

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

Juliano Reis da Silva

**METODOLOGIA PARA A IMPLANTAÇÃO DA VITICULTURA DE  
PRECISÃO NA REGIÃO DE SANTA MARIA: FASE DE  
PROSPECÇÃO DE CAMPO**

Santa Maria, RS  
2023

Juliano Reis da Silva

**METODOLOGIA PARA A IMPLANTAÇÃO DA VITICULTURA DE PRECISÃO NA  
REGIÃO DE SANTA MARIA: FASE DE PROSPECÇÃO DE CAMPO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agricultura de Precisão.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Gebler

Santa Maria, RS  
2023

**Juliano Reis da Silva**

**METODOLOGIA PARA A IMPLANTAÇÃO DA VITICULTURA DE PRECISÃO NA  
REGIÃO DE SANTA MARIA: FASE DE PROSPECÇÃO DE CAMPO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Aprovado em 27 de janeiro de 2023.

---

**Luciano Gebler, Dr. (UFSM/EMBRAPA)  
(Presidente/Orientador)**

---

**Lúcio de Paula Amaral, Dr. (UFSM)**

---

**Emanuele Junges, Dra. (IFFar-SVS)**

Santa Maria, RS  
2023

*Se a vida lhe negar um sonho, seja forte o suficiente  
para lhe negar uma lágrima.*

(Don Vito Corleone; O Poderoso Chefão, 1969).

## **AGRADECIMENTOS**

Meus sinceros agradecimentos à Vinícola Velho Amâncio por disponibilizar a área e acolher toda equipe que participou da pesquisa.

Ao professor Dr. Luciano Gebler pela orientação e paciência ao longo da jornada.

Ao professor Dr. Lúcio Amaral pelo auxílio nas coletas de dados a campo e pela coorientação não oficial.

E por último, e talvez mais importante, aos meus pais Liria e Julio, sem eles esta jornada simplesmente não teria sido possível.

## RESUMO

### METODOLOGIA PARA A IMPLANTAÇÃO DA VITICULTURA DE PRECISÃO NA REGIÃO DE SANTA MARIA: FASE DE PROSPECÇÃO DE CAMPO

AUTOR: Juliano Reis da Silva  
ORIENTADOR: Luciano Gebler

O objetivo geral deste trabalho foi analisar e estabelecer bases para a criação da metodologia de implantação da viticultura de precisão na região de Santa Maria. Os objetivos específicos foram: correlacionar a variabilidade espacial da produtividade à variabilidade espacial dos parâmetros químicos do solo e a variabilidade do vigor e NDVI; Diagnosticar, identificar e georreferenciar a variabilidade espacial da produtividade; e Auxiliar o produtor quanto ao gerenciamento das informações de campo por meio de ferramentas e metodologias utilizadas em agricultura de precisão. A pesquisa foi realizada na Vinícola Velho Amâncio, no município de Itaara, em um pomar de 1,23 ha (Latitude 29°39'10.16"S, Longitude 53°46'7.90"W). Foi estabelecida uma malha amostral com 50 pontos utilizando-se o aplicativo Google Earth. Foram realizadas amostras de solo georreferenciadas, medidas de vigor vegetativo e leituras espectrorradiométricas para os 50 pontos. Foram elaborados mapas de variabilidade espacial para todos os parâmetros pesquisados e as correlações entre os parâmetros foram avaliadas através do coeficiente de correlação de Pearson, ao nível de 5%. O nível de concordância entre os mapas de vigor, NDVI e produtividade foi avaliado pelo índice de Kappa. Não foi possível estabelecer relação entre a variabilidade espacial da produtividade e a variabilidade espacial dos parâmetros químicos do solo. Não houve concordância entre os mapas de vigor, NDVI e produtividade. Foi possível diagnosticar, identificar e georreferenciar a variabilidade espacial da produtividade. Os resultados obtidos pelas ferramentas e metodologias de AP, foram importantes para auxiliar o produtor no gerenciamento da atividade.

**Palavras-chave:** Viticultura de precisão. Agricultura de Precisão. Sensoriamento Remoto.

## ABSTRACT

### METHODOLOGY TO DEPLOY PRECISION VITICULTURE IN SANTA MARIA REGION: FIELD PROSPECTION PHASE

AUTHOR: Juliano Reis da Silva  
ADVISOR: Luciano Gebler

The general objective of this work was to analyze and establish basis of a methodology to deploy precision viticulture in Santa Maria region. The specific objectives were: to correlate the spatial variability of the productivity to the spatial variability of the soil chemical parameters and vigor and NDVI parameters; diagnostic, identify and georeference the spatial variability of the productivity; and to assist the producer regarding the management of the field data through the use of precision agriculture tools. This research took place at Velho Amâncio Winery, in Itaara, the orchard had 1,23 ha (Latitude 29°39'10.16"S, Longitude 53°46'7.90"W). It was used a sampling grid of 50 points, where georeferenced soil samples, vigor measurements and spectroradiometry measurements were taken. Spatial variability maps were made for all the researched parameters, and the vegetation indices were correlated through the Pearson correlation coefficient, at 5% level. The level of vigor, NDVI and productivity maps conformity was established by Kappa index. I was not possible to verify relation between the spatial variability of productivity and the spatial variability of soil chemical parameters. There was no relation between vigor, NDVI and productivity maps. It was possible to diagnose, identify and georeference the spatial variability of productivity. The results acquired by the PA tools and methodologies, were important to assist the producer in the activity management.

**Keywords:** Precision Viticulture. Precision Agriculture. Remote Sensing.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Ciclo da implantação da fruticultura de precisão.....	19
FIGURA 2 – Localização da área de pesquisa, em relação ao Rio Grande do Sul	31
FIGURA 3 – Georreferenciamento dos pontos amostrais .....	32
FIGURA 4 – Espectrorradiômetro ASD FieldSpec® HandHeld 2.....	33
FIGURA 5 – Leituras <i>in situ</i> com espectrorradiômetro .....	34
FIGURA 6 – Medidas da taxa de crescimento vegetativo .....	36
FIGURA 7 – Semivariogramas dos atributos químicos do solo interpolados pelo método da krigagem ordinária: (a) Argila; (b) pH em água; (c) MO; (d) P; (e) K; (f) Ca .....	48
FIGURA 8 – Semivariogramas dos atributos químicos do solo interpolados pelo método da krigagem ordinária: (a) Mg; (b) Cu; (c) Zn; (d) B; (e) CTCpH7 .....	49
FIGURA 9 – Semivariogramas dos parâmetros fitotécnicos interpolados pelo método da krigagem ordinária: (a) NDVI1; (b) NDVI2; (c) Fator “a”; (d) Número de cachos por planta; (e) Produtividade .....	51
FIGURA 10 – Validação Cruzada na interpolação por krigagem para as variáveis: (a) Argila; (b) pH em água; (c) MO; (d) P; (e) Ca; (f) Mg; (g) Cu; (h) Zn; (i) B; (j) CTCpH7 .....	53
FIGURA 11 – Mapas de variabilidade espacial e mapas de interpretação: (a) Argila; (b) pH em água; (c) Matéria Orgânica; (d) Fósforo.....	55
FIGURA 12 – Mapas de variabilidade espacial e mapas de interpretação – parte 2: (a) Potássio; (b) Cálcio; (c) Magnésio.....	56
FIGURA 13 – Mapas de variabilidade espacial e mapas de interpretação – parte 3: (a) NDVI 1; (b) NDVI 2; (c) Fator “a”; (d) Cachos/planta; (e) Produtividade .....	58
FIGURA 14 – Comparação visual dos mapas “Fator a” x NDVI x Produtividade .....	59

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Parâmetros de produtividade da safra 2020 obtidos junto ao proprietário .....	37
TABELA 2 – Magnitude da correlação do coeficiente de Pearson proposto por Ferreira (2014) .....	39
TABELA 3 – Interpretação do coeficiente de Kappa proposto por Fonseca (2000)	40
TABELA 4 – Estatística descritiva dos atributos químicos do solo .....	41
TABELA 5 – Estatística descritiva dos parâmetros fitotécnicos .....	44
TABELA 6 – Correlação de Pearson entre atributos químicos do solo e parâmetros fitotécnicos .....	45
TABELA 7 – Correlação de Pearson entre os parâmetros fitotécnicos .....	46
TABELA 8 – Ajuste dos modelos dos semivariogramas dos atributos químicos do solo .....	48
TABELA 9 – Ajuste dos modelos dos semivariogramas dos parâmetros fitotécnicos .....	51
TABELA 10 – Parâmetros da validação cruzada para as variáveis da pesquisa .....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a	Alcance
Al	Alumínio
AP	Agricultura de Precisão
B	Boro
Ca	Cálcio
CEa	Condutividade Elétrica aparente
Co	Efeito Pepita
Co + C	Patamar
CTC Efet.	Capacidade de Troca de Cátion Efetiva
CTC pH 7,0	Capacidade de Troca de Cátion em pH 7,0
Cu	Cobre
CV%	Coefficiente de Variação
DE	Dependência Espacial
Fe	Ferro
h	Distância entre Amostras
GPS/GNSS	Global Navigation Satellite System
H <sub>2</sub> O	Água
IDE	Índice de Dependência Espacial
IDW	Inverso da Distância
IV's	Índices de Vegetação
K	Potássio
L <sub>i</sub>	Média das medidas da leitura atual
L <sub>(i-1)</sub>	Média das medidas da leitura anterior
K <sub>2</sub> O	Óxido de Potássio
Mg	Magnésio
MgO	Óxido de magnésio
MO	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
N(h)	Número de Pares do Atributo
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Reflectância na Banda do Infravermelho Próximo
P	Fósforo

Pr(a)	Concordância Relativa Observada
Pr(e)	Probabilidade Hipotética de Concordância
TCV	Taxa de Crescimento Vegetativo
pH	Potencial Hidrogeniônico
RED	Reflectância na Banda do Vermelho
S	Enxofre
SQR	Soma de quadrados de resíduos
VP	Viticultura de Precisão
$\hat{\gamma}(h)$	Semivariância Estimada
$Z(x_i), Z(x_{i+h})$	Valores dos Atributos medidos na posição $x_i$ e $x_{i+h}$ , separados por um vetor
Zn	Zinco
$\Delta t$	Intervalo de Tempo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
2.1	AGRICULTURA DE PRECISÃO .....	15
2.2	VITIVINICULTURA .....	16
2.2.1	<b>Panorama da Vitivinicultura Nacional</b> .....	16
2.2.2	<b>Vitivinicultura na microrregião de Santa Maria</b> .....	17
2.3	VITICULTURA DE PRECISÃO .....	18
2.3.1	<b>Implantação da Viticultura de Precisão</b> .....	19
2.4	ASPECTOS A SEREM OBSERVADOS NA IMPLANTAÇÃO DA VP .....	21
2.4.1	<b>Amostragem de solos e análise química</b> .....	21
2.4.2	<b>Elaboração dos mapas</b> .....	22
2.4.3	<b>Espectrorradiometria e sensoriamento remoto</b> .....	23
2.4.4	<b>Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)</b> .....	24
2.4.5	<b>Produtividade do vinhedo</b> .....	25
2.4.6	<b>Vigor Vegetativo</b> .....	27
2.4.7	<b>Estimativa de Produção</b> .....	29
2.4.8	<b>Estimativa dos componentes de rendimento</b> .....	29
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	31
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA .....	31
<b>3.2</b>	<b>MÉTODOS</b> .....	32
3.2.1	<b>Delimitação da área, determinação da grade amostral e georreferenciamento dos pontos</b> .....	32
3.2.2	<b>Procedimentos de amostragem e análise de solos</b> .....	32
3.2.3	<b>Leituras <i>in situ</i> com espectrorradiômetro e cálculo do NDVI</b> .....	33
3.2.4	<b>Obtenção da taxa de crescimento vegetativo</b> .....	35
3.2.5	<b>Contagem do número de cachos e estimativa de produtividade</b> .....	36
3.2.6	<b>Análise dos dados: estatística descritiva, geoestatística e mapas de variabilidade</b> .....	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	41
4.1	ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	41
4.1.1	<b>Estatística descritiva dos atributos químicos do solo</b> .....	41
4.1.2	<b>Estatística descritiva dos parâmetros fitotécnicos</b> .....	44

<b>4.1.3</b>	<b>Correlação linear simples de Pearson.....</b>	<b>45</b>
4.2	ANÁLISE VARIOGRÁFICA .....	47
<b>4.2.1</b>	<b>Semivariogramas dos atributos químicos do solo.....</b>	<b>47</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Semivariogramas dos parâmetros fitotécnicos.....</b>	<b>50</b>
4.3	VALIDAÇÃO CRUZADA.....	52
4.4	MAPAS DE VARIABILIDADE ESPACIAL INTERPOLADOS POR KRIGAGEM ORDINÁRIA .....	54
4.5	CORRELAÇÃO VIGOR X NDVI X PRODUTIVIDADE .....	59
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>61</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a vitivinicultura se constitui em uma atividade relevante para o desenvolvimento e sustentabilidade das pequenas propriedades rurais no Brasil. Vários trabalhos relacionados à produção de uva, confirmam que este ramo da fruticultura é responsável pela geração de renda e manutenção de muitas famílias na atividade agrícola, confirmando a respeitável importância socioeconômica desta operação no campo (MELLO, 2017; PETINARI et al., 2008).

O primórdio da agricultura de precisão (AP) foi voltado ao uso de máquinas equipadas com receptores GPS (*Global Positioning System*) e elaboração de mapas de fertilidade. Este início deixou a impressão de que o tema AP é uma área do conhecimento relacionada à grandes áreas, máquinas agrícolas sofisticadas equipadas com eletrônica embarcada e sistemas computacionais complexos, entretanto o objetivo final da AP sempre foi impactar positivamente a sustentabilidade do agronegócio (INAMASU, 2011).

Atualmente GPS e softwares alcançaram um custo que viabilizaram a sua utilização inclusive em equipamentos de uso pessoal. O momento em que a AP se encontra avançou para além das grandes culturas produtoras de grãos. As ferramentas e conceitos podem ser aplicados em todas as culturas em que exista variabilidade espacial. Gerenciar esta variabilidade e potencializar o retorno econômico diminuindo os efeitos nocivos ao meio ambiente é o objetivo principal da moderna AP (INAMASU, 2011).

A Viticultura de Precisão (VP) surge neste contexto como uma ferramenta que visa aumentar a rentabilidade e a qualidade do produto final, juntamente a atenuação dos impactos ambientais, envolvendo metodologias de gestão sobre a variabilidade temporal e espacial das áreas de produção (COOK & BRAMLEY, 1998).

O emprego de instrumentos como monitores de produtividade, aplicação de insumos à taxa variável (VRT), *Geographic Information System* (GIS), *Global Positioning System* (GPS), mapeamento dos solos com base em condutividade elétrica e detecção remota, leva a uma gestão mais norteada do vinhedo, permitindo que a vitivinicultura ganhe em competitividade.

Ao longo dos últimos anos, autores vêm relatando a evolução da introdução da agricultura de precisão no setor das culturas perenes, e em especial na viticultura: “Tecnologias relacionadas à viticultura de precisão (VP) ainda não estão sendo

contempladas pelo setor primário para aumentar a competitividade do vinho brasileiro em relação ao importado” (MIELE, 2011, p. 267); “Tecnologias de agricultura de precisão (AP) são pouco contempladas pelo setor primário para aumentar a qualidade e competitividade do vinho brasileiro” (FILIPPINI ALBA et al., 2011, p. 277); “Até o momento, é incipiente a utilização de tecnologias da agricultura de precisão na fruticultura por produtores brasileiros” (BASSOI et al., 2014, p. 352).

Cass (2013) também descreve que a precisão em viticultura é incipiente no País e sua evolução depende de mais pesquisas e desenvolvimento de equipamentos, hardwares e softwares específicos.

Este trabalho é a fase inicial de uma pesquisa que está sendo realizada na Vinícola Velho Amâncio, em parceria com o Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria, e terá a duração de 3 anos.

Este trabalho se justifica, dada a expansão da viticultura na região e a necessidade de se otimizar a atividade, através da melhoria no gerenciamento dada pelo reconhecimento de zonas de manejo diferenciado.

O objetivo geral é estabelecer bases para criar uma metodologia de implantação da viticultura de precisão (VP) na região de Santa Maria.

Os objetivos específicos são:

- 1) Vincular a variabilidade espacial da produtividade à variabilidade espacial dos parâmetros químicos do solo e a variabilidade do vigor e NDVI;
- 2) Diagnosticar, identificar e georreferenciar a variabilidade espacial da produtividade; e
- 3) Gerar dados para auxiliar o produtor quanto ao gerenciamento da atividade por meio de ferramentas e metodologias utilizadas em AP.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A definição de Agricultura de precisão (AP) nasceu no início dos anos 90 nos Estados Unidos da América (EUA), sendo que os primeiros trabalhos foram focados nas culturas cerealistas da Austrália e dos EUA (ORTEGA e ESSER, 2002). Dentre os diversos conceitos de AP, Bassoi (2011) define:

AP é definida como postura gerencial que leva em conta a variabilidade da cultura vegetal na busca de maximizar o retorno econômico e minimizar o efeito ao meio ambiente. Metodologias e ferramentas de AP são instrumentos que apoiam o processo gerencial a tomar decisões e a executar as prescrições com menor erro possível (BASSOI, 2011).

Logo, a AP pode ser caracterizada como um sistema de administração minucioso em relação às variações espaciais e temporais das áreas, que leva o gestor a buscar o manejo localizado dos fatores de variação, visando aumentar a rentabilidade e a racionalização dos insumos (SCHUELLER, 1992; COOK & BRAMLEY, 1998; BLACKMORE, 1999; MILANESI, 2015). Assim, a agricultura de precisão se diferencia da agricultura tradicional que preza pela gestão de grandes áreas como se elas fossem homogêneas (COOK & BRAMLEY, 2001; BRAMLEY et al., 2006).

Resende (2010) afirma que, no Brasil, as técnicas de AP apresentam potencialidade de uso tanto nos sistemas produtivos de grãos, quanto nos sistemas de produção perene.

Molin (2017) cita em seu trabalho um levantamento realizado pela entidade *Kleffmann Group*, que fez uma pesquisa voltada a produtores de soja e milho com um universo de 992 entrevistados em território nacional, o resultado apontou que 45% dos consultados utilizam alguma técnica de AP no seu sistema produtivo.

No país a utilização das ferramentas de agricultura de precisão é bastante significativa em áreas de culturas anuais e de cana-de-açúcar, destacando-se as seguintes atividades: georreferenciamento das amostragens de solo, mapeamento da variabilidade, semeadura e aplicação de insumos a taxa variável. Este manejo diferenciado das unidades produtivas resulta em economia de insumos, quando comparado ao método da agricultura tradicional (RESENDE, 2010).

## 2.2 VITIVINICULTURA

A viticultura, é a ciência que estuda os cultivos das uvas, suas variedades e sua capacidade de produção nas diversas regiões do mundo, de acordo com o clima e temperatura de cada local. A vinicultura, estuda o processo da produção de vinhos. Portanto, a vitivinicultura, se trata da complementação entre o cultivo de uvas e a produção de vinhos (RODRIGUES, 2022).

O cultivo de uva é classificado em duas classes: uvas européias (*Vitis vinifera*) conhecidas por uvas finas; e uvas americanas (*Vitis labrusca* ou híbridas) conhecidas por rústicas. Apesar desta espécie estar tradicionalmente ligada a climas quentes e secos, atualmente a produção de uvas está difundida no mundo inteiro (PERMANHANI et al., 2016).

