 2017, comparado com o ano de 2012, com a aplicação de corretivos e fertilizantes a taxa variável, elevando a produtividade da soja. O Fósforo (P), reduziu um pouco a média, mais manteve-se, parecido os valores com o ano de 2017, e o Potássio aumentou a média, mais se mantiveram de médio a alto (COMISSÃO 2016), devido a adubações de manutenção. A Matéria Orgânica (MO), reduziu seus valores em 2017, na faixa de 2,33 % (baixo), devido à redução de palhada e de nitrogênio.

Segundo Resende et al. (2010), mesmo em solos de alta fertilidade, existem diferenças de fertilidade entre alguns talhões, evidenciando que a utilização uniforme do corretivo ou fertilizante em área total ocasionaria desperdício por parte do produtor, podendo resultar em degradação do meio ambiente e redução dos lucros.

Na figura 2 mostra o comportamento do K ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), na área ficou entre 80–120 (média), e 120-280 (Alta), a maior parte, devido as adubações de manutenção.

Figura 2 – Mapa dos Níveis de Fertilidade do Potássio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), nos anos de 2012.

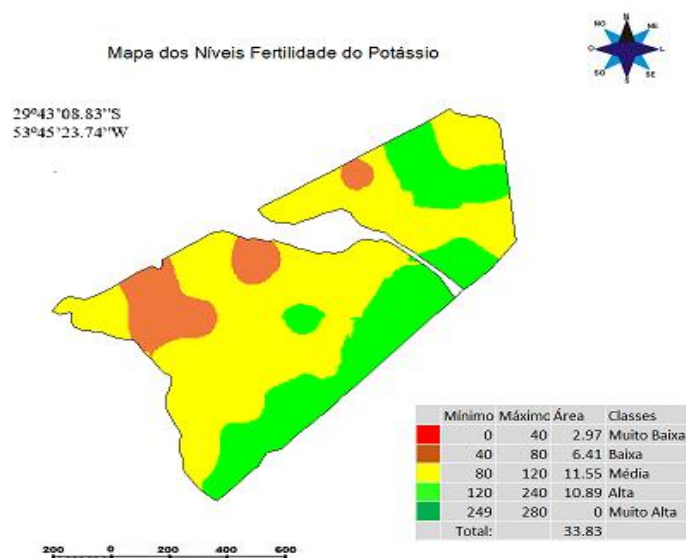




Figura 3 mostra o comportamento do K ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), na área ficou entre 80–120 (média), e 120-280 (Alta). Na área menor teve, correções de fertilizantes e corretivos com mais frequência, onde observa-se a diminuição da variabilidade espacial desse atributo.

Figura 3 – Mapa dos Níveis de Fertilidade do Potássio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), no ano de 2017.

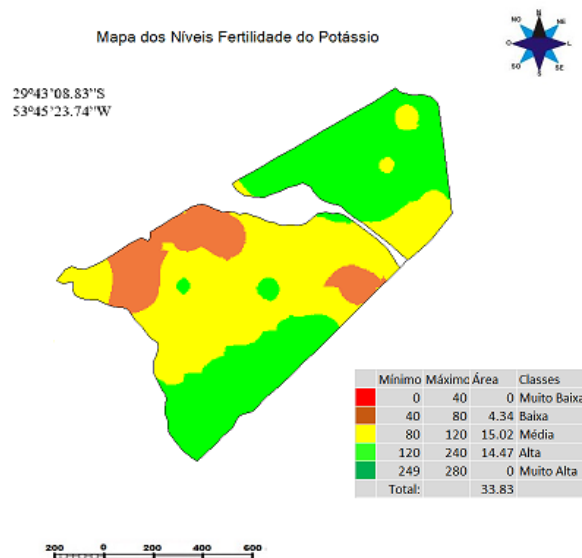
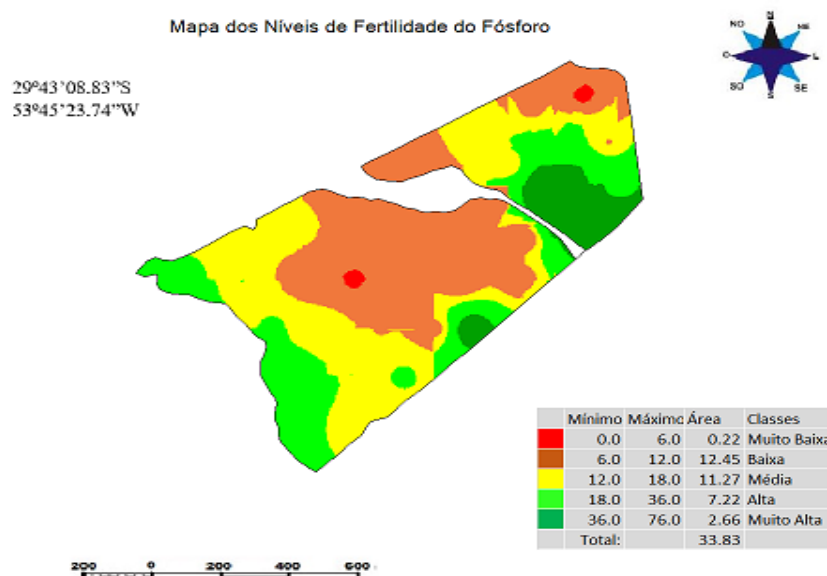