A área com cultivo comercial de videiras no mundo em 2020 foi 7,3 milhões de hectares. As maiores áreas de vinhedo se localizam na Espanha e França, também possuem áreas de destaque China, Itália, Turquia, Estados Unidos e Argentina (OIV, 2021). No Brasil, os vinhedos ocupam 75.731 hectares, com destaque para o Rio Grande do Sul que possui 62,72% deste total (MELLO, MACHADO, 2020).

### 2.2.1 Panorama da Vitivinicultura Nacional

Segundo dados do IBGE (2020), a área de vinhedos cultivados no Brasil, foi de 74.826 ha, no ano de 2020. A Região Sul concentra 73,12% desta área total, com destaque para o estado do Rio Grande do Sul, que sozinho, concentra 62,51% da área vitícola brasileira, o que corresponde a 46.774 ha. Destacam-se também as grandes plantações na Região Nordeste com 13,94% e a Região Sudeste com 12,65% da área total. Nas demais regiões o cultivo ainda é incipiente, embora estejam demonstrando interesse pela viticultura.

Em relação à produção, em 2020, foram colhidas 1.416.398 t de uva no Brasil. Sendo que a Região Sul, maior produtora, foi responsável por 60,24% deste total – onde apenas o Rio Grande do Sul produziu 745.356 t. A segunda maior produtora, Região Nordeste, participou com 387.662 t, o equivalente a 27,37% da produção brasileira e a Região Sudeste contribuiu com 12,09% que corresponde a 171.203 t de uva. Foi estimado que 661.820 milhões de quilos de uva foram destinados ao processamento (vinhos, espumantes, sucos e derivados), ou seja 46,72% da

produção total, ao passo que a maior fatia (53,28%) foi reservada ao consumo *in natura* (IBGE, 2020).

Contrariando a proporção nacional, no Rio Grande do Sul 92,68% da produção de uvas é destinada à indústria vinícola e a menor parte é destinada para outros fins (processamento, consumo próprio, comércio varejista, consumo *in natura*, etc.) (MELLO; MACHADO, 2017). No polo produtor da Serra Gaúcha, a *Vitis labrusca* L. é a espécie de uva predominante, com destaque para as variedades Bordô, Isabel, Niágara (PERRUZZO, 2014).

No Brasil, uvas americanas, principalmente as *Vitis labrusca* L. ou híbridas, correspondem a mais de 85% da quantidade de uvas que são destinadas ao processamento, isto se deve à adaptação que estas plantas desenvolveram às condições climáticas locais, em especial nas Regiões Sul e Sudeste (LAGO-VANZELA et al., 2013; BIASOTO et al., 2014).

Com relação ao sistema de produção, presencia-se a insuficiência de mão-de-obra qualificada nos vinhedos. Esta adversidade é ampliada devido à necessidade de reduzir custos operativos visando a viabilidade econômica da atividade, a solução para este problema passa a ser a mecanização de certas operações (MAGALHÃES, 2019; PONI et al., 2016).

No Rio Grande do Sul a mecanização das atividades ganhou força nos últimos anos, os produtores sistematizaram suas áreas de forma que o sistema de condução em espaldeiras permite atividades mecanizadas, como a poda, pulverizações e colheita (CAMARGO et al., 2019).

### **2.2.2 Vitivinicultura na microrregião de Santa Maria**

A microrregião vitivinícola de Santa Maria se destaca no panorama estadual devido à evolução apresentada nos últimos levantamentos, sendo atualmente considerada fortemente especializada na produção de uva. Em 1995 a microrregião era considerada fracamente especializada, em 2007 passou a apresentar média especialização e a partir de 2013 a microrregião atingiu o patamar de alta especialização segundo o trabalho de categorização realizado por Da Silva (2018).

Segundo o Cadastro Vitícola do Rio Grande do Sul (2015), a microrregião de Santa Maria conta com 51 unidades produtoras de uva, totalizando 176,49 hectares de vinhedos com uma média de 3,46 hectares por propriedade (com um tamanho

médio de 26,76 hectares por propriedade). Em termos de ocupação de área, ainda pode ser considerada pequena, sendo que a ocupação com vinhedos corresponde a 0,44% da área total na microrregião enquanto que, por exemplo, corresponde a 80% na microrregião de Caxias do Sul.

No Município de Itaara, onde se localiza o vinhedo objeto desta pesquisa, existem 16.390 pés de uva distribuídos em 5,5 hectares, com uma produção total de 31,87 toneladas de uva, sendo que deste total 17,5 toneladas são destinadas a vinificação (DE MELLO, 2017).

### 2.3 VITICULTURA DE PRECISÃO

A aplicação das técnicas de agricultura de precisão nos vinhedos teve início no começo da década de 90 na Austrália e Estados Unidos (BRAMLEY, PROFFITT, 1999; WAMPLE et al., 1999), e logo se difundiu pelos países vitivinícolas europeus e sul-americanos. Essas técnicas tornaram possível aos viticultores conduzir a produção do pomar baseando-se no comportamento do vinhedo, com o objetivo de homogenizar a qualidade e produtividade do vinhedo com o mínimo impacto ambiental (BRAMLEY et al., 2001).

O surgimento da viticultura de precisão trouxe consigo o desenvolvimento de tecnologias voltadas ao mapeamento da variabilidade espacial dos fatores intrínsecos à produtividade do vinhedo (ARKUN et al., 2000).

A viticultura de precisão possui uma característica distinta da AP convencional, que é a consideração do fator qualidade associado ao fator produtividade, onde os atributos ecofisiológicos influenciam e ampliam o tempo de resposta das plantas aos manejos aplicados ao solo por mais de uma safra, diferentemente da AP tradicional onde o fator solo tem um efeito zero de variabilidade pois é manejado ano a ano (FILIPINI ALBA, 2017). Na VP a variabilidade temporal precisa ser considerada, para que os fatores de interdependência entre causas e efeitos temporais e qualidade e produtividade possam ser analisados (GEBLER et al., 2015).

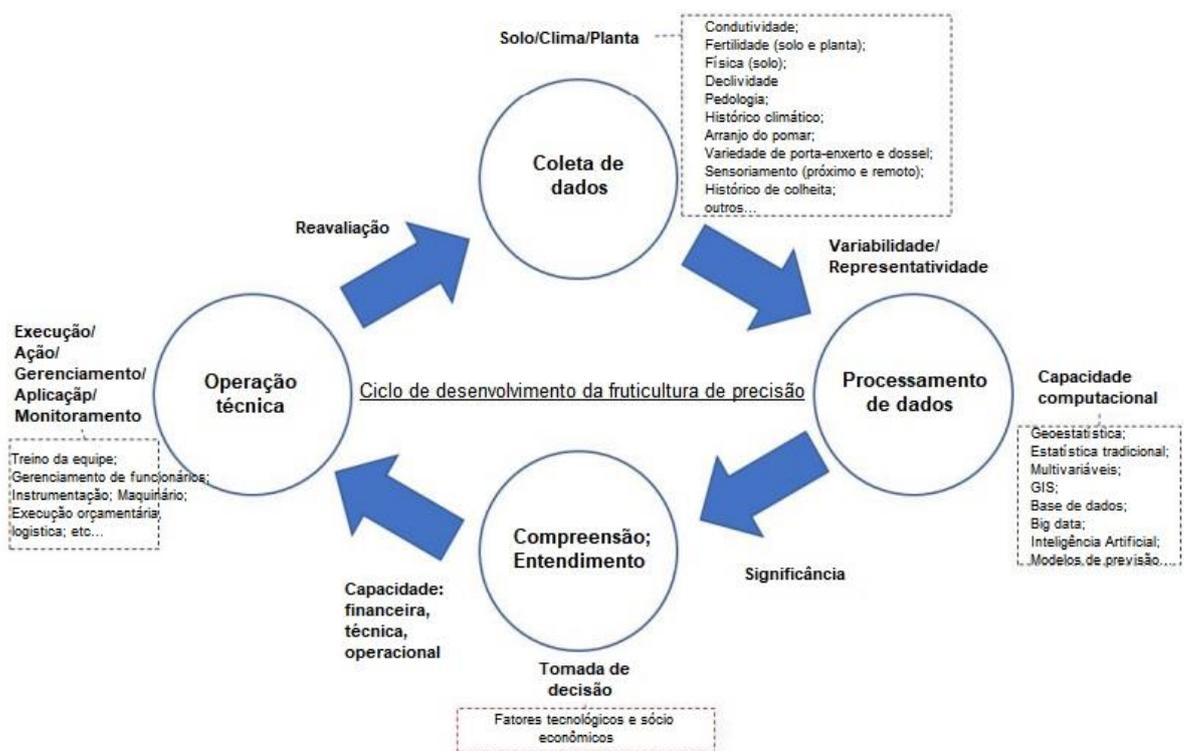
Em oposição à agricultura de precisão em culturas anuais, na VP as videiras são as mesmas de safra para safra, o que elimina instantaneamente duas fontes de variabilidade: o fator genético e a densidade de plantas. Esta característica permite a obtenção de registros mais consistentes de ano para ano (BRAGA, 2009)

Os trabalhos realizados com as técnicas de VP têm por objetivo principal avaliar e quantificar a variabilidade espacial do solo, visando estabelecer zonas de manejo com base no estudo e compreensão dessa variabilidade, e gerar tecnologias que proporcionem a aplicação de insumos a taxa variável e estabelecer estratégias para o manejo de áreas específicas do vinhedo (ARNÓ et al., 2009).

### 2.3.1 Implantação da Viticultura de Precisão

A implantação da viticultura de precisão como instrumento de gerenciamento do vinhedo é um processo cíclico e constante (Figura 1), é iniciado com o estudo e levantamento de dados georreferenciados, procedendo-se a posterior interpretação e análise destes, a fim de mapear a variabilidade e orientar o manejo de sítios específicos (BRAMLEY et al., 2001; BRAMLEY & LAMB, 2003; LARA et al., 2021).

Figura 1 – Ciclo da implantação da fruticultura de precisão



Fonte: Adaptado de Lara et al. (2021).

O manejo de sítio específico envolve desde a necessidade de irrigação, a distribuição variada de fertilizantes e a necessidade de poda diferenciada.

De acordo com Bramley & Hamilton (2005) o sucesso da VP está relacionado às seguintes premissas: a variabilidade espacial da produtividade ser constante ano após ano, os fatores que originam essa variabilidade serem identificados e ser possível gerenciar estes fatores de maneira diferenciada no talhão. Tisseyre (2008) considera que este instrumento (VP) apenas será útil se proporcionar ao viticultor a possibilidade de gerar um produto uniforme e de alta qualidade para a produção de vinhos especiais.

Diversas vantagens da implantação da Viticultura de Precisão foram descritas em trabalhos de Bramley (2000) e Bramley & Lamb (2001, 2003): Uso mais eficiente e sustentável dos insumos, uso de práticas agrícolas mais adequadas, estratificação do vinhedo com base na expectativa de qualidade e produtividade, melhor programação do vinhedo, amostragens mais precisas dentro da parcela, melhor monitoramento de pragas e doenças e estimativa de produtividade.

Outro importante benefício de se adotar os métodos da VP, é o alto valor agregado ao produto final, devido a melhor qualidade do mesmo. Assim o viticultor deve ter por meta o incremento na produtividade sem prejuízo à qualidade (SMITH, 2003). Proffitt (2004), ao analisar mapas de produtividade, sugeriu que o uso da VP pode aumentar a rentabilidade da área, quando relacionada ao incremento da qualidade do produto.

De acordo com Braga (2009), os fins da implantação da viticultura de precisão não devem almejar a uniformidade da produtividade da área, visto que os fatores que causam a variabilidade tornam a uniformidade impossível, mas sim deve buscar alternativas para tirar o maior proveito da variabilidade existente.

No Vale dos Vinhedos, polo vitivinícola mais proeminente do Rio Grande do Sul, estudos apontaram a baixa adoção da VP por parte dos produtores, apenas 21,83% utilizam algum método de precisão. As principais barreiras apontadas pelos viticultores gaúchos foram: o elevado custo dos equipamentos e softwares, a dificuldade de contratar operários especializados, a carência de prestadores de serviços em VP e a escassez de informações sobre as tecnologias de VP (ERTHAL, 2018).

## 2.4 ASPECTOS A SEREM OBSERVADOS NA IMPLANTAÇÃO DA VP

Neste trabalho a metodologia de implantação da VP envolve a descrição de uma área produtiva onde será implantado um programa de vitivinicultura de precisão ao longo dos anos iniciando pelo inventário das condições iniciais da área, sendo aplicado o mapeamento georreferenciado das análises de solo, sua correlação com levantamentos espectrorradiométricos, e a estimativa de produtividade relacionada ao vigor das plantas, focando na análise da variabilidade espacial somente. A partir destes dados, espera-se que o programa seja mantido por no mínimo 3 anos para que além da variabilidade espacial, seja possível avaliar a influência da variabilidade temporal na produção e na qualidade dos vinhos produzidos pelo vinhedo.

### 2.4.1 Amostragem de solos e análise química

A análise química é o recurso utilizado por pesquisadores, técnicos e produtores, para verificar a fertilidade do solo e projetar a correção com calcário ou adubação, com base nos parâmetros de exigência nutricional de cada cultura (SULEIMAN, 2012). Essas práticas de correção e adubação são responsáveis pelo incremento na produtividade da cultura (SILVA, 2009).

O propósito da análise química do solo é indicar o teor de nutrientes que o solo é capaz de disponibilizar às plantas, e assim determinar a quantidade de fertilizantes que deve ser aplicada para se obter um determinado rendimento. Também indica o nível de acidez em determinadas camadas de profundidade, que pode prejudicar e até levar ao impedimento do desenvolvimento do sistema radicular da cultura, fazendo com que a planta não tenha capacidade de metabolizar os nutrientes presentes no solo e nem os fertilizantes aplicados (CARNIERI et al., 2002).

A análise é formada por amostras de solo, estas devem ser uma porção representativa do talhão no qual foi coletada. Uma amostragem realizada de forma inadequada pode afetar de forma negativa toda a recomendação baseada no laudo de análise química, visto que a qualidade do processo de coleta das amostras influencia diretamente na precisão e qualidade dos resultados analíticos obtidos (MIRANDA, 1982).

O processo de coletar amostras de solo é chamado de amostragem, e deve ser realizado de maneira que a amostra seja a mais representativa o possível da área

onde a cultura está instalada, este processo é a primeira etapa de um programa de correção e adubação do solo eficiente. Por mais perfeita que seja a análise química em nível de laboratório, ela não tem a capacidade de retificar falhas na amostragem e representatividade (RAIJ et al., 1996).

De acordo com Schlindwein et al. (1998), a ferramenta utilizada no processo de amostragem pode ser uma fonte de erro amostral, levando em conta o volume de solo coletado na subamostra, e também a possibilidade de perder material no procedimento, tal como no caso das coletas realizadas com trado de rosca, que podem levar a perda de material proveniente das camadas superficiais, que apresentam características químicas mais ricas.

#### **2.4.2 Elaboração dos mapas**

Reconhecer a variabilidade espacial da lavoura é o passo inicial para a elaboração dos mapas na AP. O método mais comum de se identificar esta variabilidade é através da amostragem em grades e mapas de produtividade que são obtidos via sensores embarcados em máquinas agrícolas. Em ambos os casos, o investimento é alto. E no caso da amostragem de solo, a qualidade final do mapa dependerá do método de obtenção da amostra, do número de amostras e da qualidade da análise realizada em laboratório (EMBRAPA, 2014).

As metodologias mais comuns prezam por uma amostra a cada cinco hectares, e outras mais precisas por uma amostra a cada hectare, entretanto esse modelo pode ainda não ser o suficiente em termos de representatividade, pois podem existir variações entre as leituras, que devem ser levadas em conta na prescrição da aplicação de insumos à taxa variável.

O número recomendado de amostras, para cada local, deve ser determinado através da geoestatística, mediante o cálculo da dependência espacial dos dados. A quantidade de amostras preconizada pelo modelo atual de amostragem em grade, é insuficiente para gerar um mapa de excelência para orientar a aplicação de insumos, apesar de ser preferível uma amostra a cada 5 hectares do que uma amostra a cada 20 hectares ou mais (INAMASU & BERNARDINI, 2014, p. 25).

Os mapas podem apresentar maior reflexo da variabilidade real de acordo com a densidade de amostras utilizadas por área, entretanto utilizar um elevado o número de amostras pode tornar o processo mais oneroso e lento, enquanto que uma

subamostragem pode levar à elaboração de mapas imprecisos que não apresentam condições de uso na AP (CAON & GENÚ, 2013).

Além de adequar o número de amostras, o georreferenciamento dos pontos de amostragem e o conhecimento da forma dos limites entre as áreas heterogêneas são outros importantes passos na obtenção de um mapa qualificado. A interpolação pelo método da krigagem é a ferramenta ideal para a visualização destes limites. Assim como o próprio conhecimento empírico que o proprietário possui em relação ao histórico da terra, conhecimento este que pode ser utilizado para registrar uma ilustração qualitativa da área (EMBRAPA, 2014).

### **2.4.3 Espectrorradiometria e sensoriamento remoto**

Vários procedimentos relacionados ao sensoriamento remoto vêm sendo utilizados para analisar o comportamento do dossel vegetal sob diferentes cenários e perspectivas. O sensoriamento remoto é uma metodologia que visa aferir características físicas de um determinado objeto, sem que haja contato (SILVA, 2003). Solo, água e vegetação são objetos que interagem com a radiação eletromagnética, refletindo, absorvendo e transmitindo a radiação em quantidades que oscilam de acordo com o comprimento de onda que depende de sua composição química, física e biológica (FLORENZANO, 2002).

Radiometria é a grandeza quantitativa relativa a intensidade da radiação. A espectrorradiometria é a metodologia que permite determinar, através de sensores, em diferentes comprimentos de onda, a energia eletromagnética que é refletida pela superfície dos objetos e traduzir esta medida em formato de um gráfico denominado curva de reflectância espectral (MENESES, 2001).

O sensor do equipamento espectrorradiômetro é considerado de alta precisão devido a sua característica de trabalhar com intervalos bem específicos de comprimentos de onda, a estreita faixa espectral do aparelho vai de 325 a 2500 nanômetros (nm). As bandas mais utilizadas são as do vermelho e infravermelho próximo, estas correspondem a mais de 90% da variabilidade na resposta espectral vegetativa, que podem ser correlacionados a indicadores biofísicos (ROSA, 2003).

As pesquisas realizadas validam o uso do espectrorradiômetro na identificação e diferenciação de espécies vegetais, assim como os índices de vegetação gerados servem como critério para estimar o estado nutricional das plantas (CLARK, 1999). O

método da espectrorradiometria foi utilizado por Serrano et al. (2012) para estudar a variabilidade do vigor no vinhedo e analisar a efetividade da detecção das propriedades biofísicas da videira e sua capacidade de estimar a produtividade e qualidade dos frutos.

A análise da interação da radiação eletromagnética com a vegetação gera dados sobre a disposição do dossel, o estágio fenológico, as condições de estresse hídrico e nutricional, entre outros. Segundo Jensen (2009) os índices de vegetação (IV) são técnicas que facilitam a obtenção destes dados, estes índices são parâmetros que revelam a atividade vegetativa, o índice de área foliar, o teor de clorofila, a biomassa verde e a radiação absorvida fotossinteticamente.

Nos vegetais, o principal órgão absorvedor de radiação eletromagnética é a folha, e a quantificação da energia que interage (por absorção, transmissão ou reflexão) é realizada por meio de sensores que podem ser operados em nível de laboratório, a campo, montado em veículos aéreos ou orbitais (MOREIRA, 2005).

O equipamento que quantifica as causas e efeitos dos processos de interação da radiação eletromagnética com os objetos, dentro de faixas específicas dos comprimentos de onda, é denominado espectrorradiômetro, e a precisão e relevância das leituras é dependente da calibração e sensibilidade do aparelho (SILVA, 1996).

O espectrorradiômetro portátil é o equipamento que avalia a interação *in situ* da reflexão, absorção e transmissão da energia sobre as superfícies naturais, ele se caracteriza pela facilidade de locomoção e pelo registro de dados em menor distância relativa ao objeto de estudo e o sensor, permitindo a aferição de uma área muito pequena (MILTON et al, 2007).

O estado fisiológico da planta pode ser caracterizado pela assinatura espectral. O potencial fotossintético é diretamente relacionado ao teor de clorofila, e por consequência, com a produtividade da videira (XUE et al., 2008). Os índices de vegetação utilizados para estudar com precisão os teores de clorofila, se mostram uma excelente alternativa às técnicas da química analítica, que exigem a destruição do material foliar. Neste trabalho o índice de vegetação utilizado foi o NDVI.

#### **2.4.4 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)**

O índice de vegetação por diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) é atualmente um dos IV mais comuns e utilizados na prática

do sensoriamento remoto, foi apresentado por Rouse et al. (1974) e de acordo com Hall et al. (2003) este índice está estritamente associado a qualidade da uva.

De acordo com Holben (1986), o NDVI se sobressai as demais metodologias de IV pelo fato de ocultar parcialmente os efeitos dos componentes atmosféricos e das interferências radiométricas e geométricas.

O NDVI possibilita a estimativa do desenvolvimento vegetativo das plantas, mediante o uso de certas bandas do espectro eletromagnético (vermelho e infravermelho próximo), obtidas pelo espectrorradiômetro. Este índice está relacionado a diferentes classes de vigor (alta, média e baixa) e sua amplitude varia entre -1.0 e +1.0, sendo que valores próximos a 1 representam a maior densidade vegetativa em videiras (BEST e LEÓN, 2006; CHUVIECO, 2010; LAMB, 2000).

Os trabalhos de diversos autores (BONILLA et al., 2015; HALL et al., 2003; HALL et al., 2008; JOHNSON et al., 2003, LAMB et al., 2004; MARTINEZ-CASANOVAS et al., 2012; SANTOS et al., 2012; SERENO, 2009) também relacionam o NDVI diretamente ao vigor vegetativo e consideram este índice como base para a correlação entre a variabilidade do vigor e outros parâmetros de produtividade do vinhedo.

Além de parâmetros de produtividade, o cálculo do NDVI também é utilizado para estimar algumas características fisiológicas como deficiências nutricionais e estresses hídricos e fitossanitários (MONTERO et al., 1999; JOHNSON et al., 2003).

#### **2.4.5 Produtividade do vinhedo**

A produtividade do vinhedo é um fator que pode apresentar grande variabilidade no tempo e no espaço. Dentro de um mesmo talhão encontra-se variabilidade entre as plantas, entre os cachos da mesma planta e entre os bagos do mesmo cacho. Essa variabilidade é explicada por diversas razões, dentre elas o tipo de clima, o solo, a variedade, a idade da planta, os estresses bióticos e abióticos e o manejo realizado pelo viticultor (COSTA et al., 1999; LOPES et al., 2016). Esta circunstância levou a conclusão de que a estimativa da produtividade seria fundamental para amenizar as consequências da variabilidade.

Características físicas do solo estão, aparentemente, mais relacionadas às origens da variabilidade na produção do que as características químicas (BRAMLEY, 2003). Estas características físicas (como textura, densidade, porosidade e

capacidade de retenção de água) que apresentam influência na produtividade, muitas vezes não são levadas em consideração pela AP (AMADO et al., 2007, 2009; ROSA FILHO et al., 2009; SÁ et al., 2008). Esta realidade reforça a ideia de se aplicar uma abordagem interdisciplinar, na pesquisa e na execução da AP, com o objetivo de buscar uma maior eficiência no gerenciamento da atividade agrícola.

Determinar a produtividade de uma parcela do vinhedo, é um processo árduo, exige o monitoramento frequente do pomar e é geralmente realizado de maneira manual por meio da suposição dos componentes de rendimento (contagem e pesagem de inflorescências, de cachos por planta, e de bagos por cacho) o que leva a uma metodologia demorada. Outro aspecto negativo é que, geralmente, utiliza-se um número muito pequeno de plantas na amostragem, o que torna o estudo inconsistente. Daí urge a necessidade de se buscar alternativas ao método tradicional, que sejam mais precisas e automatizadas, algumas propostas são a detecção remota (HALL et al., 2002), a análise da tensão dos fios de arames (BLOM & TARARA, 2009) e a análise de imagens (NUSKE et al., 2011; LIU et al., 2013; DIAGO et al., 2014; DIAGO et al., 2015).

Progressos importantes estão sendo alcançados através da obtenção e processamento de imagens (fotografias aéreas digitais e imagens de satélites) relativas a diferentes estágios de desenvolvimento das culturas, já é possível identificar e espacializar variações quanto ao estado nutricional das plantas, quanto ao vigor, quanto à incidência de pragas e doenças, quanto à infestação de plantas invasoras e quanto ao potencial produtivo da parcela (BAESSO et al., 2007; MEDEIROS et al., 2008; SENA JÚNIOR et al., 2008; VILELA et al., 2006).

A determinação das propriedades óticas dos tecidos vegetativos, em particular das folhas, é utilizada para identificar e caracterizar as coberturas vegetais, visto que estas propriedades estão correlacionadas a parâmetros biofísicos ligados às condições vegetativas das plantas (ATHERTON et al., 2017; FÉRET et al., 2019; KATTENBORN et al., 2019). Assim sendo, pode-se afirmar que a identificação da assinatura espectral particular das folhas, principalmente da reflectância ( $\rho$ ) de parte da radiação solar que incide sobre estas, torna possível o sensoriamento dos cultivos agrícolas.

Por esse motivo, os índices espectrais de vegetação (IV) são determinados com base na correlação entre a reflectância ( $\rho$ ) e certos comprimentos de onda ( $\lambda$ ) (principalmente nas bandas do vermelho visível e infravermelho próximo), de maneira

a tornar evidente a diferença das propriedades relativas à vegetação em relação às daquelas de outros objetos.

De modo particular no que diz respeito a cultivares de videiras (*Vitis vinifera* L.), a relação entre IV e características vegetativas do dossel foi referenciada por Drissi (2009), Caruso (2017) e Junges (2019). Também, os autores Costa (2019), Ferrer (2020) e Darra (2021), comprovaram que os Índices espectrais de vegetação podem ser utilizadas para a determinação da variabilidade espacial do estágio vegetativo dentro do vinhedo.

Do ponto de vista da viticultura de precisão (VP), o acompanhamento intensivo dos IV através do sensoriamento remoto, é justificado dado a necessidade do monitoramento contínuo dos atributos de interesse agrônômico, como por exemplo o vigor vegetativo que, é utilizado para o cálculo da estimativa de produtividade do vinhedo (ARAÚJO, 2004).

Ainda esta tecnologia de monitoramento, via sensores de captura de ondas verde, vermelho e infravermelho próximo, é uma fonte relevante para obtenção de dados, como o estado nutricional do vinhedo, condições vegetativas para determinados manejos, mapeamento de produtividade a cada safra, avaliação de doenças e infestações por pragas, entre outros (HONDA & JORGE, 2013).

#### **2.4.6 Vigor Vegetativo**

Segundo Carbonneau (1992) a área foliar e a medida do crescimento dos sarmentos são a expressão fundamental do vigor, visto que retratam a duração e a velocidade do crescimento vegetativo em relação ao potencial de síntese de substâncias metabólicas.

O vigor vegetativo exerce influência direta sobre as características produtivas das plantas, nos vinhedos o nível de vigor pode ser identificado através do índice de Ravaz, que é determinado pela razão entre a produção de frutos da planta (expresso em kg) e o peso do material residual da poda (expresso em kg). O índice de Ravaz é empregado para determinar o equilíbrio e o vigor das videiras (CARLA, 2016).

De acordo com Yuste (2005), quando se verifica um valor entre 4 e 7 para o índice de Ravaz a planta é considerada em equilíbrio, valores acima de 7 demonstram produção de frutos excessiva, e os valores abaixo de 4 revelam uma videira com

excesso de vigor. Vasconcelos e Castagnoli (2000) apontam resultados similares, considerando um nível ótimo de equilíbrio com o índice entre 5 e 7.

O excesso de vigor nos ramos é um elemento que pode ocasionar uma fertilidade reduzida nas gemas da videira. Uma correlação negativa entre o comprimento dos entrenós e a produtividade foi verificada por Shikhamany (1999). Necrose das gemas é um dos problemas que pode ser relacionado ao alto índice de vigor em videiras. Esta necrose ocorre normalmente apenas na gema primária, sendo que as gemas secundárias se mantêm sadias. Outro inconveniente é o fato de que os sarmentos com vigor excessivo são menos frutíferos e tendem a formar gemas deformadas (HIDALGO, 2002).

Winkler (1965) observou que videiras exageradamente vigorosas podem ser classificadas como plantas com elevado crescimento vegetativo, apresentam baixa formação de gemas frutíferas ou nenhuma, folhas vastas, entrenós extensos, crescimento atrasado e maturação lenhosa modesta.

O controle do vigor dos ramos pode ser realizado através do desponte dos sarmentos da videira, esta prática consiste em limitar o crescimento dos ramos (PONI et al., 2017) com a poda da parte mais jovem, localizada na parte superior do dossel. Além de controlar o vigor, o desponte também aumenta a luminosidade no interior do dossel e mantém a copa limitada a um tamanho ideal para facilitar o manejo e o acesso de máquinas entre as fileiras (PONI et al., 2017).

O gerenciamento do vigor da videira é fundamental para a alta qualidade na produção de uvas (SMART, 1985). A realização criteriosa do desponte possibilita mudanças positivas nos teores de açúcar, antocianinas e polifenóis das bagas (BRIGHENTI et al., 2010; WÜRZ et al., 2017).

O vigor também exerce influência na safra posterior ao incentivar a concorrência entre a produção e a diferenciação das gemas do ano seguinte, devido a sua interferência sobre os mecanismos hormonais da planta (POMMER, 2003).

Assim sendo, a produção de uvas de qualidade está ligada a exigência de videiras equilibradas, ou seja, plantas que apresentam índices de vigor moderado e uma expressão vegetativa compatível à quantidade de uvas (WINKLER, 1954, 1958).

### **2.4.7 Estimativa de Produção**

A organização e o gerenciamento da atividade no vinhedo, depende da previsão da produção (BLOM, TARARA, 2009). Uma previsão adequada auxilia o planejamento das necessidades da vinícola, como: barricas, tonéis, pipas, garrafas, recipientes, caixas para colheita, mão de obra, etc. (MACMILLAN, FISHER, 2005; NUSKE et al., 2011). A estimativa de produção pode ser utilizada ainda, para programar a necessidade de compra e/ou venda de matéria-prima (uva), estabelecer preços, programar investimentos e desenvolver estratégias de ação, atividades essenciais no ramo da vitivinicultura.

De acordo com Dunn (2010), a estimativa exata da produtividade é um fator fundamental para alcançar a estruturação da atividade com sucesso, para tal, existe no âmbito da vitivinicultura uma busca por modelos de previsão que possam substituir a tradicional estimativa dos componentes de rendimento, que é realizada habitualmente de forma manual, sendo um método demorado e com uma amostragem proporcionalmente pequena de videiras, gerando um resultado impreciso.

Visando a modernização do método de estimativa, várias metodologias têm sido propostas, com base em automação e maior precisão, como a utilização de detecção remota (HALL et al., 2002), a avaliação da tensão dos arames (BLOM, TARARA, 2009) e a análise de imagens (NUSKE et al., 2011; LIU et al., 2013; DIAGO et al., 2014; DIAGO et al., 2015).

### **2.4.8 Estimativa dos componentes de rendimento**

A estimativa de produtividade baseada nas componentes do rendimento, além de ser uma prática destrutiva, apresenta elevado custo operacional e exigência de mão de obra, é um modelo de previsão bastante demorado devido à metodologia manual porém é o método mais comum e acessível aos vitivinicultores, que podem analisar um ou vários componentes de rendimento, em pequenas áreas homogêneas do pomar, e extrapolar o resultado para todo o vinhedo.

O grande gargalo deste método é a baixa precisão da estimativa, devido a pouca consideração que este modelo tem em relação à variabilidade espacial, visto que as amostragens utilizadas não são representativas e estão sujeitas à sensibilidade da pessoa que está realizando a avaliação (DIAGO et al., 2012).

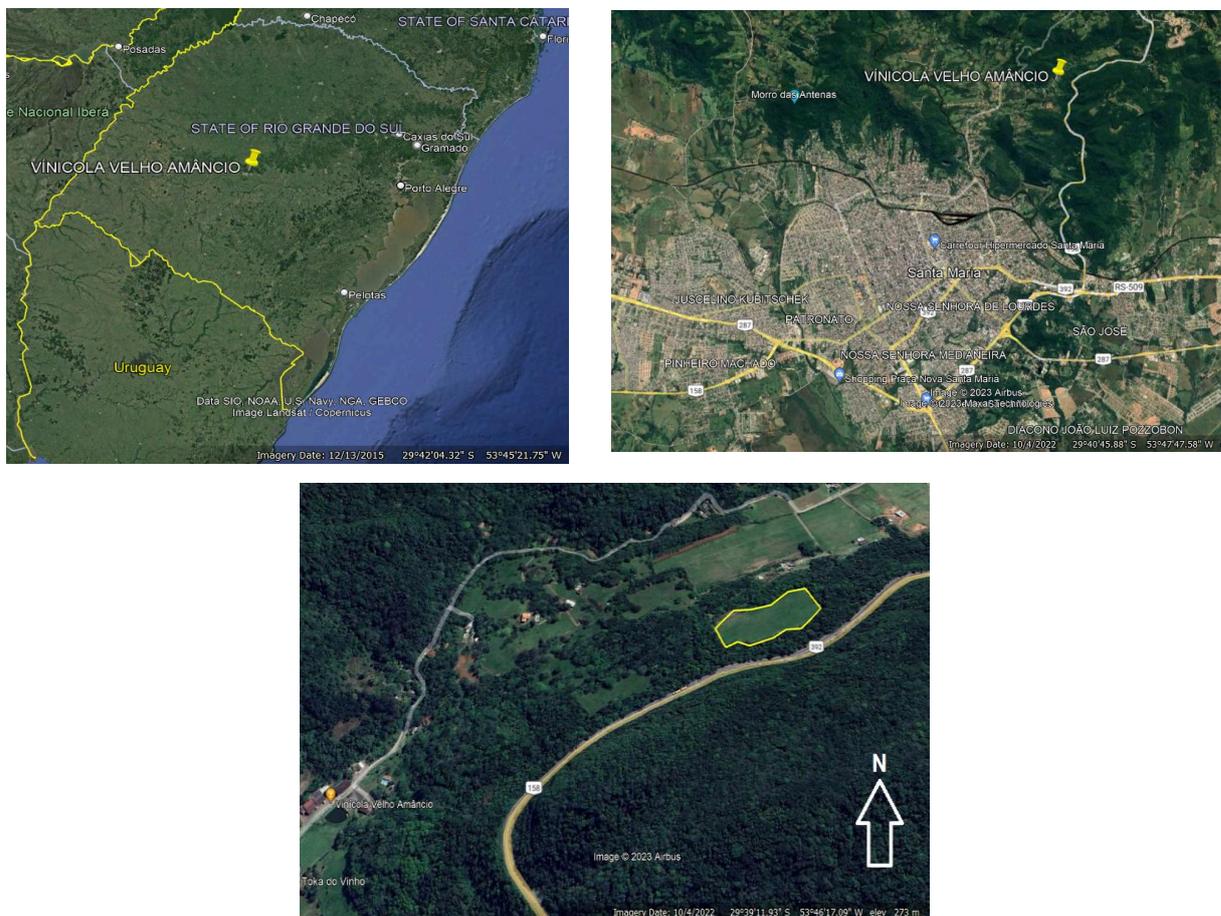
Segundo Nuske et al. (2011), 90% da variação da produtividade é confirmada com precisão através do levantamento de número de cachos por videira (correspondendo a 60% da variabilidade) e do número de bagas por cacho (correspondendo a 30%). Lopes (2009) também obteve estes resultados e constatou que o componente de rendimento que demonstrou a aptidão preditiva de maior precisão foi o peso das bagas, aferido na fase 85 da escala fenológica de Lorenz et al. (1995), este componente apresenta uma estimativa de produtividade com apenas 2% de margem de erro. Entretanto a metodologia que envolve a contagem de bagas por cacho é lenta, e envolve métodos de estimativa indireta por meio de alometria.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA

A pesquisa foi realizada em um vinhedo de 1,23 hectares, implantado em 2001, pertencente a Vinícola Velho Amâncio (Figura 2), localizado no município de Itaara (Latitude 29°39'10.16"S, Longitude 53°46'7.90"W, altitude 293 metros), nesta área existem 2000 plantas da variedade Cabernet Sauvignon e 600 plantas da variedade Syrah (Shiraz), ambas instaladas sobre porta-enxerto SO4 com espaçamento entre fileiras de 3 metros e entre plantas de 1 metro. O vinhedo é conduzido no sistema espaldeira, podada em cordão esporonado. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (STRECK et al., 2008) e o clima da região como subtropical úmido “Cfa” de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (KOTTEK, 2006).

Figura 2 – Localização da área de pesquisa, em relação ao Rio Grande do Sul



Fonte: Adaptação de Google Earth<sup>tm</sup>.

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Delimitação da área, determinação da grade amostral e georreferenciamento dos pontos

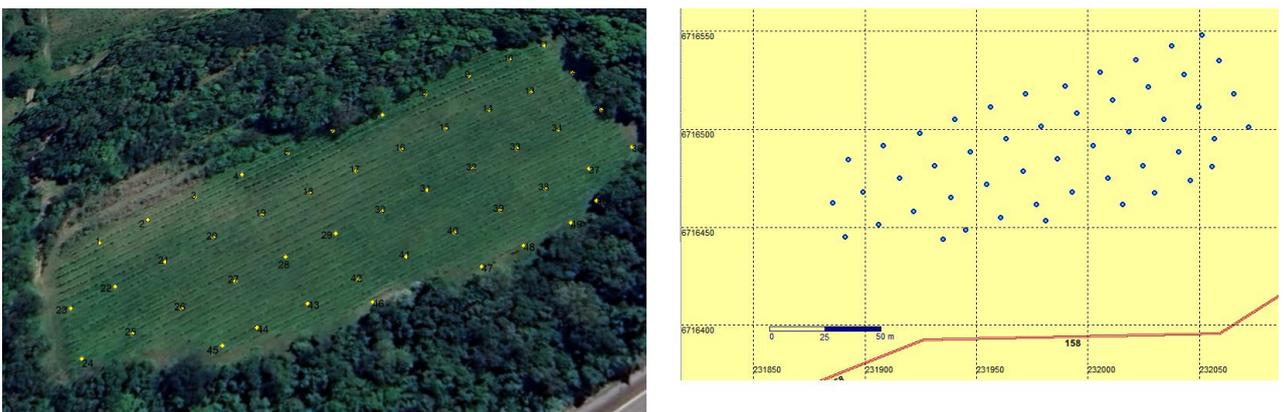
A delimitação da área do estudo foi realizada basicamente traçando-se o perímetro da área com o auxílio do software Google Earth.

Para a determinação do número de amostras foi levado em consideração a quantidade mínima de pontos por hectare para se obter um mapa representativo de variabilidade espacial em vinhedos de acordo com o trabalho de Speranza et al. (2021), assim foi determinado o número de 50 amostras para a área.

A distribuição dos pontos na grade amostral (grid) foi construída com o software Arcmap, com o auxílio da ferramenta Fishnet, de forma a respeitar uma forma geométrica com espaçamento de 15m x 15m entre os pontos, sendo que cada ponto deveria corresponder a uma planta, ou seja, o georreferenciamento foi ajustado de forma a cada ponto representar uma planta, que foi posteriormente marcada (pintada com tinta branca) para facilitar o reconhecimento a campo.