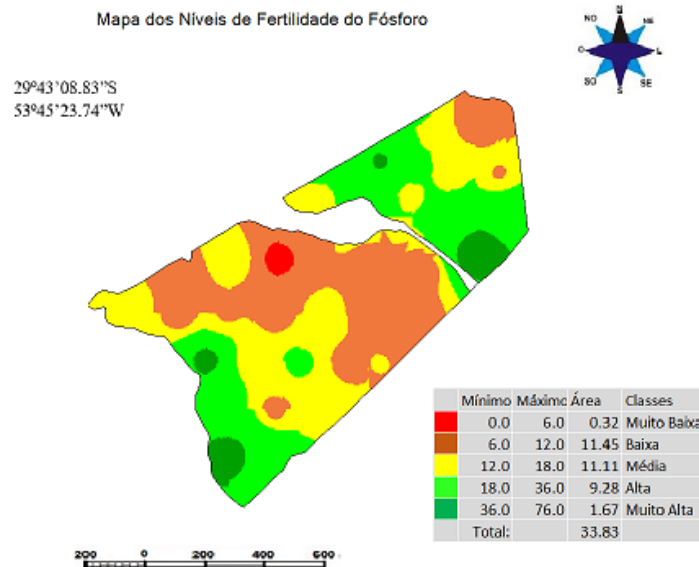
Figura 4 mostra o comportamento do P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), no ano de 2012, ficou entre 6-12 (Baixa), e 12-18 (Média), observa-se que concentra a maior parte das áreas. Isso deve-se as adubações de manutenção.

Figura 4 – Mapa dos Níveis de Fertilidade do Fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), no ano de 2012.



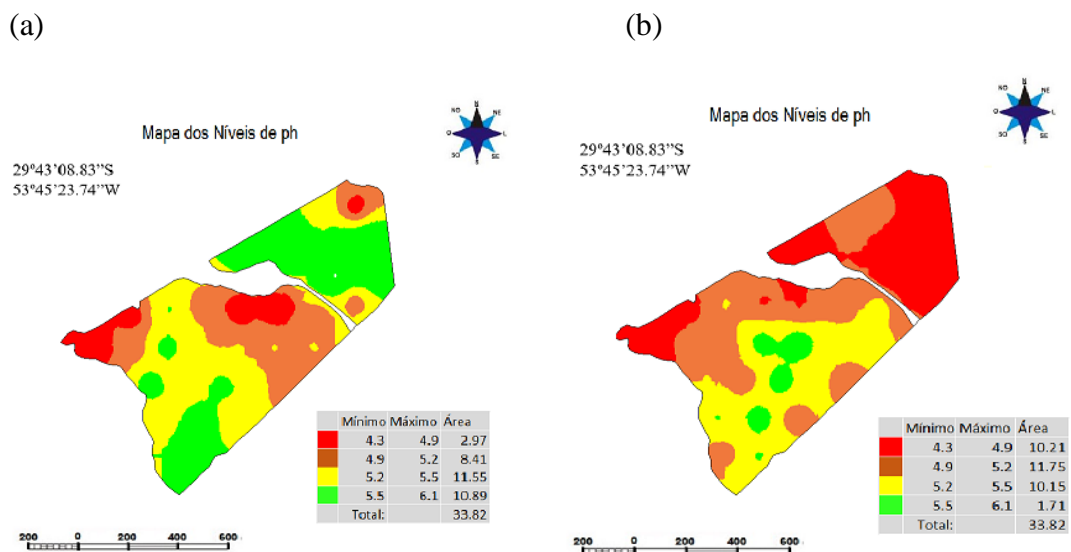
Em 2017 na figura 5 o comportamento do P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), ficou entre 6-12 (Baixa), 12-18 (Média), observa-se que regrediu em tamanho de área, mais continua sendo a maior. Isso deve-se as adubações de manutenção, apesar da variabilidade espacial e temporal desse atributo ter aumentado.

Figura 5 – Mapa dos Níveis de Fertilidade do Fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), no ano de 2017.



A figura 6 mostra o mapa de pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ), no ano de 2012 (a) e 2017 (b). A média do pH era de 5.07 no ano 2012 e no ano de 2017 subiu para 5.33, isso deve-se as correções, principalmente na área da Vossoroça Norte (menor). Como estratégia podemos corrigir o pH nos pontos onde se encontra menores para chegar a um pH 6.0.