A grade foi salva na extensão KML e a determinação da geolocalização do ponto amostral foi realizada a campo com o aplicativo portátil Google Earth (Android).

Figura 3 – Georreferenciamento dos pontos amostrais



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

### 3.2.2 Procedimentos de amostragem e análise de solos

A coleta das amostras de solo foi realizada por amostragem simples, em um raio de 25 cm de cada planta georreferenciada, utilizando-se trado de rosca na

profundidade de 0-20 cm, de acordo com a metodologia preconizada pelo Manual de Adubação e Calagem para os estados do RS e SC (2016). A coleta das amostras foi realizada entre os dias 16 e 17 de setembro de 2021.

As amostras coletadas foram embaladas em sacos plásticos e identificadas, depois foram enviadas ao laboratório de análises de solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) onde foram examinadas. O laudo obtido junto ao laboratório apresentou resultados para os seguintes parâmetros químicos: pH em água, Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Alumínio (Al), CTC Efetiva, Saturação por Al, Saturação por bases, Índice SMP, Matéria orgânica, Argila, Enxofre (S), Fósforo (P), Potássio (K), CTC em pH 7.0, Cobre (Cu), Zinco (Zn) e Boro (B).

### 3.2.3 Leituras *in situ* com espectrorradiômetro e cálculo do NDVI

Foram realizadas leituras de reflectância do dossel em dois momentos com o aparelho ASD FieldSpec® HandHeld 2 (Figura 4), este modelo de espectrorradiômetro portátil possui resolução espectral de 325nm a 1.075nm com intervalo de medição de 1nm. Os registros foram realizados nos dias 25 de outubro de 2022 e 26 de novembro de 2022, entre as 11h e 12h45 por ser o horário que apresenta a inclinação solar mais favorável.

De acordo com Steffen et al. (1996) a calibração do aparelho foi realizada por meio de uma placa de referência Spectralon que possui reflectância análoga a de uma superfície lambertiana perfeita (100% de reflectância).

Figura 4 – Espectrorradiômetro ASD FieldSpec® HandHeld 2



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

As variabilidades relativas a cultivar (Cabernet Sauvignon e Shiraz) não foram consideradas, assumiu-se que a área da pesquisa era constituída somente por variedades viníferas de acordo com os critérios expostos no manual da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2016), que apresenta recomendações de adubação para uvas de mesa e uvas viníferas sem considerar a variedade.

As leituras foram realizadas por sensoriamento remoto proximal das folhas, feitas de forma direta pela entrada óptica do sensor a 0,5 m de distância do dossel, com um ângulo de visada de +45°, utilizando a reflectância da energia eletromagnética da radiação solar, adaptando a metodologia utilizada por Santos (2021).

As medidas de reflectância foram tomadas nas plantas correspondentes aos 50 pontos georreferenciados, utilizando-se a planta central e as vizinhas imediatas na linha à direita e à esquerda. Para cada ponto foi realizada uma leitura de cada lado em relação a linha de plantio, para diluir o efeito do sombreamento (Figura 5).

Figura 5 – Leituras *in situ* com espectrorradiômetro



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

Os dados obtidos através do espectrorradiômetro geraram um arquivo de padrão binário contendo o fator de reflectância relativo a cada comprimento de onda entre 350nm a 1.075nm. Estas informações foram salvas em um formato compatível com as planilhas utilizadas pelo software Libre Office Calc.

O índice vegetativo de interesse neste estudo, o NDVI, foi calculado por meio da equação (1) (ROUSE et al, 1974) através do editor Libre Office Calc, onde foram calculadas as médias das leituras (dos dois lados) das 3 plantas de cada ponto e

determinados os valores para o fator de reflectância na faixa do infravermelho próximo (NIR – Near Infrared) e do vermelho (RED).

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

Onde:

NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*;

NIR = reflectância na banda do infravermelho próximo (entre 800 e 880 nm);

RED = reflectância na banda do vermelho (entre 660 e 680 nm).

### 3.2.4 Obtenção da taxa de crescimento vegetativo

A taxa de crescimento foi adaptada do trabalho de Gebler et al. (2022), que relacionou a taxa de crescimento vegetativo em macieiras ao vigor. As medidas foram tomadas aproximadamente a cada 15 dias, a leitura inicial foi realizada uma semana após o início da brotação. Foram escolhidos e marcados 4 ramos por planta georreferenciada e realizadas medidas do comprimento total destes ramos a cada 15 dias, inicialmente com uma régua e posteriormente com uma fita métrica de costura (Figura 6).

Ao final da sexta leitura foi calculada a média de crescimento total por dia por planta (média dos 4 ramos) e calculada a taxa de crescimento pela seguinte equação (2):

$$TCV = (L_i - L_{(i-1)}) / (\Delta t) \quad (2)$$

Onde:

TCV = Taxa de crescimento vegetativo expressa em cm por dia;

$L_i$  = média das medidas (dos 4 ramos) da leitura atual;

$L_{(i-1)}$  = média das medidas (dos 4 ramos) da leitura anterior;

$\Delta t$  = intervalo de tempo entre as leituras (em dias).

Com os 6 valores de taxa de crescimento para cada ponto foi construído, com o software Libre Office Calc, um gráfico XY de dispersão somente com pontos, neste

gráfico foi inserida a linha de tendência com uma equação  $f(x) = ax + b$ . O parâmetro “a” da equação foi denominado “Fator de Velocidade de Crescimento (a)”, um valor que varia de -1 a 1 e interpretado da seguinte forma: quando o fator é positivo existe um aumento na velocidade de crescimento no período, quando o fator é negativo existe um decréscimo na velocidade de crescimento no período e quando o valor é próximo a 0,0 existe estabilidade e crescimento constante no período.

Figura 6 – Medidas da taxa de crescimento vegetativo



Fonte: Acervo pessoal do autor (2023).

### 3.2.5 Contagem do número de cachos e estimativa de produtividade

Foi realizada a contagem do número total de cachos de três plantas por ponto georreferenciado, sendo a planta central correspondente ao ponto e as duas plantas vicinais. Através da média das três plantas, o número de cachos por ponto foi obtido.

O peso médio do cacho das variedades Shiraz e Cabernet Sauvignon foi fornecido pela vinícola Velho Amâncio (Tabela 1).

A estimativa de produtividade foi calculada pelo produto entre a média do peso do cacho e a média de cachos por planta. Este método foi utilizado dado o fato de que no momento de finalização da pesquisa não era possível a colheita e pesagem dos cachos.

Tabela 1 – Parâmetros de produtividade da safra 2020 obtidos junto ao proprietário

<b>Variedade</b>	<b>Produtividade por planta (Kg)</b>	<b>Peso médio do cacho (Kg)</b>
Shiraz	1,55	0,165
Cabernet Sauvignon	0,9	0,125

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

### **3.2.6 Análise dos dados: estatística descritiva, geoestatística e mapas de variabilidade**

As variáveis químicas do solo, as leituras de índices de vegetação e os parâmetros taxa de crescimento vegetativo, fator de crescimento, produtividade estimada, foram submetidas a análise estatística descritiva e exploratória através do software Libre Office Calc, conforme proposto por LIBARDI et al. (1996) e GONÇALVES et al. (2001) e foram determinados os valores de: média, mediana, desvio padrão ( $s^2$ ), valor máximo, valor mínimo, coeficiente de variação (CV) e variância (s).

Os valores do coeficiente de variação foram analisados de acordo com a interpretação proposta por Gomes (1985), para experimentos em culturas agrícolas, que avalia o CV como baixo (inferior a 10%), médio (entre 10% e 20%), alto (entre 20% e 30%) e muito alto (acima de 30%).

Por meio da análise estatística descritiva foi possível identificar a existência de pontos com valores discrepantes (conhecidos como outliers), isto é, pontos que originam alta variabilidade ao conjunto de dados e influenciam os valores sensíveis a essas observações, favorecendo uma análise tendenciosa dos dados, que inviabiliza a utilização da metodologia geoestatística. Na análise geoestatística os valores outliers foram removidos para evitar impacto negativo na construção do semivariograma e interpretação errônea sobre o efeito pepita (ruído) e a existência de correlação espacial.

Todas as variáveis levantadas pela pesquisa foram submetidas a análise geoestatística, foi determinada a significância da correlação entre as amostras e a sua correspondência a distância. Para esta análise foi utilizado o software *Geostatistics for the Environmental Sciences GS+* (ROBERTSON, 2000) publicado pela empresa *Gamma Design Software*.

A análise de dependência espacial foi estudada por meio de semivariogramas experimentais ajustados a cada uma das variáveis, segundo o proposto por Vieira (2000), conforme a equação (3):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

Em que:

$\hat{\gamma}(h)$  - semivariância estimada;

$N(h)$  - número de pares do atributo;

$Z(x_i)$ ,  $Z(x_i+h)$  - valores dos atributos medidos na posição  $x_i$  e  $x_i + h$ , separados por um vetor;

$h$  (distância entre amostras).

Os modelos teóricos de semivariograma (esférico, exponencial e gaussiano) foram ajustados aos valores calculados de  $\hat{\gamma}(h)$  e foram estimados os parâmetros: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C_1$ ) e alcance de dependência espacial ( $a$ ). O melhor modelo, para cada variável pesquisada, foi determinado baseado nos critérios: menor soma do quadrado dos resíduos (SQR), no coeficiente de determinação múltipla ( $R^2$ ) e no valor  $R^2$  observado após a validação cruzada (valores reais x valores estimados).

O índice de dependência espacial (IDE) foi também calculado pelo software GS+ e classificado de acordo com o sugerido por Zimback (2001), que indica um IDE inferior a 25% como fraco, entre 25% e 75% como moderado e acima de 75% considerado forte.

A partir do modelo ajustado de semivariograma e validação cruzada satisfatória, foi utilizado o método de interpolação da krigagem ordinária para estimar valores desconhecidos de propriedades espaciais baseadas em valores vicinais já determinados, este método é caracterizado por calcular estimativas por médias móveis (LANDIM, 1998) utilizando a dependência espacial entre valores adjacentes, apresentada pelo semivariograma, para estimar valores, sem tendência e com mínima variância, em qualquer localização dentro da área (TRANGMAR et al., 1985).

Variáveis que apresentaram efeito pepita puro, foram interpoladas pelo método do Inverso do quadrado da distância (IDW).

Com o objetivo de verificar a dependência entre os parâmetros estudados, foi utilizado o coeficiente de correlação linear de Pearson ( $r$ ), de acordo com Moore (2007) a correlação avalia o nível de afinidade entre duas variáveis quantitativas e a direção. O coeficiente de Pearson foi interpretado conforme o proposto por Ferreira (2014), de acordo com a Tabela 1.

Os mapas de variabilidade espacial foram elaborados com os softwares GS+.

Tabela 2 – Magnitude da correlação do coeficiente de Pearson proposto por Ferreira (2014)

Intervalos de $r$	Magnitude da correlação
$0,1 < r < 0,4$	fracamente positiva
$0,4 < r < 0,8$	moderadamente positiva
$0,8 < r < 1,0$	altamente positiva
$-0,2 < r < -0,4$	fracamente negativa
$-0,4 < r < -0,8$	moderadamente negativa
$-0,8 < r < -1,0$	altamente negativa
$r = 0$	não há correlação

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para verificar a correlação entre os mapas de variabilidade (dos fatores: produtividade, fator “a”, NDVI1 e NDVI 2) foi utilizado o índice de Kappa, este índice estatístico é capaz de verificar a concordância entre os mapas dando maior confiabilidade e precisão à apresentação dos mesmos (PERROCA e GAIDZINSKI, 2003). O coeficiente de Kappa é representado pela equação (4):

$$\text{kappa} = (Pr(a) - Pr(e)) / (1 - Pr(e)) \quad (4)$$

Onde:

$Pr(a)$  – é a concordância relativa observada;

$Pr(e)$  – é a probabilidade hipotética de concordância entre os dois mapas avaliados.

O valor de Kappa é calculado entre 1 (concordância completa) e 0 (ausência de concordância). De acordo com Kitchen et al. (2005), resultados do coeficiente próximos a 1 (concordância completa) ocorrem quando a concordância espacial entre os dois mapas é máxima. Fonseca (2000) sugeriu a seguinte interpretação dos resultados de kappa (Tabela 2):

Tabela 3 – Interpretação do coeficiente de Kappa proposto por Fonseca (2000)

Índice Kappa	Interpretação
$<0$	Péssimo
$0 < k \leq 0.2$	Ruim
$0.2 < k \leq 0.4$	Razoável
$0.4 < k \leq 0.6$	Bom
$0.6 < k \leq 0.8$	Muito Bom
$0.8 < k \leq 1.0$	Excelente

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Foi utilizado o software QGIS Desktop 3.22.13 para o cálculo do coeficiente de Kappa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

#### 4.1.1 Estatística descritiva dos atributos químicos do solo

Com base nos resultados obtidos pela análise da estatística descritiva dos atributos químicos do solo (Tabela 4), verificou-se uma considerável variação entre os valores mínimos e máximos para todas as variáveis. Dentre os atributos destacou-se a variabilidade apresentada por fósforo, que de acordo com a classificação da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2016) apresentou valores entre muito baixo e alto, e potássio que oscilou entre médio e muito alto.

Cabe ressaltar a importância do potássio, sendo o elemento extraído em maior quantidade pela videira ao longo do ciclo e com influência sobre a qualidade do mosto.

Tabela 4 – Estatística descritiva dos atributos químicos do solo

Variável	Valores					s	s <sup>2</sup>	CV%	Classificação
	Média	Mediana	Mínimos	Máximo					
Argila	24.78	24	14	42	5.93	35.20	23.94	alto	
pH_H <sub>2</sub> O	5.79	5.8	5	6.5	0.23	0.05	3.97	baixo	
MO	1.83	1.8	0.8	3.6	0.48	0.23	26.23	alto	
P	8.55	6.75	0.9	42	8.57	73.42	100.23	muito alto	
K	228.8	228	96	328	50.28	2528.6	21.98	alto	
Ca	9.21	8.75	4.8	15.7	2.18	4.77	23.67	alto	
Mg	2.46	2.4	1.1	4.6	0.82	0.68	33.33	muito alto	
Cu	25.43	24.68	12.06	47.25	8.72	76.16	34.29	muito alto	
Zn	14.89	13.33	5.48	32.55	6.22	38.71	41.78	muito alto	
B	0.43	0.42	0.06	0.93	0.23	0.05	53.91	muito alto	
CTC <sub>pH7</sub>	15.94	15.45	10.1	24.9	3.08	9.53	19.32	médio	
CTC <sub>ef</sub>	12.3	11.75	6.6	21	2.96	8.76	24.07	alto	
Sat_Base	76.6	76.7	56	92.3	6.92	47.91	9.03	baixo	

Onde: Argila em porcentagem; P = Fósforo (mg/dm<sup>3</sup>); K = Potássio (mg/dm<sup>3</sup>); MO = Matéria Orgânica (%); Al = Alumínio (cmolc/dm<sup>3</sup>); Ca = Cálcio (cmolc/dm<sup>3</sup>); Mg = Magnésio (cmolc/dm<sup>3</sup>); CTC<sub>ef</sub> = Capacidade de Troca de Cátion Efetiva (cmolc/dm<sup>3</sup>); CTC<sub>pH7</sub> = Capacidade de Troca de Cátion em pH 7,0 (cmolc/dm<sup>3</sup>); Zn = Zinco (mg/dm<sup>3</sup>); Cu = Cobre (mg/dm<sup>3</sup>); B = Boro (mg/dm<sup>3</sup>), S = Desvio Padrão; s<sup>2</sup> = Variância; CV % = Coeficiente de Variação em Porcentagem.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A análise do coeficiente de variação sugerida por Gomes (1985) apresentou uma amplitude de variação significativa, sendo que 15,38% dos atributos analisados apresentaram coeficiente de variação baixo, 7,69% apresentaram CV médio, 38,46% alto e 38,46 muito alto. Portanto, grande parte dos dados (76,92%) apresentaram valores muito discrepantes em relação à média. Isso evidenciou a variabilidade espacial que existe na área.

Os atributos foram agrupados em relação a esta classificação:

- a) Coeficiente de variação baixo: pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> e Sat<sub>base</sub>;
- b) Coeficiente de variação médio: CTC<sub>pH7</sub>;
- c) Coeficiente de variação alto: Argila, MO, K, Ca e CTC<sub>ef</sub>; e
- d) Coeficiente de variação muito alto: P, Mg, Cu, Zn e B.

A média aritmética do atributo pH em água foi de 5,79 com valores oscilando entre 5 e 6,5. Este valor médio está próximo do valor de referência para o bom desenvolvimento da cultura de acordo com Giovannini (2014) que é pH 6, ainda de acordo com este autor, a faixa de pH ideal para a produção de vinhos de alta qualidade é entre 6,5 e 7,5 (próximo a neutralidade).

O gerenciamento do pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> em faixas de valores iguais ou superiores a 6, tem por objetivo eliminar o efeito da toxidez por alumínio, prejudicial ao vinhedo, e promover a disponibilidade de elementos químicos essenciais à planta no solo, estimulando o desenvolvimento radicular.

O teor de matéria orgânica médio encontrado no vinhedo foi de 1,83%, um valor inferior a 2,5% é considerado baixo pelo manual de adubação e calagem (2016). A matéria orgânica exerce influência sobre a quantidade de adubação nitrogenada.

A aplicação da adubação nitrogenada no vinhedo deve ser administrada de forma cautelosa pois exerce impacto no crescimento vegetativo das videiras, na produtividade e na composição da uva, do mosto e, por consequência, no vinho (BRUNETTO et al., 2007). Portanto, visando a qualidade do produto final, é interessante que a matéria orgânica do solo seja baixa, pois permite um controle melhor da relação qualidade/nitrogênio.

A quantidade média de P (Fósforo) encontrada na análise de 8,55 mg/dm<sup>3</sup>, é considerada baixa para um solo com a classificação 3 de teor de argila. A deficiência de P ocasiona na diminuição do sistema radicular e da parte aérea, baixa lignificação

dos ramos, baixa diferenciação das gemas, baixa fecundação, atraso na maturação dos cachos, e diminuição do teor de açúcar, necessitando aplicar insumos de solubilização lenta uniformemente distribuídos para a correção (GIOVANNINI, 2014).

Observando-se o rol de dados para o atributo P, notou-se uma alta variabilidade de valores entre 0,9 e 42 mg/dm<sup>3</sup>, de acordo com Molin et al. (2015) este elemento químico se caracteriza pela imobilidade vertical no solo e alta variabilidade horizontal a curtas distâncias.

A interpretação da disponibilidade no solo do teor de K (potássio) é dada em função da correlação entre a quantidade de K (mg/dm<sup>3</sup>) e a CTC<sub>pH7</sub> (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2016). A CTC<sub>pH7</sub> média observada foi 15,94 cmolc/dm<sup>3</sup> e a média do teor de K nas amostras foi de 228,8 mg/dm<sup>3</sup>, o que corresponde a classe alta de disponibilidade deste nutriente no solo.

Os teores de Ca (cálcio) e Mg (magnésio), 9,21 cmolc/dm<sup>3</sup> e 2,46 cmolc/dm<sup>3</sup> respectivamente, foram classificados como altos, a relação Ca:Mg ficou próxima a 4:1. Estes altos teores podem ser explicados pela prática da calagem. O alto nível de Ca interfere na absorção de outros nutrientes (P, K e Mg), no caso da necessidade de uma nova correção no pH, critérios devem ser tomados para evitar um desequilíbrio em relação ao P, que se encontra em nível baixo no solo. Portanto o corretivo selecionado deve levar em conta não apenas o poder de neutralização da acidez, mas também a relação Ca:Mg do material (MEDEIROS et al., 2008).

Os níveis de Cu (cobre) 25,43 mg/dm<sup>3</sup> e Zn (zinco) 14,88 mg/dm<sup>3</sup> foram considerados altos, porém com valores muito superiores ao descrito no manual de adubação e calagem que considera alto, valores acima de 0,4 mg/dm<sup>3</sup> para cobre e 0,5 mg/dm<sup>3</sup> para zinco. Este fenômeno provavelmente está associado ao histórico de utilização de fungicidas e/ou caldas a base de Cu e Zn, cujo excesso foi depositado no solo, respaldando as pesquisas de Casali et al. (2008) e Girotto (2010).

A portaria FEPAM N.º 85/2014, estabelece os valores de referência de qualidade (VRQ) em relação a nove elementos químicos naturalmente presentes nos solos do Rio Grande do Sul, no caso dos metais Cu e ZN os VRQ estabelecidos pela portaria são respectivamente 13 mg/dm<sup>3</sup> e 31 mg/dm<sup>3</sup>, ou seja, a área da vinícola apresenta um nível de contaminação grave para o elemento Cobre.

O índice médio de B (boro) obtido pela análise foi de 0,42 mg/dm<sup>3</sup> e este valor é considerado alto pela tabela do manual, entretanto para a cultura da videira a faixa de boro considerada ideal é de 0,6 a 1,0 mg/dm<sup>3</sup> (SOCIEDADE BRASILEIRA DE

CIÊNCIA DO SOLO, 2016). A baixa disponibilidade de boro pode ocasionar baixa taxa de germinação de pólen, e problemas de desenvolvimento do tubo polínico, o que leva a cachos e frutos mal formados e também abortamento de frutos no início do desenvolvimento (NATALE, 2018).

A correção pode ser realizada com a aplicação (no solo), logo após a poda, de 20 gramas de bórax por planta, ou três aplicações com intervalos semanais de ácido bórico (1 grama por litro de água), antes do florescimento, direcionando a pulverização aos cachos, devido à imobilidade do B na planta (TECCHIO, 2012).

#### 4.1.2 Estatística descritiva dos parâmetros fitotécnicos

Os parâmetros fitotécnicos analisados foram o NDVI, O Fator de velocidade de crescimento (a), a contagem do número de cachos por planta e a produtividade estimada por planta (Tabela 5).

Tabela 5 – Estatística descritiva dos parâmetros fitotécnicos

Variável	Média	Mediana	Valores		s	s <sup>2</sup>	CV%	Classificação
			Mínimos	Máximo				
NDVI 1	0.82	0.86	0	0.9	0.17	0.02	20.73	alto
NDVI 2	0.87	0.9	0	0.93	0.18	0.03	20.69	alto
Fator A	0.05	0	-0.24	0.65	0.18	0.03	360.00	muito alto
Cachos / Planta	1.55	1	0	7	1.76	3.12	113.55	muito alto
Produtividade	0.21	0.13	0	1.15	0.26	0.07	123.81	muito alto

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

As leituras de NDVI foram realizadas em dois momentos e apresentaram valores médios de 0,82 para a primeira leitura e 0,87 para a segunda leitura. O índice NDVI varia de -1 a 1, sendo que valores mais próximos de 1 indicam vegetação fotossintética ativa, maior vigor de desenvolvimento e consequentemente maior potencial produtivo (RISSINI, 2011).

O fator de velocidade de crescimento médio foi 0,05 indicando um crescimento constante no período. O valor 0 apresentado como mínimo na tabela 2 corresponde a dois pontos onde as videiras morreram.

A contagem do número de cachos por planta levou a um número médio de 1,55 cacho por planta, sendo que na área foram diagnosticadas plantas sem cachos (e também correspondendo a ponto sem videira) e plantas com até 7 cachos.

A produtividade estimada foi calculada através da multiplicação do número de cachos por planta pelo valor médio do peso do cacho (índice fornecido pela Vinícola Velho Amâncio – Tabela 5), a produtividade média estimada foi 0,21 Kg por planta. Este valor está muito aquém dos valores observados na safra anterior, quando o proprietário informou uma produtividade média de 1,55 Kg por planta da variedade Shiraz e 0,9 Kg por planta da variedade Cabernet Sauvignon. Este fato pode ser justificado pela escassez de chuvas que ocorreu durante o período de formação das gemas. Isso reforça a conclusão de Gebler (2015), que percebeu a necessidade da fruticultura de precisão levar em conta o fator temporal e as coletas de dados serem realizadas ao menos em três safras para uma maior confiabilidade das conclusões.

A produtividade é considerada um parâmetro fundamental, a sua determinação visa dar suporte ao produtor no momento de tomar decisões, tanto operacionais quanto comerciais (TRIBONI et al., 2004).

#### 4.1.3 Correlação linear simples de Pearson

Para esta consideração foi realizada a análise do coeficiente de correlação de Pearson ao nível de 5%. Das 18 variáveis analisadas, obteve-se 54 correlações com algum nível de significância (Tabela 6 e 7).

Tabela 6 – Correlação de Pearson entre atributos químicos do solo e parâmetros fitotécnicos

(continua)

Variável	NDVI 1	NDVI 2	Fator “a”	Cachos/Planta	Produtividade
Argila	0.28*	0.26*	-0.41***	-0.19 <sup>ns</sup>	-0.22**
pH H <sub>2</sub> O	0.07 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	0.2*	0.2*
MO	-0.44***	-0.44***	0.07 <sup>ns</sup>	-0.1 <sup>ns</sup>	-0.12 <sup>ns</sup>
P	-0.02 <sup>ns</sup>	-0.01 <sup>ns</sup>	0.35*	0.3*	0.33*
K	0.04 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	-0.05 <sup>ns</sup>	-0.15 <sup>ns</sup>	-0.19 <sup>ns</sup>
Ca	-0.252**	-0.232**	0.315*	0.203*	0.270*

Tabela 6 – Correlação de Person entre atributos químicos do solo e parâmetros fitotécnicos

(conclusão)

Variável	NDVI 1	NDVI 2	Fator “a”	Cachos/Planta	Produtividade
Mg	-0.208**	-0.207**	0.246*	0.067ns	0.111*
Cu	-0.269**	-0.259**	0.096ns	-0.073ns	-0.096ns
Zn	-0.327**	-0.310**	0.292*	-0.016ns	-0.044ns
B	0.282*	0.274*	0.045 <sup>ns</sup>	-0.063 <sup>ns</sup>	-0.123 <sup>ns</sup>
CTC <sub>pH7</sub>	-0.217**	-0.199 <sup>ns</sup>	0.318*	0.087 <sup>ns</sup>	0.148*
CTC <sub>efet</sub>	-0.241**	-0.226**	0.308*	0.154*	0.216*
Sat_bases	-0.164 <sup>ns</sup>	-0.159 <sup>ns</sup>	0.121*	0.221*	0.248*

\* Correlação fracamente positiva; \*\* correlação fracamente negativa; \*\*\* correlação moderadamente negativa; <sup>ns</sup> correlação não significativa.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na análise da correlação de Pearson entre os parâmetros fitotécnicos, foram observados 12 resultados com correlação fracamente positiva (variando entre 0,158 e 0,235), 4 resultados com correlação altamente positiva e 4 resultados sem correspondência significativa. Era esperado que o fator “a” tivesse correlação fortemente positiva com as leituras de NDVI, o fato dessa correlação não ter ocorrido pode ser explicada pelo baixo número de medidas de NDVI (duas) e pela época das leituras, sendo o ideal as ter iniciado antes concomitantes às leituras do crescimento, provavelmente no momento em que as leituras foram tomadas o valor do NDVI já estava estabilizado.

Tabela 7 – Correlação de Pearson entre os parâmetros fitotécnicos

Variável	NDVI 1	NDVI 2	fator “a”	cachos/planta	produtividade
NDVI 1	X	0.986**	0.055 <sup>ns</sup>	0.177*	0.158*
NDVI 2	0.986**	X	0.082 <sup>ns</sup>	0.198*	0.180*
fator “a”	0.055 <sup>ns</sup>	0.082 <sup>ns</sup>	X	0.231*	0.235*
cachos/planta	0.177*	0.198*	0.231*	X	0.986**
produtividade	0.158*	0.180*	0.235*	0.986**	X

\* Correlação fracamente positiva; \*\* correlação altamente positiva; <sup>ns</sup> correlação não significativa.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na análise da correlação de Pearson entre os parâmetros fitotécnicos, foram observados 12 resultados com correlação fracamente positiva (variando entre 0,158 e 0,235), 4 resultados com correlação altamente positiva e 4 resultados sem correspondência significativa.

## 4.2 ANÁLISE VARIOGRÁFICA

Para o estudo da dependência espacial dos atributos químicos do solo e dos parâmetros fitotécnicos, foram analisados os semivariogramas, que de acordo com Guimarães (2004), permitem obter uma estimativa da semivariância para combinações de pares de pontos distintas e assim avaliar o nível de dependência espacial da variável e determinar os fatores necessários à estimativa dos valores em locais não amostrados.

A classificação do índice de dependência espacial (IDE) foi avaliada de acordo com o critério de Zimback (2001), que classifica um IDE inferior a 25% como fraco, entre 25% e 75% como moderado e acima de 75% considerado forte.

Para a definição do melhor modelo de semivariograma, foram considerados os seguintes critérios: o menor valor do residual (SQR), o menor efeito pepita ( $C_0$ ), a classificação do índice de dependência espacial (IDE) e o menor alcance (A) em relação à distância máxima (lag distance) (RIBEIRO JR., 2001; SEBEM, 2017).

Todas as variáveis apresentaram o comportamento isotrópico na análise dos seus semivariogramas, neste caso, a determinação experimental do semivariograma depende somente da distância entre as amostras e não da direção (VIEIRA, 1998).

### 4.2.1 Semivariogramas dos atributos químicos do solo

A análise do índice de dependência espacial (IDE) de acordo com Zimback (2001), apontou a relação de forte dependência espacial (valores acima de 75%) para todos os atributos relacionados, à exceção do Zinco (Zn) que demonstrou dependência espacial moderada.

Os atributos Fósforo (P), e Cobre (Cu) se ajustaram melhor ao modelo esférico de semivariograma, os demais se ajustaram ao modelo Gaussiano.

O maior efeito pepita foi encontrado na análise do Zn, seguido do Cu. As demais análises demonstraram baixo efeito pepita.

A maior amplitude do alcance (A) foi verificado para a variável Zn, e a menor para a variável K.

A soma dos quadrados dos resíduos (SQR) foi um importante fator ao se selecionar o modelo mais confiável, neste parâmetro observou-se que o pH em água

foi o atributo que apresentou menor residual, seguido da matéria orgânica e boro. O maior valor da SQR foi observado para a variável Argila.

A partir dos ajustes representados na Tabela 8, foi determinado o método de interpolação por krigagem ordinária para todas as variáveis, exceto K, que apresentou um comportamento de completa aleatoriedade espacial, o grid utilizado nesta pesquisa não foi sensível o suficiente para captar a variabilidade do K e devido ao efeito pepita puro, se utilizou o método do inverso do quadrado da distância para interpolar esta variável.

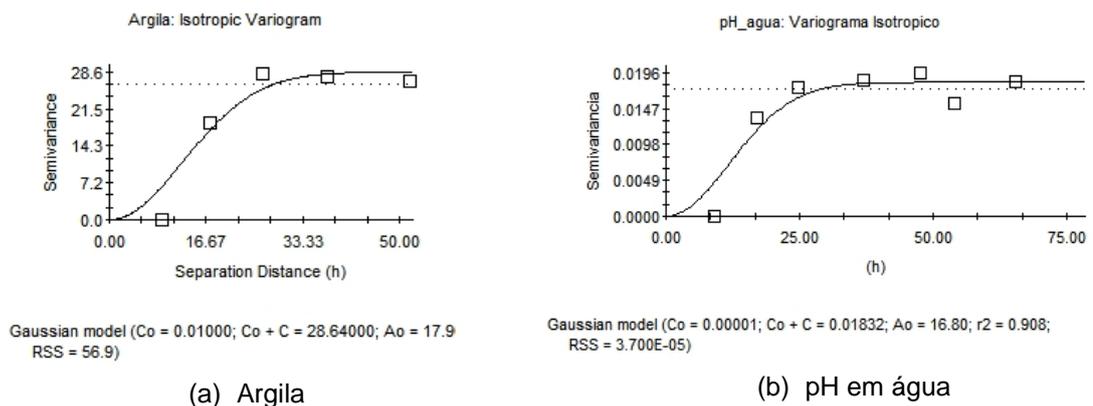
Tabela 8 – Ajuste dos modelos dos semivariogramas dos atributos químicos do solo

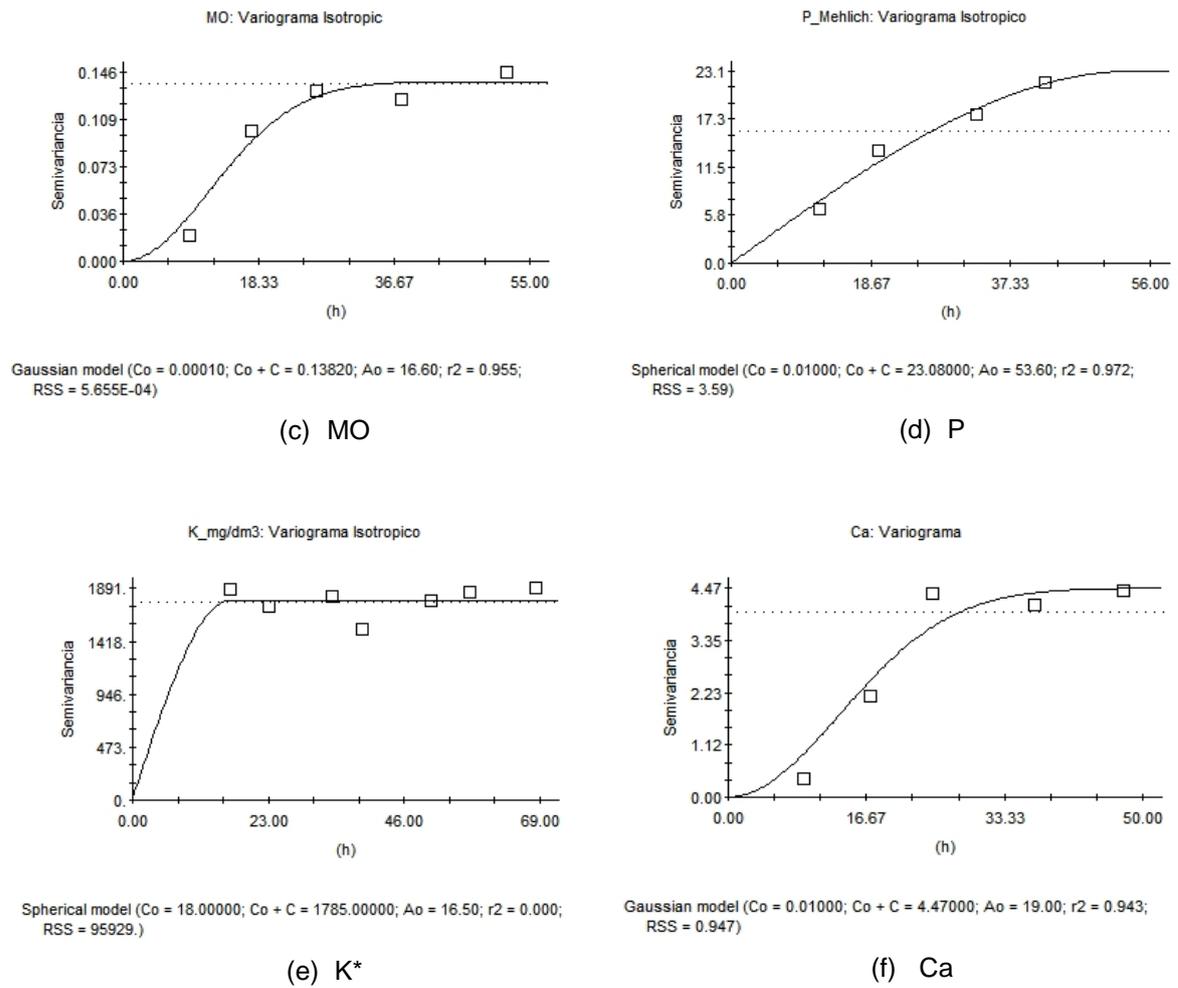
Variável	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	IDE (%)	A (m)	r <sup>2</sup>	SQR
Argila	Gaussiano	0.01	28.64	99.96	31	0.94	56.9
pH H <sub>2</sub> O	Gaussiano	0	0.02	99.94	29.09	0.91	3.7E-05
M.O.	Gaussiano	0	0.14	99.92	28.75	0.96	5.65E-04
P	Esférico	0.01	23.08	99.95	56.6	0.97	3.59
<b>K*</b>	Esférico	18	1785	99.95	16.5	0	95929
Ca	Gaussiano	0.01	4.47	99.77	32.9	0.94	0.95
Mg	Gaussiano	0	0.65	99.84	33.25	0.94	0.01
Cu	Esférico	3.2	38.68	91.72	26.8	1	0.17
Zn	Gaussiano	17.9	54.52	67.16	108.4	0.92	4.85
B	Gaussiano	0	0.05	99.79	37.23	0.91	1.60E-04
CTC <sub>pH7</sub>	Gaussiano	0.01	9.08	99.89	27.53	0.91	3.19
CTC <sub>ef</sub>	Gaussiano	0.01	8.43	99.88	30.65	0.95	1.77
Sat_Base	Gaussiano	0.47	26.57	98.23	28.05	0.99	2.31

Legenda: C<sub>0</sub> = Efeito Pepita; C<sub>0</sub>+C = Patamar; a = Alcance em metros; r<sup>2</sup> = Coeficiente de Determinação; SQR = Erro Médio Quadrático do modelo ajustado; IDE = Índice de Dependência Espacial. \*=K não se ajustou ao semivariograma.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 7 – Semivariogramas dos atributos químicos do solo interpolados pelo método da krigagem ordinária: (a) Argila; (b) pH em água; (c) MO; (d) P; (e) K; (f) Ca