Figura 6 – Mapa dos Níveis de pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ), no ano de 2012 (a) e 2017 (b).



Na tabela 1 mostra a estatística descritiva dos dados de colheita da cultura da soja, onde observa-se valores bem distintos devido as adubações e correções que foram feitas na área. Destaca-se a safra de 2017/2018, que teve adubações a taxa variável, obteve maiores rendimentos, comparado a safra 2012/2013 devido a questões financeiras.

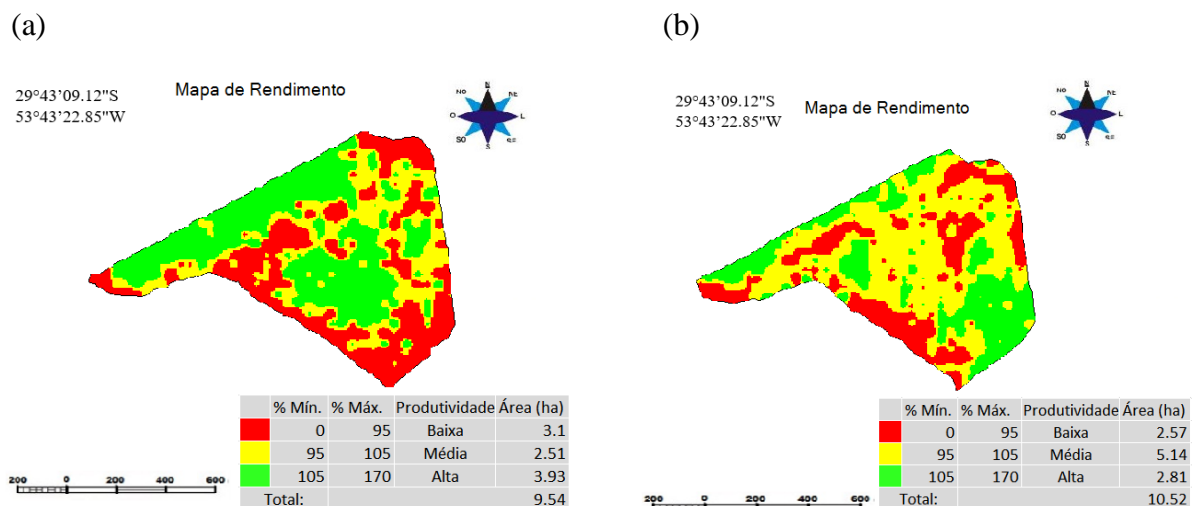
Tabela 1 – Estatística descritiva dos dados brutos de colheita safra 2012/2013 e 2017/2018.

Rend/Talhão	M	Med	Var.	Assi.	Cur.	DP	CV(%)
V. N/2012/2013	1602.89	1911.70	1772050.46	0.9396	5.6004	1331.18	83.04
V.N/2017/2018	3029.03	3105.00	777137.75	0.2596	1.3851	881.55	29.10
V.S/2012/2013	1616.42	1500.20	2936792.72	2.7472	19.8831	1713.70	106.01
V.S/2017/2018	2782.83	2841.30	2244789.37	0.2159	0.3249	1498.26	53.83

Legenda: V.N = Vossoroca Norte, V.S = Vossoroca Sul, M = Média, Med = Mediana, Variância, DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de variação. Fonte: O Autor

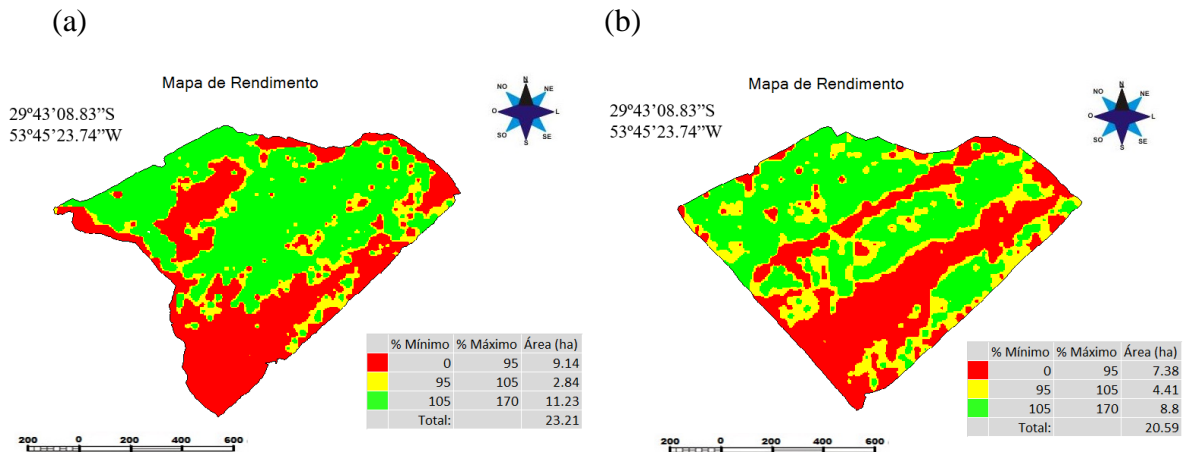
Na figura 7 mostra o mapa de rendimento da soja, com três classes de produtividade em porcentagem, essa diferença de área deu-se pelos pontos de colheita, onde fiz novo shapefile. Observa-se que a safra 2012/2013 teve rendimento menor em comparação com a safra 2017/2018, reduzindo a variabilidade espacial e temporal, devido as correções e fertilizantes no talhão.

Figura 7 – Mapa de Rendimento da Soja (Vossoroca Norte): safra 2012/2013 (a) e 2017/2018.



Na figura 8 mostra o mapa de rendimento da soja, com três classes de produtividade em porcentagem, essa diferença de área deu-se pelos pontos de colheita. Observa-se que a safra 2012/2013 teve rendimento menor em comparação com a safra 2017/2018, reduzindo a variabilidade espacial e temporal, devido as correções e fertilizantes no talhão.

Figura 8 – Mapa de Rendimento da Soja (Vossorooca Sul): safra 2012/2013 (a) e 2017/2018



No período estudado está e a sequência de aplicação de fertilizantes e corretivos utilizada está descrita no quadro 2, observa-se que no ano de 2012 na área Vossorooca Norte teve um investimento menor em Calcário e Cloreto de Potássio e maior em Superfosfato triplo, em relação ao ano de 2017. A área Vossorooca Sul teve um investimento em Calcário menor em Calcário e Superfosfato triplo maior e o Cloreto de Potássio se manteve.

Quadro 2 - Histórico da Aplicação de Corretivos e Fertilizantes nos anos de 2012 e 2017.

Safra/Área	Produto	Quantidade Kg (Total)	Custo/Tonelada	Total
VN: 2012	Calcário Dolomítico (PRNT 70%)	30.000 Kg	R\$ 68,50	R\$ 2.055,00
	Superfosfato Triplo	1.400 Kg	R\$ 320,00	R\$ 448,00
	Cloreto de Potássio	420 Kg	R\$ 1.850,00	R\$ 777,00
				<b>R\$ 3.280,00</b>
VN: 2017	Calcário Dolomítico (PRNT 70%)	8.000 Kg	R\$ 68.50	R\$ 548,00
	Superfosfato Triplo	2.175 Kg	R\$ 320,00	R\$ 696,00
	Cloreto de Potássio	155 Kg	R\$ 1.850,00	R\$ 286,00
				<b>R\$ 1.530,00</b>
VS: 2012	Calcário Dolomítico (PRNT 70%)	38.000 Kg	R\$ 68.50	R\$ 2.603,00
	Superfosfato Triplo	4.610 Kg	R\$ 320,00	R\$ 1.475,20
	Cloreto de Potássio	1.240 Kg	R\$ R\$ 1.850,00	R\$ 2.294,00
				<b>R\$ 6.372,20</b>
VS: 2017	Calcário Dolomítico (PRNT 70%)	35.000 Kg	R\$ 68.50	R\$ 2.397,50
	Superfosfato Triplo	6.650 Kg	R\$ 320,00	R\$ 2.128,00
	Cloreto de Potássio	1.190 Kg	R\$ R\$ 1.850,00	R\$ 2.201,50
				<b>R\$ 6.727,00</b>

Legenda: VN = Vossorooca Norte, VS = Vossorooca Sul. Fonte: O Autor

## CONCLUSÕES

Os dados analisados no software Campeiro e uma ferramenta que viabiliza com rapidez e precisão a geração de mapas de fertilidade e produtividade, através da análise espacial com o método de interpolação IDW, com aplicação a taxa variável reduz o custo de fertilizantes e corretivos, aumentando a produtividade, maximizando os lucros.

A aplicação da taxa variável reduziu a variabilidade espacial e temporal das áreas, mostrou-se viável uma amostragem por hectare, o que viabiliza a agricultura de precisão.

O estudo da variabilidade espacial tem um grande potencial para ser aplicado na agricultura de precisão, com isso fazendo um manejo diferenciado para se estudar a produtividade.