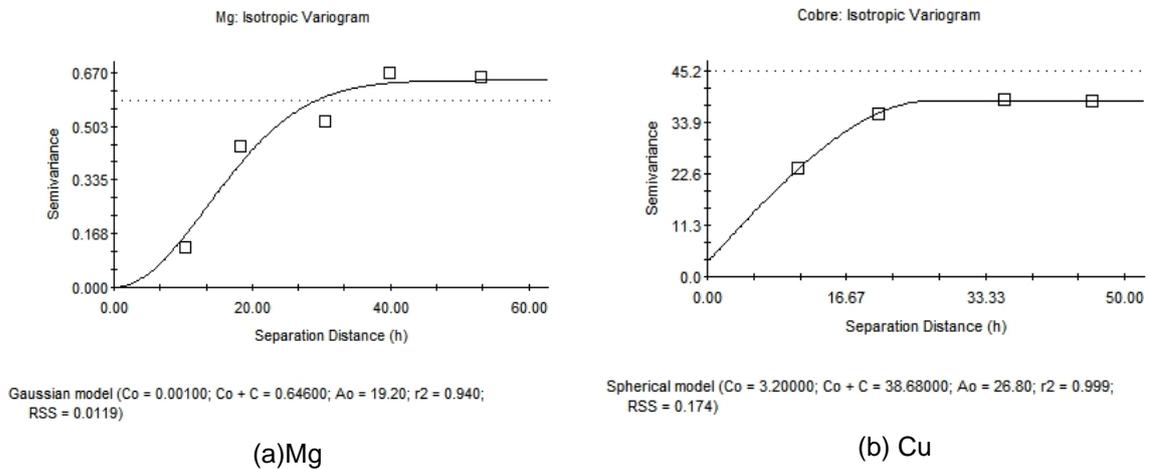


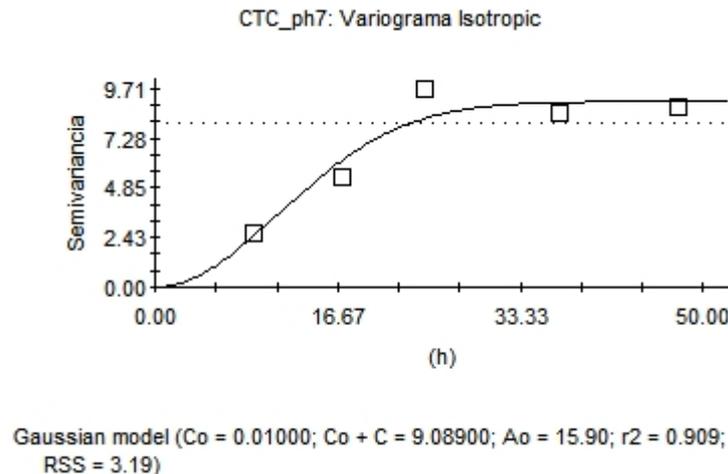
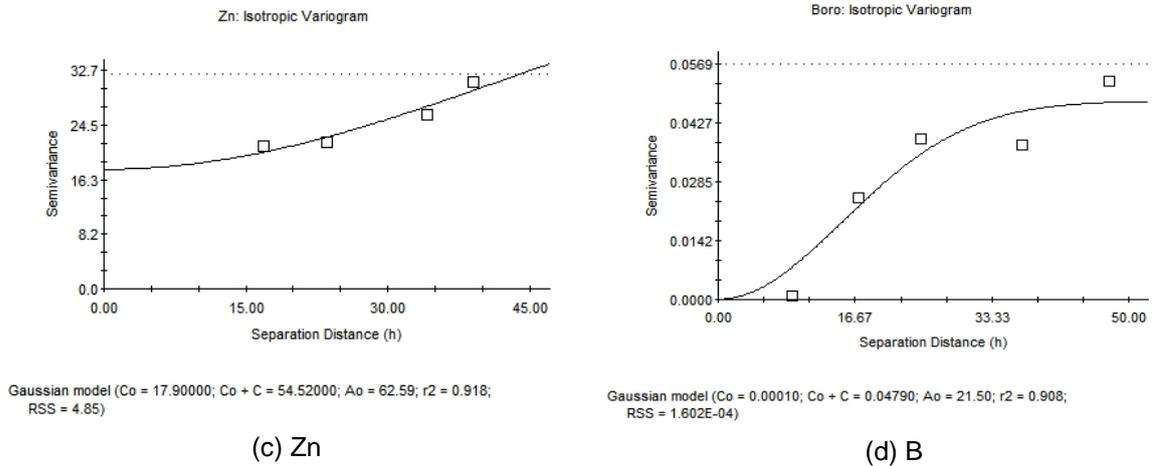


\* Efeito pepita puro.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 8 – Semivariogramas dos atributos químicos do solo interpolados pelo método da krigagem ordinária: (a) Mg; (b) Cu; (c) Zn; (d) B; (e) CTCpH7





Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

#### 4.2.2 Semivariogramas dos parâmetros fitotécnicos

Os índices de dependência espacial (IDE) analisados para os parâmetros fitotécnicos revelaram que todas as variáveis possuem forte dependência espacial (valores acima de 75%).

A variável produtividade apresentou como modelo mais confiável o semivariograma do tipo esférico, as demais foram melhor ajustadas ao modelo gaussiano.

O menor efeito pepita foi apresentado pelos parâmetros NDVI 1 e NDVI 2, e o maior pelo parâmetro “número de cachos por planta”. O maior valor do alcance (A) foi

verificado para a variável NDVI 2 e o menor valor do alcance para a variável Produtividade.

Os menores valores de soma dos quadrados dos resíduos (SQR) foram observados respectivamente pelos parâmetros NDVI 2 e NDVI 1, e o maior valor do residual foi encontrado no parâmetro “número de cachos por planta”.

A partir dos ajustes representados na Tabela 9, foi determinado o método de interpolação por krigagem ordinária para todas as variáveis.

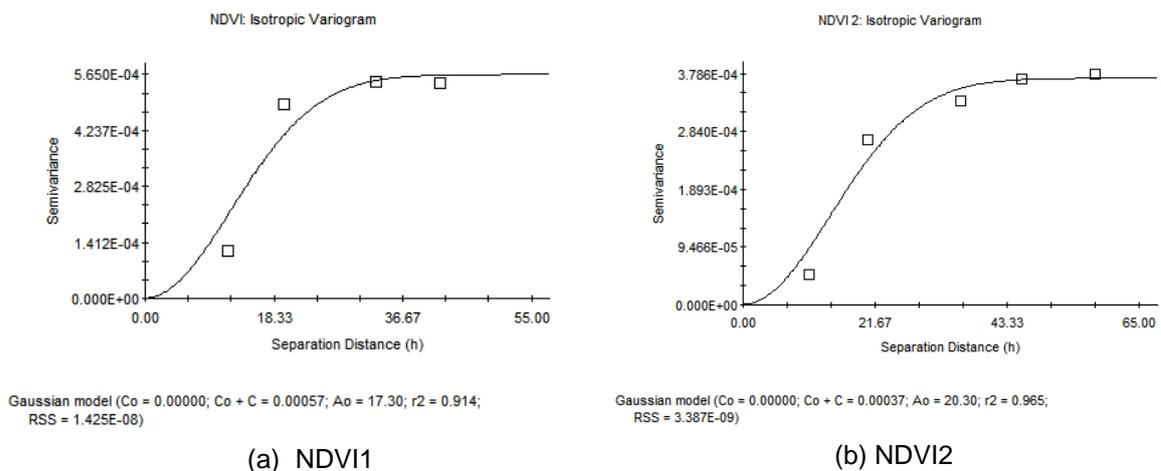
Tabela 9 – Ajuste dos modelos dos semivariogramas dos parâmetros fitotécnicos

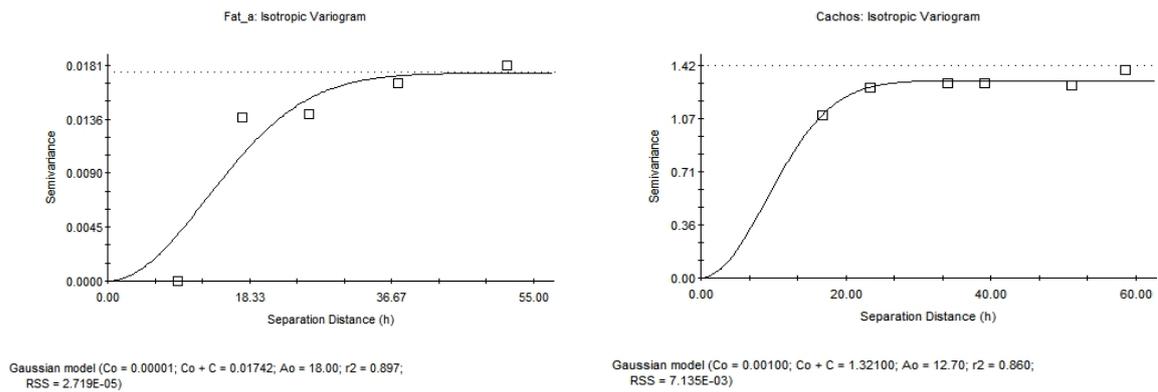
Variável	Modelo	$C_0$	$C_0+C$	IDE	A (m)	$r^2$	SQR
NDVI 1	Gaussiano	1E-06	5.65E-04	99.82	29.96	0.91	1.42E-08
NDVI 2	Gaussiano	1E-06	3.71E-04	99.73	35.16	0.97	3.38E-09
Fator A	Gaussiano	1E-05	0.02	99.94	31.17	0.9	2.71E-05
Cachos / Planta	Gaussiano	1E-03	1.32	99.92	21.99	0.86	7.13E-03
Produtividade	Esférico	6.4E-04	0.02	96.97	26.2	0.82	2.44E-06

Legenda:  $C_0$  = Efeito Pepita;  $C_0+C$  = Patamar; a = Alcance em metros;  $r^2$  = Coeficiente de Determinação; SQR = Erro Médio Quadrático do modelo ajustado; IDE = Índice de Dependência Espacial.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

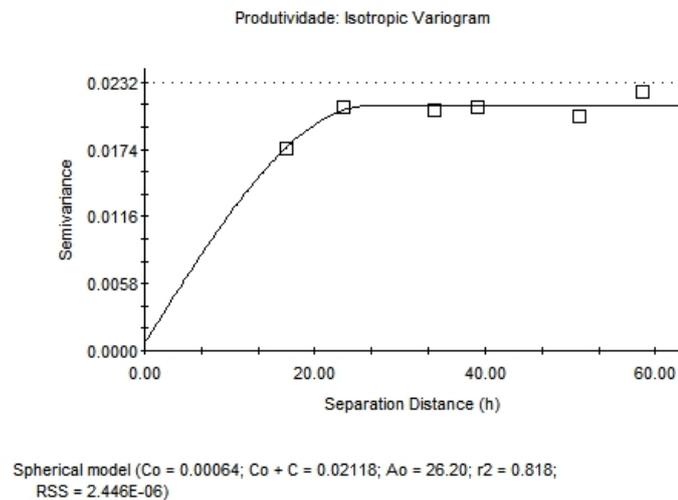
Figura 9 – Semivariogramas dos parâmetros fitotécnicos interpolados pelo método da krigagem ordinária: (a) NDVI1; (b) NDVI2; (c) Fator “a”; (d) Número de cachos por planta; (e) Produtividade





(c) Fator "a"

(d) Número de cachos por planta



(e) Produtividade

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

### 4.3 VALIDAÇÃO CRUZADA

A validação cruzada é uma ferramenta utilizada para avaliar a qualidade das estimativas. De acordo com Andriotti (2002), esta ferramenta realiza a análise da seguinte forma: remove o valor associado a um ponto do conjunto de dados e estima este valor através da krigagem, repetindo este processo para cada ponto amostral, comparando o valor estimado com o valor obtido pela pesquisa.

Segundo Molin et al. (2015) a confiabilidade da validação cruzada é baseada nos seguintes parâmetros: coeficiente angular (que deve ter valor próximo a 1), coeficiente linear (que deve ter valor próximo a zero), e coeficiente de correlação  $r^2$  (deve ter valor próximo a 1).

Os valores obtidos pelo cálculo da validação cruzada foram apresentados na Tabela 10:

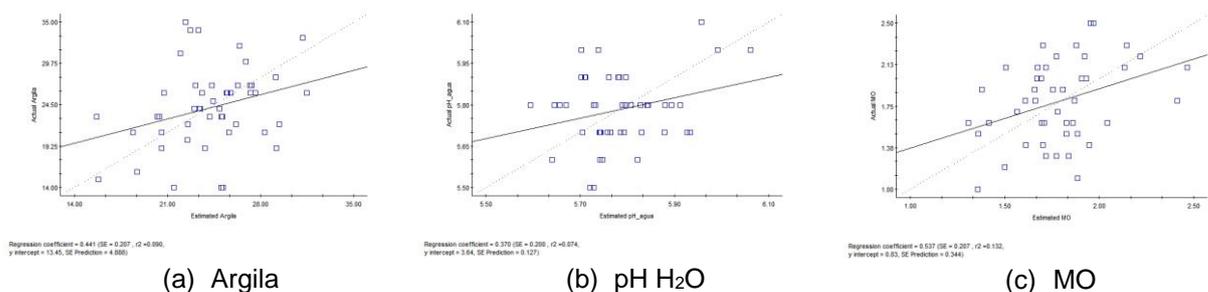
Tabela 10 – Parâmetros da validação cruzada para as variáveis da pesquisa

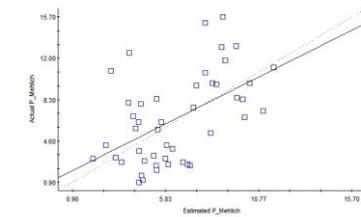
Variável	Coefficiente Angular	Coefficiente Linear	r <sup>2</sup>
Argila	0.44	13.45	0.09
pH H <sub>2</sub> O	0.37	3.64	0.07
M.O.	0.54	0.83	0.13
P	0.85	1.17	0.27
Ca	1.12	-0.91	0.6
Mg	1.09	-0.16	0.57
Cu	0.3	16.55	0.02
Zn	0.98	0.31	0.33
B	0.83	0.07	0.55
CTC <sub>pH7</sub>	1.08	-1.01	0.35
NDVI 1	0.26	0.64	0.04
NDVI 2	0.67	0.31	0.29
Fator “a”	0.28	0.02	0.05
Nº de Cachos por planta	0.47	0.62	0.06
Produtividade	0.56	0.07	0.07

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Os resultados obtidos pela validação cruzada apresentaram valores compatíveis com o critério de Molin et al. (2015) para o coeficiente linear, exceto pelas variáveis Argila e Cobre. Com relação ao coeficiente de correlação, todas as variáveis ficaram longe do valor padrão 1, apresentando valores mais próximos a zero. Apenas 6 atributos químicos apresentaram valor de coeficiente angular próximo a 1, Fósforo, Cálcio, Magnésio, Zinco, Boro e CTC<sub>pH7</sub>.

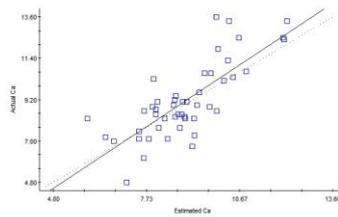
Figura 10 – Validação Cruzada na interpolação por krigagem para as variáveis: (a) Argila; (b) pH em água; (c) MO; (d) P; (e) Ca; (f) Mg; (g) Cu; (h) Zn; (i) B; (j) CTC<sub>pH7</sub>





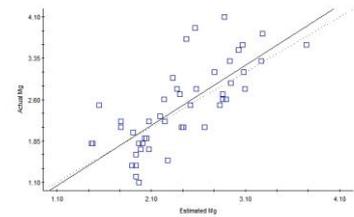
Regression coefficient = 0.850 (SE = 0.212,  $t_2 = 4.0267$ ,  
y intercept = 1.17, SE Prediction = 3.415).

(d) Fósforo



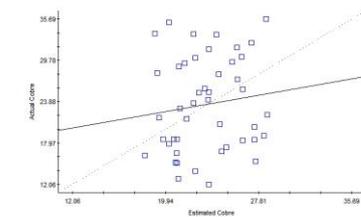
Regression coefficient = 1.121 (SE = 0.135,  $t_2 = 8.299$ ,  
y intercept = -0.91, SE Prediction = 1.237).

(e) Cálcio



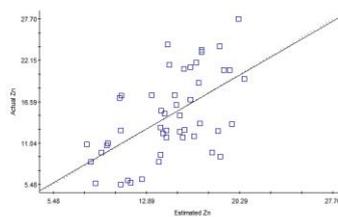
Regression coefficient = 1.002 (SE = 0.143,  $t_2 = 7.055$ ,  
y intercept = -0.16, SE Prediction = 0.504).

(f) Magnésio



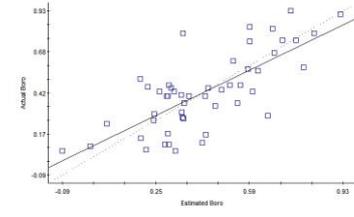
Regression coefficient = 0.207 (SE = 0.302,  $t_2 = 0.686$ ,  
y intercept = 18.55, SE Prediction = 6.666).

(g) Cobre



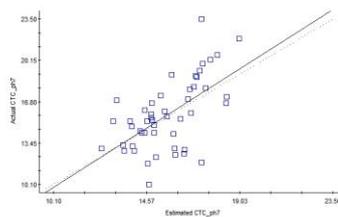
Regression coefficient = 0.977 (SE = 0.207,  $t_2 = 4.727$ ,  
y intercept = 0.31, SE Prediction = 1.237).

(h) Zinco



Regression coefficient = 0.627 (SE = 0.108,  $t_2 = 5.805$ ,  
y intercept = 0.97, SE Prediction = 0.160).

(i) Boro



Regression coefficient = 1.076 (SE = 0.212,  $t_2 = 5.076$ ,  
y intercept = -1.91, SE Prediction = 2.279).

(j) CTC<sub>pH7</sub>

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

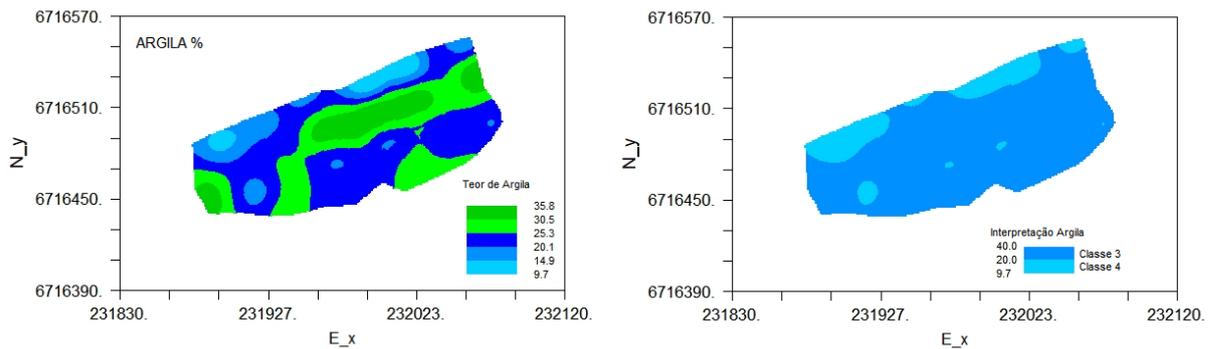
#### 4.4 MAPAS DE VARIABILIDADE ESPACIAL INTERPOLADOS POR KRIGAGEM ORDINÁRIA

A Figura 11 apresenta os mapas de variabilidade espacial, obtidos através da krigagem ordinária, para as principais variáveis do estudo.

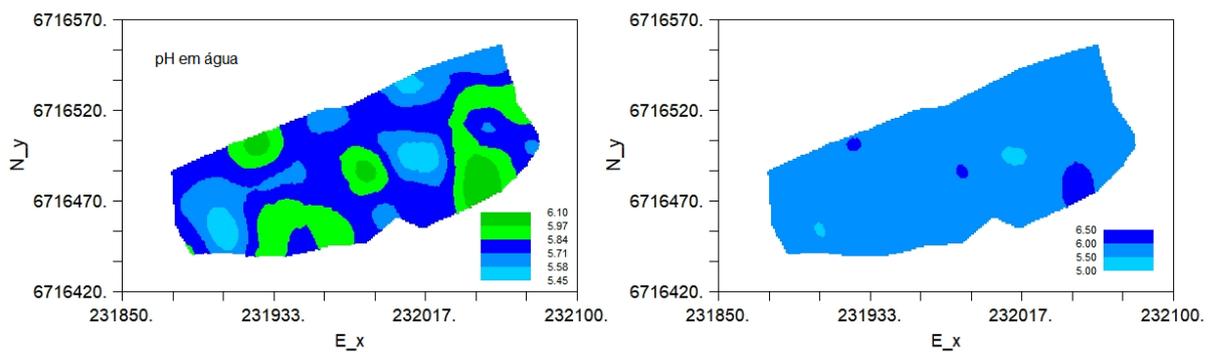
Os mapas de variabilidade digitais expuseram a heterogeneidade existente no espaço para os atributos químicos do solo, e poderão ser utilizados para o gerenciamento da adubação em zonas específicas de manejo. Cada mapa de variabilidade foi elaborado em conjunto com um mapa de interpretação de acordo com o manual de adubação e calagem da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2016).