## REFERÊNCIAS

- 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
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para o estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul: UFRGS, 2016. 376p.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para o estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul: UFRGS, 2004. 400p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, EMBRAPA Solos, 2006. 306p.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de textos. 1ª ed. 2008. 160 p.
- FREITAS, R.E.; MENDONÇA, M.A.A. **Expansão Agrícola no Brasil e a Participação da Soja: 20 anos**. Revista de Economia e Sociologia Rural, v.54, n.03, p.497-516, 2016.
- KERRY, R. et al. **Sampling in precision agriculture**. In: OLIVER, M.A. (Org.). Geostatistical applications for precision agriculture. Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. p.35-63.
- LONGLEY, P.A. et al. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. 3. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013. 540p.
- LUZ, M.L.G.S.; LUZ, C.A.S.; GADOTTI, G.I. Agricultura de precisão. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária - UFPel, 2014. 268p.
- MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 4. ed. Brasília, DF. EMBRAPA, 2015. 399p.
- MOLIN. J.P. **Geração e interpretação de mapas de produtividade para a agricultura de precisão**. In: BORÉM, A.; GIUDICE, M. P.; QUIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA. L.R.;VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L. Agricultura de precisão. Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- PEREIRA, P. R. B. et al. **Contribuição a Geografia Física do Município de Santa Maria: Unidades de Paisagem**. In: Geografia: Ensino & Pesquisa. Santa Maria, (3):37-68, 1989.
- RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. S.; COELHO, A. M.; CORAZZA, E. J.; VILELA, M. F.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; BASSOI, L. H.; NAIME, J. M. **Agricultura de precisão no Brasil: Avanços, Dificuldades, e Impactos no Manejo e Conservação do Solo, Segurança Alimentar e Sustentabilidade**. In: XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA Anais de evento. Teresina-PI, 2010.
- SANTI, A.L. et al. **É chegada a hora da integração do conhecimento**. Revista Plantio Direto, v.129, n.1, p.24-30, 2009.

WEBSTER, R.; LARK, M. **Field sampling for environmental science and management.**  
London: Routledge. 2012. 200p.

### 3 CONCLUSÃO

Após a realização da presente dissertação, foi possível concluir que os atributos químicos do solo analisados com o Software Campeiro versão 7.40 são ferramentas que viabilizam com rapidez e precisão a geração de mapas de fertilidade e produtividade, fornecendo um banco de dados, com isso gerando uma prescrição para a aplicação de insumos.

A variabilidade espacial, reduziu com aplicação de corretivos e fertilizantes, mostrou-se viável uma amostragem por hectare.

Os objetivos gerais e específicos deste trabalho foram atendidos. Ressalta-se também que a metodologia utilizada atendeu ao esperado, devido aos resultados gerados. Indica-se esses dados para entender mais sobre a variabilidade espacial desses atributos químicos do solo, observando o comportamento desses nutrientes.

Enfatizo também, a importância desse estudo para se verificar a variabilidade espacial com a produtividade, para se fazer um manejo diferenciado para a área.



## REFERÊNCIAS

- Alvarenga, L. H. V.; Pinto, A. L. R.; Silva, S. T, Altoé, T. F.; Morais, V. A.; MELLO, J. M. **Comparação de procedimentos de amostragem na precisão de Inventário Florestal em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual**. XIX Congresso de Pós-graduação da UFLA, 2010.
- ALVES, E. **Nosso problema de difusão de tecnologia**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Brasília. Revista de Política Agrícola. Nº 1. Mar. 2012.
- AMADO, T. J. C. et al. **Atributos químicos e físicos de LATOSSOLOS e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 4, p. 831-843, 2009.
- AMADO, T.J.C. et al. **Projeto Aquarius-Cotrijal: pólo de AP**. Revista Plantio Direto, Passo Fundo, v. 91 n. 1, p. 39-47, jan/fev. 2006.
- ARAÚJO, J. C. **Determinação de zonas de manejo e estimativa da produtividade de culturas de grãos por meio de videografia aérea digital multiespectral**. Tese de Doutorado em Agronomia – Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP, p.118, 2004.
- ARSLAN, S.; COLVIN, T. S. **Grain Yield Mapping: Yield sensing, Yield reconstruction, and errors**. Precision Agriculture, v.3, p. 135-154, 2002.
- BALASTREIRE, L.A. **Estudo de caso, uma pesquisa brasileira em agricultura de precisão**. In: SILVA, FM.; BORGES, P.H. de M. Mecanização e agricultura de precisão. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p.203-32.
- BLACKMORE, B. S.; MOORE, M. R. **Remedial correction of yield map data**. Precision Agriculture, v.1, p.53-66, 1999.
- BERNARDI, A.C. de C.; MACHADO, P.L.O. de A.; SILVA, C.A. **Fertilidade do solo e demanda por nutrientes no Brasil**. In: MANZATTO, C.V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J.R.R. (Ed.). Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p.61-77.
- BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASSU, R. Y. **Agricultura de Precisão: Resultados de um novo olhar**. BERNARDI et al. 2014.
- BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO M. J. CAMARGO, F. A. O. **Fertilidade dos solos e manejo de adubação de culturas**. Porto Alegre: Metrópole Indústria Gráfica, 2004. 322p.
- BRUM, A. L.; HECK, C. R.; LEMES, C. L.; MÜLLER, P. K.: **A economia mundial da soja: impactos na cadeia produtiva da oleaginosa no Rio Grande do Sul 1970-2000**. Anais dos Congressos. XLIII Congresso da Sober em Ribeirão Preto. São Paulo, 2005.
- BRUSCO, J.; SOUZA, E. G.; JUNIOR, F. A. R.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. **Mapas de lucratividade da soja em sistema de cultivo agricultura de precisão e cultivo convencional**. In: 3º SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 6p., 2005. Sete Lagoas. Anais... Sete Lagoas: SIAP, 2005.

- BURROUGH, P.A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford: Oxford University Press, 1986. 193p.
- CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M. & VIEIRA, S.R. **Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos**. Pesq. Agropec. Bras., 37:1151-1159, 2002.
- CHANG, K-T. **Introduction to Geographic Information Systems**. 3ªed. McGraw Hill. 2006. 448p.
- COELHO JUNIOR, J. M.; ROLIM NETO, F. C.; ANDRADE, J. S. O. **Topografia Geral**. Recife: Editora UFRPE, 2014. 199p
- CONAB - **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos – 2016/17**. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.4, n.9, 2017.
- COSTA, Maristela Agronegócio: **O motor da economia brasileira e o dinamismo da economia paranaense**. Disponível em:  
<<http://www.administradores.com.br/artigos/economia-e-financas/o-agronegocio-no-brasil>>. (Acesso dia 16/02/2019).
- DAMPNEY, P. M. R.; MOORE, M. **Precision agriculture in England: current practice and research-based advice to farmers**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4. 1998, St. Paul. Proceedings... Madison: American Society of Agronomy, 1999. Part A, p.661-673.
- DEUTSCH, C.V.; JOURNEL, A.G. GSLIB. **Geostatistical software library and user's guide**. New York: Oxford University, 1998. 369p. CD-Rom.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. **Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina, 2010.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de textos. 1ª ed. 2008. 160 p.
- FREITAS, R.E.; MENDONÇA, M.A.A. **Expansão Agrícola no Brasil e a Participação da Soja: 20 anos**. Revista de Economia e Sociologia Rural, v.54, n.03, p.497-516, 2016.
- GASTALDI, J. PETRELLI. **Elementos de Economia Política**. Capítulo 8 Organização e técnica da produção. São Paulo, Editora Saraiva, 17ª. Ed. 2001.
- GIOTTO E. et al. **Agricultura de Precisão no Sistema CR Campeiro 7 – 1ª ed.** – Santa Maria: CESPOL, 2016.
- LANDIM, P. M. B.; MONTEIRO, R. C.; CORSI, A. C. **Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Laboratório Geomatématica. Texto Didático 08, 21 p. 2002.

LI, H.; LASCANO, R. J.; BOOKER, J.; WILSON, L. T.; BRONSON, K. F.; SEGARRA, E. **State-space description of field heterogeneity: water and nitrogen use in cotton.** *Soil Science Society of America Journal*, v.66, n.2, p.585-595, 2002.

LONGLEY, P.A. et al. **Sistemas e ciência da informação geográfica.** 3. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013. 540p.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **AGROSTAT-Estatísticas de Comercio Exterior do Agronegócio Brasileiro**, 2011. Disponível em: Acesso em: 03 set. 2011.

MACHADO, J. **Interpolação das curvas de nível no programa Surfer 8.0 através de imagens do Google Earth.** *Revista Geama*, v.1, n.3, 2015a.

MACHADO, J. **Modelo digital do terreno através de diferentes interpolações do programa Surfer 12.** *Revista Geama*, v.1, n.3, 2015b.

MACHADO, J.; ROLIM NETO, F. C.; ANDRADE, J. S. C. **Main surveying instruments used in environmental monitoring: a classic approach of the book Topografia Geral.** *Revista Geama*, v.2, n.2. 2016.

MAIA, J. L. T.; RIBEIRO, M. R. **Cultivo contínuo da cana-de-açúcar e modificações químicas de um Argissolo Amarelo fragipânico.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.11, p.1127-1132, 2004.

MENDES, A. M. S.; FONTES, R. L. F.; OLIVEIRA, M. **Variabilidade espacial da textura de dois solos do Deserto Salino, no Estado do Rio Grande do Norte.** *Revista Ciência Agrônômica*. v. 39, n. 1, p. 19-27, 2008.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. **Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.8, p.126-134, 2004.

MOLIN, J. P. **Utilização de GPS em agricultura de precisão.** *Engenharia Agrícola*, v. 17, n. 3, p. 121-132, 1998.

MOLIN, J.P. **Geração e interpretação de mapas de produtividade para a agricultura de precisão.** In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.;VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L. *Agricultura de precisão.* Universidade Federal de Viçosa, 2000.