Estes mapas podem também ser utilizados para monitorar a evolução da variabilidade da área ao longo do tempo, desde que, doravante sejam realizadas sucessivas análises e elaborações de mapa. Auxiliando o produtor a compreender a área do vinhedo de modo eficiente.

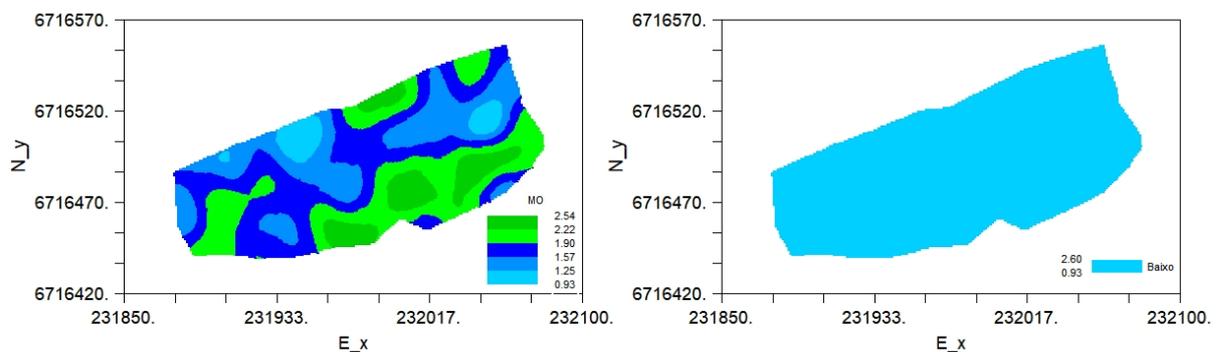
Figura 11 – Mapas de variabilidade espacial e mapas de interpretação: (a) Argila; (b) pH em água; (c) Matéria Orgânica; (d) Fósforo



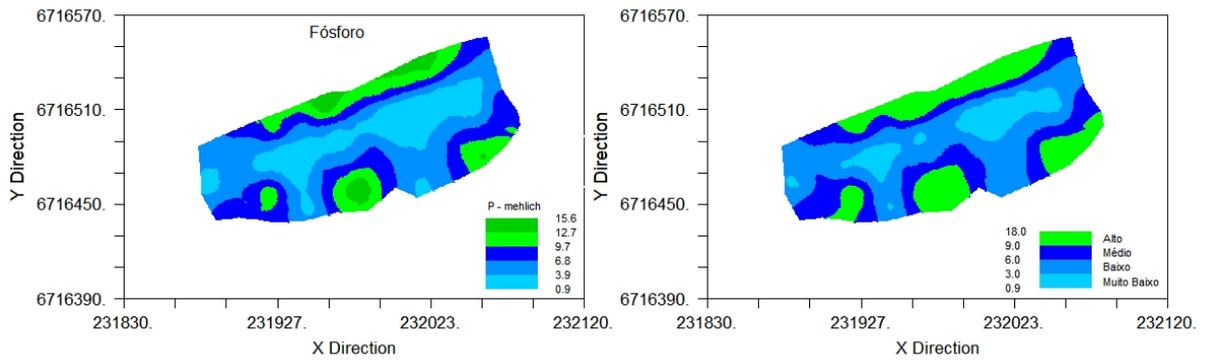
(a) Argila



(b) pH em água



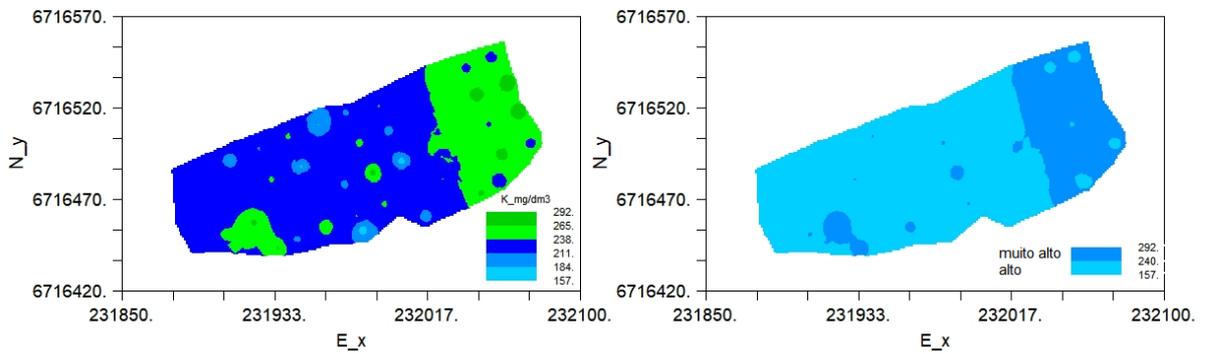
(c) Matéria orgânica



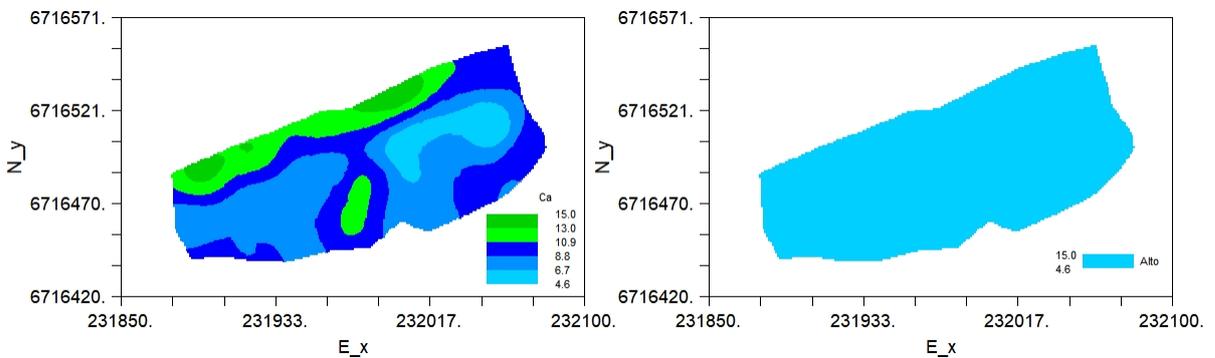
(d) Fósforo

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

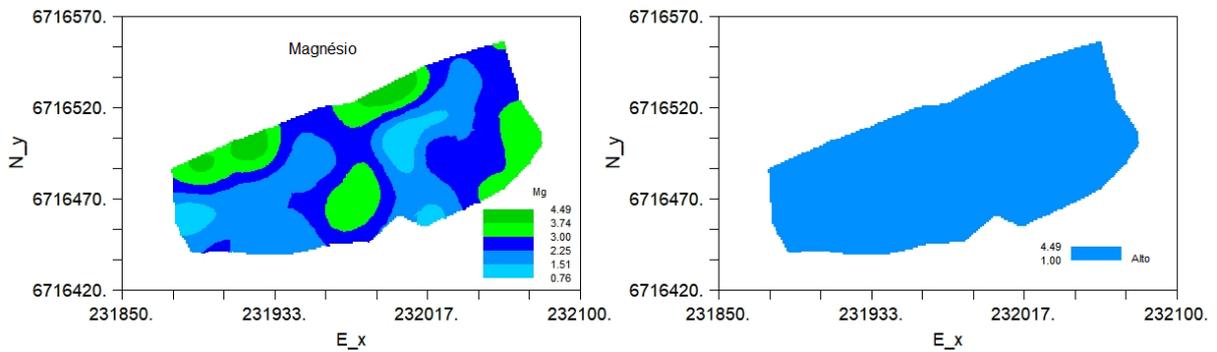
Figura 12 – Mapas de variabilidade espacial e mapas de interpretação – parte 2: (a) Potássio; (b) Cálcio; (c) Magnésio



(a) Potássio



(b) Cálcio



(c) Magnésio

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Figura 12a ilustra a variabilidade espacial do atributo “porcentagem de argila”, o conjunto de dados mostra uma amplitude de valores de 14% a 42% (sendo o maior valor considerado outlier pela análise estatística descritiva), a interpretação abrangeu duas classes, sendo a Classe 3 (entre 21% e 40%) e a Classe 4 (igual ou inferior a 20%). Estas duas classes podem ser relacionadas a um baixo teor de argila no solo.

O mapa representado na Figura 12b expõe a variabilidade do atributo pH em água. O mapa de interpretação do atributo considerou três faixas importantes para as culturas agrícolas, 1 – o pH abaixo de 5,5; 2 – o pH entre 5,5 e 6,0; e 3 – o pH acima de 6,0. Grande parte da área está na faixa entre 5,5 e 6,0 que é ideal para o desenvolvimento da videira.

A variabilidade do teor de matéria orgânica no solo (Figura 12c representada no mapa) é um pouco maior nas regiões próximas à mata nativa, entretanto, a amplitude de MO da área entre 0,8% e 3,6% (valor outlier, em um único ponto) se enquadra totalmente na classificação “baixo”.

Os mapas de variabilidade e interpretação de fósforo se mostraram bastante semelhantes. A variação do teor deste elemento foi de 0,9 mg/dm<sup>3</sup> a 42 mg/dm<sup>3</sup> (valor outlier), foram representadas quatro classes (muito baixo, baixo, médio e alto) deste nutriente.

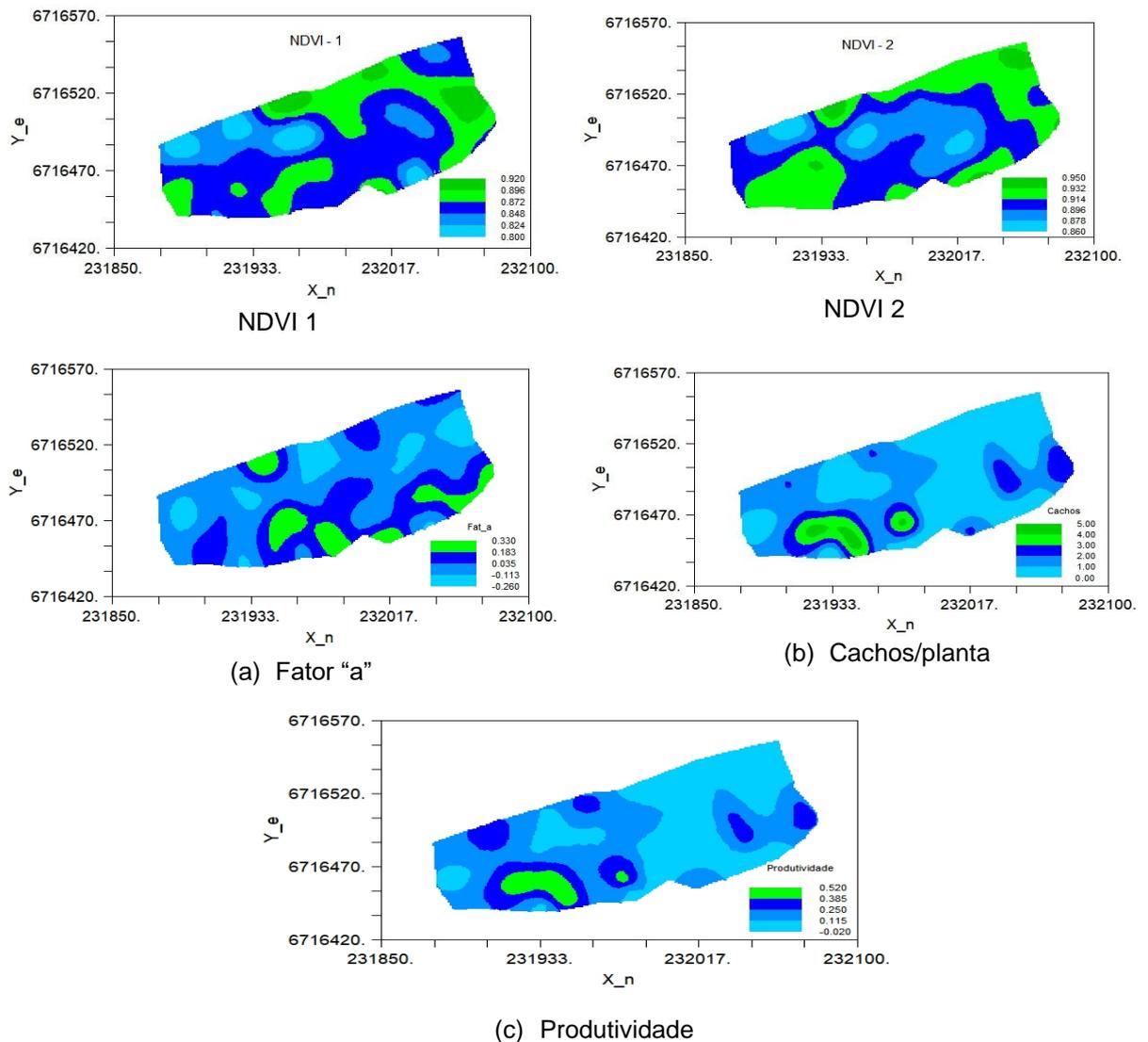
A variabilidade do Potássio apresentou um mapa com valores variando de 157 mg/dm<sup>3</sup> a 292 mg/dm<sup>3</sup> estes valores foram divididos em duas classes alta e muito alta, foi possível observar uma área do mapa onde o atributo está mais concentrado.

As imagens representativas dos atributos Ca e Mg foram bastante semelhantes e os mapas de interpretação destes dois nutrientes apresentaram a classificação

“alto”. Sendo que para cálcio a classificação alta é considerada quando os valores estão acima de  $4,0 \text{ cmol/dm}^3$  (a variabilidade dos dados foi de  $4,8$  a  $15,7 \text{ cmol/dm}^3$ ) e para magnésio a classificação alta compreende valores acima de  $1,0 \text{ cmol/dm}^3$ . Os valores excepcionalmente altos dos dois atributos podem ser explicados pela prática da calagem.

A variabilidade espacial observada é praticamente irrelevante ao se levar em conta a classificação da Sociedade Brasileira de Ciências do Solo (2016), que categoriza a amplitude dos teores de nutrientes encontrados em poucas classes (apenas P foi categorizado em 4 classes).

Figura 13 – Mapas de variabilidade espacial e mapas de interpretação – parte 3: (a) NDVI 1; (b) NDVI 2; (c) Fator “a”; (d) Cachos/planta; (e) Produtividade



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A Figura 13 representa os mapas de variabilidade espacial dos parâmetros fitotécnicos estudados. Os mapas de NDVI 1 e NDVI 2 apresentam semelhança em alguns pontos, isso se justifica dada a alta correlação pelo teste de Pearson.

O mapa do fator de velocidade de crescimento revelou áreas bem distintas onde ocorreu queda na velocidade de crescimento vegetativo no setor de menor altitude e aumento na velocidade de crescimento na zona mais alta.

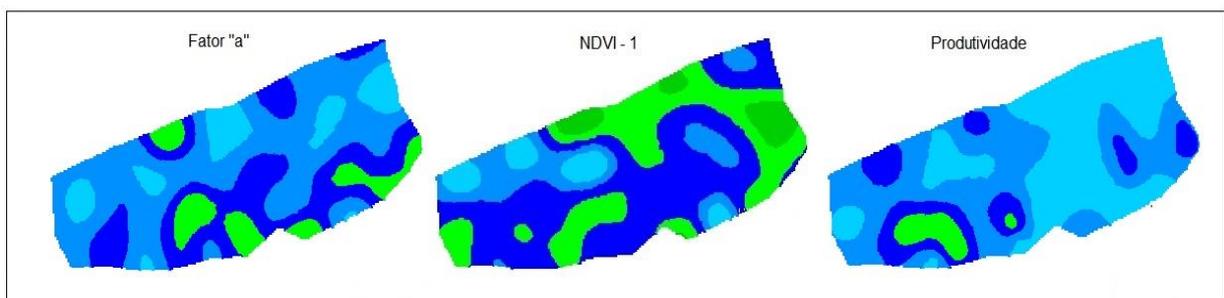
A variabilidade do parâmetro “número de cachos por planta” apresentou uma correlação quase perfeita com o mapa da produtividade, visto que a produtividade é diretamente proporcional ao número de cachos por planta.

#### 4.5 CORRELAÇÃO VIGOR X NDVI X PRODUTIVIDADE

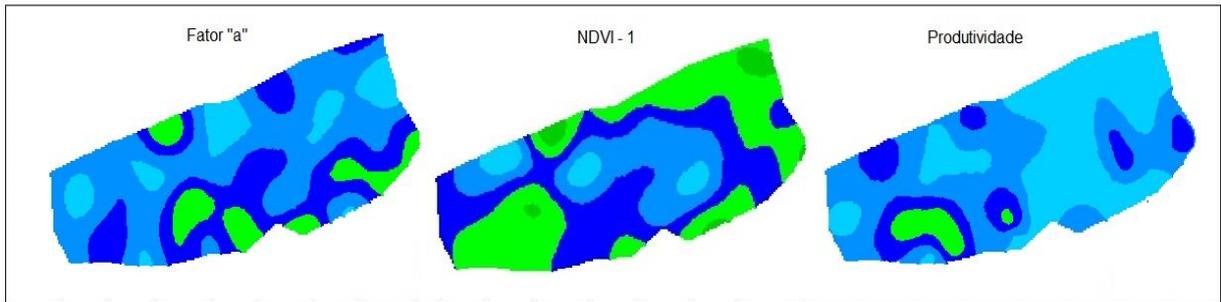
Um dos objetivos deste trabalho foi analisar a correlação entre vigor, NDVI e produtividade. Como observado na Figura 14, o fator “a” aparenta ter uma relação inversamente proporcional ao NDVI 1 em alguns setores e uma relação positiva com a área de maior produtividade. O NDVI 1 também apresenta relação à produtividade somente em uma pequena área onde o valor da produtividade é máximo, entretanto na área onde o NDVI 1 apresenta maior valor a produtividade apresenta o menor.

Esta relação inversamente proporcional pode ser vinculada ao fato do NDVI expressar as áreas de maior vigor vegetal, representando as zonas com maior volume de folhas (em detrimento ao número de gemas produtivas). Portanto o vigor serve como um indicativo, mas está havendo a proliferação de gemas erradas para a produção, o NDVI pode ser utilizado como uma ferramenta para o manejo da adubação nitrogenada, entretanto a técnica necessita de mais estudos e repetições para ser refinada.

Figura 14 – Comparação visual dos mapas “Fator a” x NDVI x Produtividade



(a) Fator “a” x NDVI 1 x Produtividade



(b) Fator "a" x NDVI 2 x Produtividade

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O Fator "a" é um índice que representa um intervalo de 82 dias, sendo que a última medida de crescimento dos ramos foi realizada apenas 3 dias após a leitura do NDVI 2, porém a análise visual dos mapas não apresenta relação entre a área de maior vigor vegetativo obtida pelo NDVI 2 e o fator de velocidade de crescimento. Também as áreas com o maior nível de vigor vegetativo do NDVI 2 não guardam relação com a produtividade.

Além da comparação visual, foi realizado a comparação pelo teste de Kappa através do software Qgis, foram comparados NDVI1 x Fator a, NDVI1 x produtividade, NDVI2 x fator a, NDVI2 x produtividade e produtividade x fator "a". Todos estes testes retornaram valores entre 0 e 0.2 o que corresponde a um nível ruim de concordância entre os mapas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação aos objetivos específicos, foi possível concluir que:

a) A variabilidade espacial da produtividade estimada não guardou relação com a variabilidade química espacial do solo, nem com a variabilidade de NDVI e vigor, o que foi confirmado pela análise dos mapas e pelos testes de Kappa e de Pearson entre as variáveis do solo e a produtividade estimada;

b) A variabilidade espacial da produtividade estimada foi diagnosticada, identificada e georreferenciada; e

c) As ferramentas e metodologias de AP utilizadas neste trabalho produziram dados úteis ao gerenciamento e manejo da atividade, sendo uma base para a tomada de decisão do produtor.