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

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas.** 4. ed. Brasília, DF. EMBRAPA, 2015. 399p.

MUELLER, T. G. et al. **Soil electrical conductivity map quality.** *Soil Science*, Philadelphia, v. 169, n. 12, p. 841-851, 2004.

PENA.R.A. SIG. Brasil Escola; 2016. Disponível em:

<<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/sig.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

PEREIRA, F. J. S.; MOLIN, J. P. **Bancada de ensaio para avaliação de monitores de produtividade de grãos**. Engenharia Agrícola, v.23, p.568-578, 2003.

ROSA JUNIOR, E.J. et al. **Manejo do solo e de culturas e seu efeito sobre soja e atributos de um latossolo**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria

SANTI, A. L., Amado, T. J. C., Pontelli, C.B., Schenato, R.B., Bellé, G.L., Dellamea, R.B.C., Pés, L., Pizzuti, L. **Indicadores da qualidade e da expressão do potencial produtivo do solo sob sistema plantio direto – dados preliminares**. Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, Recife, 2005.

SANTI, A. L.; GIOTTO, E.; SEBEM, E.; AMADO, T. J. C. **Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul**. CESPOL. 2016.

SANTOS, M. L.; CARVALHO, M. P.; RAPASSI, R. M. A.; MURASHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F. A. **Correlação linear e espacial entre produtividade de milho e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do cerrado brasileiro**. Acta Scientiarum Agronomy, Maringá, v.28, n.3, p.313- 321, 2006.

SANTOS, Lucas B. **Viabilidade econômica da implantação de agricultura de precisão na cultura do arroz irrigado em Cachoeira do Sul/RS**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2014. 72 p.

SCHOFFEL, A.; FIORIN, J. E.; SILVA, A. N.; WYZYKOWSKI, T. **Manejo da Adubação para Alta Produtividade na cultura da Soja**. Disponível em:

< <http://www.unicruz.edu.br/seminario>> Acesso em 10 de Março de 2019.

SCHUELLER, J.K. **O estado-da-arte da agricultura de precisão nos Estados Unidos**. In: BALASTREIRE, L.A. (Ed.). O estado-da-arte da agricultura de precisão no Brasil. Piracicaba, 2000. p.8-15.

SILVA, G.L.S.P. da. **Produtividade agrícola, pesquisa e extensão rural**. São Paulo, IPFJUSP, 1984. (Série Ensaio Econômicos, 40).

SILVA, V. R. et al. **Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um argissolo vermelho-amarelo**. Distrófico arênico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003.

SILVA, S. A. et al. **Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos na estimativa de atributos do solo em agricultura de precisão**. Indesia (Chile), v. 26, n. 2, p. 75-81, 2008.

SOUZA, Z. M; BARBIERI, D. M; MARQUES JÚNIOR, J; PEREIRA, G. T; CAMPOS, M. C. C. **Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo na aplicação de insumos para cultura da cana-de-açúcar.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.31, n.2, p. 371-377, 2007.

VASCONCELLOS, M. A. S.;GARCIA, M. E. **Fundamentos de Economia.** São Paulo, Saraiva, 2005.

VENDRUSCULO, L.G. **Desenvolvimento de um sistema computacional para análise geoestatística.** Campinas, Universidade de Campinas, 2001, 87p. (Tese de Mestrado).

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola.** Porto Alegre, 2001. 143 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)- Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001

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

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C. & REYNOLDS, W.D. **Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data.** In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2, p.1-45.

WERNER, V. et al. **Aplicação de fertilizantes a taxa variável em agricultura de precisão variando a velocidade de deslocamento.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 6, p. 658-663, 2007.

ZHU, Y. & SHAO, M. **Variability and pattern of surface moisture on a small-scale hillslope in Liudaogou catchment on the northern Loess Plateau of China.** Geoderma, v.147, p.185-191, 2008

**ANEXOS**

## ANEXO A

Tabela 2 – Estatística descritiva dos atributos químicos do solo (2012-2017).

Atributos	Média		Mínimo		Máximo		Mediana		Variância		Assimetria		Curtose		DP		CV (%)	
	2012	2017	2012	2017	2012	2017	2012	2017	2012	2017	2012	2017	2012	2017	2012	2017	2012	2017
<b>Ano</b>	2012	2017	2012	2017	2012	2017	2012	2017	2012	2017	2012	2017	2012	2017	2012	2017	2012	2017
<b>Argila</b>	21,12	23,75	16	18	27	28	2,1	24	6,23	6,93	-0,0055	-0,6042	-0,2271	-0,0872	2,49	2,63	11,82	11,08
<b>Textura</b>	3,24	3,12	3	3	4	4	3	3	0,18	0,10	1,2600	2,4332	-0,4428	4,1699	0,43	0,33	13,42	10,61
<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	5,07	5,33	4,4	4,6	5,7	6,1	5	5,3	58,56	0,15	5,7278	-0,0460	32,8682	-0,8551	7,65	0,39	119,40	7,43
<b>Índice (SMP)</b>	5,69	5,95	5,0	5,2	6,3	6,7	5,7	5,9	0,32	0,16	-0,0994	0,0691	-0,4850	-0,7370	0,32	0,40	5,70	6,76
<b>P (mg dm<sup>-3</sup>)</b>	18,30	17,55	5,3	3,7	76	49,3	13,5	15,1	301,12	134,87	2,5529	1,3543	6,4355	1,0990	17,35	11,61	94,77	66,14
<b>K (mg dm<sup>-3</sup>)</b>	111,27	119,87	64	44	212	236	108	116	1250,45	1718,48	1,0028	0,8074	1,1405	1,2500	35,36	41,45	31,77	34,58
<b>M.O (%)</b>	3,48	2,33	2,6	1,1	4,3	3,2	3,5	2,5	0,18	0,38	0,3616	0,8074	-0,1800	-0,3641	0,43	0,61	12,46	26,52
<b>Al (cmolc dm<sup>-3</sup>)</b>	0,42	0,30	0	0	2,2	1,6	0,2	0,1	0,27	0,18	2,0656	-0,8691	4,3379	2,3008	0,52	0,42	123,75	140,36
<b>Ca (cmolc dm<sup>-3</sup>)</b>	10,83	10,29	5,8	5,2	16,7	15,8	10,29	10,57	1,91	7,40	0,3580	1,6738	-0,9200	-0,4550	3,23	2,72	29,88	26,44
<b>Mg (cmolc dm<sup>-3</sup>)</b>	4,53	4,35	2,2	2,13	7,1	7,07	4,26	4,24	1,91	1,73	0,3570	0,1653	-1,0717	-0,4687	1,38	1,31	30,52	30,28
<b>H + Al (cmolc dm<sup>-3</sup>)</b>	6,63	5,11	3,1	2	13,7	10,9	6,2	4,9	6,40	5,34	0,9678	0,3139	0,8992	-0,0977	2,53	2,31	38,14	45,17
<b>CTC efetiva</b>	16,08	15,24	10,3	9,3	24	23	15,6	15,1	18,90	14,08	0,4472	0,7488	-0,9695	-0,3150	4,34	3,75	27,03	24,60
<b>CTC pH7.0</b>	22,29	20,06	15,1	13,9	31,3	39,5	21,6	19,9	14,71	12,02	0,3483	0,3731	-0,1787	1,4324	3,83	3,46	17,20	17,28
<b>Sat. Bases (%)</b>	69,42	73,89	39,1	46,9	87,1	91,1	72,5	77,5	151,61	154,70	-0,5918	0,8451	-0,4904	-0,6285	12,31	12,43	17,73	16,83
<b>Sat. Al (%)</b>	3,27	2,63	0	0	20	17,2	1,6	0,7	20,07	17,31	2,2708	-0,7198	5,6388	4,2518	4,48	4,16	136,91	157,67
<b>Ca/Mg (mg dm<sup>-3</sup>)</b>	2,40	2,4	2,1	2	2,8	3	2,4	2,4	0,027	0,08	0,2453	2,0717	-0,5713	-1,1165	0,19	0,28	8,06	1,78
<b>Zn (mg dm<sup>-3</sup>)</b>	1,52	1,13	0,57	0,34	12,7	5,3	0,75	0,77	6,97	0,94	3,7160	0,2469	13,3866	10,9313	2,64	0,97	173,00	815,68
<b>Cu (mg dm<sup>-3</sup>)</b>	0,47	0,41	0,13	0,13	1,97	0,88	0,41	0,39	0,13	0,03	2,8345	2,9650	9,2011	0,3590	0,37	0,18	78,26	44,52
<b>S (mg dm<sup>-3</sup>)</b>	18,21	12,93	13	10,1	22	17,6	18	12,8	5,35	3,37	-0,4033	0,7588	-0,1977	0,0423	2,31	1,83	12,71	14,21
<b>B (mg dm<sup>-3</sup>)</b>	0,26	0,15	0,1	0,1	0,5	0,4	0,2	0,1	0,02	0,005	0,4343	0,5783	-1,203	2,2325	0,14	0,07	56,75	48,77

Legenda: P = Fósforo; K = Potássio; M.O = Matéria Orgânica; Al = Alumínio; Mg = Magnésio; H + Al = Acidez Potencial; Sat. Bases = Saturação de Bases; Sat. Al = Saturação de Alumínio; Relação Ca/Mg = Relação Cálcio/Magnésio; Zn = Zinco; Cu = Cobre; S = Enxofre; B = Boro; DP = Desvio Padrão; CV = Coeficiente de variação. Fonte: O Autor.