## REFERÊNCIAS

- AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n.4, p. 831-843, 2009.
- AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. A. S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1101-1110, 2007.
- ANDRIOTTI, J. L. S. Notas de geoestatística. **Acta Geologica**, Leopodensia, v. 24, n. 55, p. 3-14, 2002.
- ARAÚJO, J. C.; VETTORAZZI, C. A.; MOLIN, J. P. Estimativa da produtividade e determinação de zonas de manejo, em culturas de grãos, por meio de videografia aérea multispectral. **Acta Sci. Agron.**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 437-447, 2004.
- ARKUN, S.; HONEY, F.; JOHNSON, L.; LAMB, D.; LIEFF, W.; MORGAN, G. (2000). Airborne remote sensing of the vine canopy. **The Australian Wine Research Institute**, 2000.
- ARNÓ, J.; MARTINEZ-CASAS-NOVAS, J. A.; RIBES-DASI, M.; ROSELL, J. R. Review. Precision viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site specific vineyard management. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 4, p. 779-790, 2009.
- ATHERTON J.; OLASCOAGA, B.; ALONSO, L.; PORCAR-CASTELL, A. Spatial Variation of Leaf Optical Properties in a Boreal Forest Is Influenced by Species and Light Environment. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017.
- BAESSO, M. M.; PINTO, F.A. C; QUEIROZ, D. M.; VIEIRA, L. B.; ALVES, E. A.; SENA JÚNIOR, D. G. Determinação do "status" nutricional de nitrogênio no feijoeiro utilizando imagens digitais coloridas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 520-528, 2007.
- BASSOI, L. H. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. de M.; RESENDE, Á. V. de.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. de C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos, SP: EMBRAPA Instrumentação, 2011.
- BASSOI, L. H.; MIELE, A.; JUNIOR, C. R.; GEBLER, L.; FLORES, C. A.; ALBA, J. M. F.; GREGO, C. R.; TERRA, V. S. S.; TIMM, L. C.; NASCIMENTO, P. S. Agricultura de precisão na fruticultura. **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos, SP: EMBRAPA Instrumentação, 2014.
- BEST, S.; LEÓN, L. **Elementos de Vitivinicultura de Precisión**. Chillán: Centro Regional de Investigación Quilamapu, 2006.

BIASOTO, A. C. T.; NETTO, F. M.; MARQUES, E. J. N.; DA SILVA, M. A. A. P. Acceptability and preference drivers of red wines produced from *Vitis labrusca* and hybrid grapes. **Food Research International**, v. 62, p. 456- 466, 2014.

BLACKMORE, B. S. **Developing the principles of precision farming**. Agrotech 99. Barretos, Brazil, Barretos Insitute of Technology, 1999.

BLOM, P. E., TANARA, J. M. Trellis tension monitoring improves yield estimation in vineyards. **HortScience**, v. 44, n. 3, p. 678-685, 2009.

BONILLA, I.; TODA, F. M.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A. Vine vigor, yield and grape quality assessment by airborne remote sensing over three years: Analysis of unexpected relationships in cv. Tempranillo. **Spanish Journal of Agricultural Research**. v. 13, 2015.

BRAGA, R. **Viticultura de Precisão**. Lisboa: Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola, 2009.

BRAMLEY, R. G. V.; HAMILTON, R. P. Hitting the zone—making viticulture more precise. In: **Proceedings of the 12th Australian Wine Industry Technical Conference**. Eds. RJ Blair, PJ Williams and IS Pretorius (AWITC: Adelaide), p. 57-61, 2005.

BRAMLEY, R.; LAMB, D.; PROFFITT, T.; WINTER, E. **Precision Viticulture: a new era in vineyard management and wine production**. Austrália: Winetitles Pty Ltd, 2006.

BRAMLEY, R. G. V.; LAMB, D. W. Making sense of vineyard variability in Australia. In: ORTEGA, R.; ESSER, A. **Precision Viticulture**. Proceedings of an internacional symposium held as part of the IX Congreso Latinoamericano de Viticultura e Enologia, Chile. Centro de Agricultura de Precisión (CAPUC), Pontificia Universidad Católica de Chile, 2003.

BRAMLEY, R. G. V.; HAMILTON, R. P. Understanding variability in winegrape production systems. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 10, p. 32-45, 2004.

BRAMLEY, R. G. V. **Measuring within vineyard variability in yield and quality attributes**: Vineyard monitoring and management beyond. Wagga, 2000.

BRAMLEY, R. G. V.; LAMB, D. W. **Making sense of vineyard variability in Austrália**. Occasional report nº14. Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston Nort, 2001.

BRAMLEY, R. G. V.; PROFFITT, A. P. B. Managing variability in viticultural production. **The Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker**, n. 427, p. 11-16, 1999.

BRAMLEY, R. G. V.; HAMILTON, R. P. Terroir and precision viticulture: are they compatible? **OENO One**, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2007.

BRIGHENTI, A. F.; RUFATO, L.; KRETZSCHMAR, A. A.; MADEIRA, F. C. Desponte dos ramos da videira e seu efeito na qualidade dos frutos de 'Merlot' sobre os porta enxertos 'Paulsen 1103' e 'Couderc 3309'1. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 1, 2010. Disponível em: doi:10.1590/S0100 29452010005000038. Acesso em: 16 fev. 2023.

BRUNETTO, G.; CERETTA, C. A.; KAMINSKI, J.; MELO, G. W. B. de; LOURENZI, C. R.; FURLANETTO, V.; MORAES, A. Aplicação de nitrogênio em videiras na Campanha Gaúcha: Produtividade e características químicas do mosto da uva. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, p. 389-393, 2007.

CAMARGO, U. A.; MAIA, J. D. G. Cultivares de uvas rústicas para regiões tropicais e subtropicais. Uvas rústicas de mesa: cultivo e processamento em regiões tropicais. **Agroceres**, Piracicaba, p. 63, 2008.

CAMARGO, U.; MANDELLI, F.; CONCEIÇÃO, M. A. F.; TONIETTO, J. Grapevine performance and production strategies in tropical climates. **As J Food Agro-Ind.**, v. 5, n. 4, p. 257–269, 2012.

CAMARGO, U. A.; TONIETTO, J.; HOFFMANN, A. Progressos na Viticultura Brasileira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. suppl, p. 144-149, 2011. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/914285>. Acesso em: 16 fev. 2023.

CAON, D.; GENÚ, A. M. Mapeamento de atributos químicos em diferentes densidades amostrais e influência na adubação e calagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, 2013. Disponível em: doi:10.1590/S1415 43662013000600009. Acesso em: 16 fev. 2023.

CARBONNEAU, A.; RIOU, C.; GUYON, D. ; RIOM, J.; SCHNEIDER, C. **Agrometeorologie de la vigne em France**. Luxembourg: Office des Publication Officielles des Communautés Européennes, 1992. 165p

CARLA, A.; KOHN, R. A. G.; KOHN, E.; MACIEL, S. M.; SOARES, T. Influência da declividade do terreno no vigor de *vitis vinífera petit verdot* produzidas na região da campanha. **Revista Congrega URCAMP**, v. 9, 2016.

CARNIERI, I. M. R. S. A.; MONT SERRAT, B.; LIMA, M. R. Análise de solo ou planta que os laboratórios podem fazer para o produtor rural. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Projeto de Extensão Universitária Solo Planta, 2002. (Folder).

CARUSO, G.; TOZZINI, L.; RALLO, G.; PRIMICERIO, J.; MORIONDO, M.; PALAI, G.; GUCCI, R. Estimating biophysical and geometrical parameters of grapevine canopies ('Sangiovese') by an unmanned aerial vehicle (UAV) and VIS-NIR cameras. **Vitis**, v. 56, n. 2, p. 63-70, 2017.

CASALI, C. A.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S; BRUNETTO, G.; CORCINI, A. L. M.; KAMINSKI, J. Copper forms and desorption in soils under grapevine in the Serra Gaúcha of Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 1479-1487, 2008.

CASS, A. Viticultura de precisión: Introducción y objetivos Viticultura de Precisión. In: **Viticultura de precisión**. Madrid: Fundación para la Cultura del Vino, 2013.

Disponível em: [http://culturadelvino.org/fcv/wp-content/uploads/pdf/encuentros/encuentro\\_2013.pdf](http://culturadelvino.org/fcv/wp-content/uploads/pdf/encuentros/encuentro_2013.pdf). Acesso em: 10 dez. 2023.

CHUVIECO, E. **Teledetección ambiental**: La observación de la tierra desde el espacio. Barcelona: Ariel, 2010.

CLARK, R. N. Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy. In: **Remote Sensing for Earth Sciences** (A.N. Rencz & R. A. Ryerson, eds), Manual of Remote Sensing, v. 3, p. 3-58. New York: John Wiley & Sons, 1999.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC. **Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**.

Sociedade Brasileira de Ciência do solo> Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2016. 376p

COOK, S.; BRAMLEY, R. G. V. Precision agriculture: opportunities, benefits and pitfalls. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 38, p. 753-763, 1998.

COOK, S. E.; BRAMBLEY, R. G. V. **Is agronomy being left behind by precision agriculture?** In: Australian Agronomy Conference, 2001.

COSTA, P.; ABREU, I.; PINTO, P.; CASTRO, R. Estimativa Precoce da Produção de Vinho pelo Método Aeropolinico. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, v. 14, n. 2, p. 45-54, 1999.

COSTA, B. R. S.; OLDONI, H.; ROCHA JUNIOR, R.; BASSOI, L. H. Delimitation of homogeneous zones in vineyards using geostatistics and multivariate analysis of different vegetation indices. **Engenharia Agrícola**, v. 39, p.13–22, 2019.

DA SILVA, A. C.; RODRIGUES, E. A. G. A viticultura nas microrregiões do Rio Grande do Sul e sua distribuição locacional. **Orbis Latina**, v. 8, n. 1, p. 05-20, 2018.

DARRA, N.; PSOMIADIS, E.; KASIMATI, A.; ANASTASIOU, A.; ANASTASIOU, E.; FOUNTAS, S. Remote and proximal sensing-derived spectral indices and biophysical variables for spatial variation determination in vineyards. **Agronomy**, v. 11, n. 4, 2021.

DE MELLO, L. M. R.; MACHADO, C. A. E. **Cadastro Vitícola do Rio Grande do Sul**: 2013 a 2015. Embrapa Uva e Vinho – Livro Científico (ALICE), 2017.

DIAGO, M. P.; CORREA, C.; MILLÁN, B.; BARREIRO, P.; VALERO, C.; TARDAGUILA, J. Grapevine yield and leaf area estimation using supervised classification methodology on RGB images taken under field conditions. **Sensors**, v. 12, n. 12, p.16988-17006, 2012.

DIAGO, M. P.; SANZ-GARCIA, A.; MILLÁN, B.; BLASCO, J.; TARDAGUILA, J. Assessment of flower number per inflorescence in grapevine by image analysis under field conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 10, p.1981-1987, 2014.

DIAGO, M. P.; TARDAGUILA, J.; ALEIXOS, N.; MILLÁN, B.; PRATS-MONTALBAN, J. M.; CUBERO, S.; BLASCO, J. Assessment of cluster yield components by image analysis. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 6, p. 1274-1282, 2015.

DRISSI, R.; GOUTOULY, J. P.; FORGET, D.; GAUDILLERE, J. P. Nondestructive measurement of grapevine leaf area by ground Normalized Difference Vegetation Index. **Agronomy Journal**, v. 101, p. 226–231, 2009.

DUNN, G. M. **Yield forecasting**. Fact Sheet. Australia: University of Melbourne, Grape and Wine Research and Development Corporation, 2010.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Agricultura de Precisão**. Brasília, DF: Embrapa Instrumentação – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2014.

ERTHAL, G. M. S.; RUSSINI, A.; SEBEM, E.; ERTHAL, E. S.; GALAFASSI, C. Diagnóstico da adoção da viticultura de precisão no vale dos vinhedos – Rio Grande do Sul. **Revista Tecno-lógica**, v. 22, n. 2, 2018.

FÉRET, J. B.; LE MAIRE, G.; JAY, S.; BERVEILLER, D.; BENDOULA, R.; HMIMINA, G.; CHERAIETF, A.; OLIVEIRA, J. C.; PONZONI, F. J.; SOLANKI, T.; DE BOISSIEUA, F.; CHAVEK, J.; NOUVELLON, Y.; LEFÈVRE-FONOLLOSA, PORCAR-CASTELLJ, A.; PROISYM, C.; SOUDANIF, K.; GASTELLU-ETCHEGORRY, J. P.; LEFÈVRE-FONOLLOSA, M. J. Estimating leaf mass per area and equivalent water thickness based on leaf optical properties: Potential and limitations of physical modeling and machine learning. **Remote Sensing of Environment**, v. 231, 2019.

FERREIRA, M. C. **Iniciação a análise geoespacial: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento**. 1ª ed. São Paulo: UNESP, 2014. 344p.

FERRER, M.; ECHEVERRÍA, G.; PEREYRA, G.; GONZALEZ-NEVES, G.; PAN, D.; MIRÁS-AVALOS, M. Mapping vineyard vigor using airborne remote sensing: relations with yield, berry composition and sanitary status under humid climate conditions. **Precision Agriculture**, v. 21, p.178–197, 2020.

FILIPPINI ALBA, J. M.; MIELE, A.; FLORES, C. A.; PAVAN, C.; FOCESATO, M. L.; LEVIEN, H.; ZARNOTT, D. H. Variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos de solo e planta na UP Uva para Vinho, Bento Gonçalves, RS. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. de M.; RESENDE, Á. V. de.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. de C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011.

FILIPPINI ALBA, J. M.; AMARAL, M. T.; GEBLER, L. **Potencial da agricultura de precisão para aprimorar a produção de maçã no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017.

Florenzano, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.

FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2000. 105p.

GEBLER, L.; BUENO, M. B. Por que a fruticultura de precisão deve seguir princípios distintos dos utilizados na agricultura de precisão de grãos? In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 44., 2015, São Pedro: CONBEA, 2015. 4 p.

GEBLER, L., MAGRO, R. B., ROSSI, A., SPERANZA, E. A., SANTOS, M. S. Geração de zonas de manejo em pomares de macieiras com base em ndvi e produtividade: uma análise exploratória. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão**, Campinas, 2022.

GIOVANNINI, E. **Produção de uvas para vinho, suco e mesa**. Porto Alegre: Renascença, 1999. 364p.

GIOVANNINI, E. **Manual de viticultura, eixo produção alimentícia e recursos naturais**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

GIROTTI, E. **Alterações fisiológicas e bioquímicas em plantas cultivadas em solos com acúmulo de cobre e zinco**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Nobel, 1985. 466 p.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; da MATA, J. D. V. Análises exploratórias e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p.1149-57, 2001.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: UFU, 2004. 77 p.

HALL, A.; LAMB, D. W.; HOLZAPFEL, B.; LOUIS, J. Optical remote sensing applications in viticulture-a review. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 8, n. 1, p. 36-47, 2002.

HALL, A.; LOUIS, J. P.; LAMB, D. W. A method for vineyard attribute mapping from high resolution multispectral images. **Computers & GeoSciences**, v. 29, n. 7, p. 813–822, 2003.

HALL, A.; LOUIS, J.; LAMB, D. W. Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images. **Computers & Geosciences**, v. 29, n. 7, p. 813–822, 2003.

HALL, A.; LOUIS, J. P.; LAMB, D. W. Low-resolution remotely sensed images of winegrape vineyards map spatial variability in planimetric canopy area instead of leaf area index. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 14, p. 9–17, 2008.

HIDALGO, L. **Tratado de Viticultura General**. Barcelona: MundiPrensa, 2002. 1235p.

HOLBEN, B. N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p. 1417-1434, 1986.

HONDA, B.; JORGE, L. A. C. Computação Aplicada à Agricultura de Precisão. **Rev. Científica Eletrônica UNISEB**, Ribeirão Preto, v.1, n.1, p.111-132, 2013.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <https://sidra.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em: 15 jan. 2020.

INAMASU, R. Y.; NAIME, J. de M.; RESENDE, Á. V. de.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. de C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011.

INAMASU, R. Y.; BERNARDINI, A. C. C. Agricultura de Precisão: Resultados de um novo olhar. [S. l.]: Embrapa, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/269634196>. Acesso em: 16 fev. 2023.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2011. 598p.

JOHNSON, L. F.; ROCZEN D. E.; YOUKHANA S. K.; NEMANI R. R.; BOSCH, D.F. Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. **Computer and Electronics in Agriculture**, v. 38, p. 33-44, 2003.

JUNGES, A. H.; FONTANA, D. C.; LAMPUGNANI, C. S. Relationship between the normalized difference vegetation index and leaf area in vineyards. **Bragantia**, v. 78, n. 2, p. 297-305, 2019.

KATTENBORN, T.; FASSNACHT, F. E.; SCHMIDTLEIN, S. Differentiating plant functional types using reflectance: which traits make the difference? **Remote Sensing in Ecology and Conservation**, v. 5, n. 1, p. 5-19, 2019.

KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; MYERS, D. B.; DRUMMOND, S. T.; HONG, S. Y. Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. **Computer and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1-3, p. 285-308, 2005.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LAGO-VANZELA, E. S.; REBELLO, L. P. G.; RAMOS, A. M., STRINGUETA, P. C.; Da SILVA, R.; GARCÍA-ROMERO, E., HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Chromatic characteristics and color-related phenolic composition of Brazilian young red wines made from the hybrid grape cultivar BRS Violeta (“BRS Rúbea”×“IAC 1398-21”). **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 33-43, 2013.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: UNESP, 1998. 226 p.

LAMB, D. **Vineyard Monitoring and Management Beyond 2000**: Precision Viticulture: a Workshop Investigating the Latest Technologies for Monitoring and Managing Variability in Vineyard Productivity. Cooperative Research Centre for Viticulture, 2000.

LAMB, D. W.; WEEDON, M. M.; BRAMLEY, R. G. V. Using remote sensing to predict phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: Timing observations against vine phenology and optimising image resolution. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 10, p. 46-54, 2004.

LARA, L. M.; GEBLER, L.; LEITE JÚNIOR, M. J.; SOARES, A. L. Precision agriculture trends in fruit growing from 2016 to 2020. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, n. 2, 2021.

LIBARDI, P. L.; MANFRON, P.A.; MORAES, S. O.; TUON, R. L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 1-12, 1996.

LIU, S.; MARDEN, S.; WHITTY, M. Towards automated yield estimation in viticulture. In: **Proceedings of the Australasian Conference on Robotics and Automation**, Sydney, Australia, 2013.

LOPES, A. J. O. **Previsão quantitativa de vindimas**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa, 2009.

LOPES, C. M; GRAÇA, J.; SASTRE, J.; REYES, M.; GUZMÁN, R.; BRAGA, R.; MONTEIRO, A.; PINTO, P. A. Vineyard yield estimation by vinbot robot - preliminary results with the white variety ‘Viosinho’. In: **Proceedings 11th Int. Terroir Congress**. JONES, G.; DORAN, N.(eds.), p. 458-463. Southern Oregon University, Ashland, USA, 2016.

LORENZ, D. H.; EICHORN, K. W.; BLEHOLDER, H.; KLOSE, R.; MEIER, U.; WEBER, E. Phenological growth stages of grapevine (*Vitis vinifera* L.): Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.1, p. 100-103, 1995.

MACMILLAN, I.; FISHER, K. Yield estimation – can we do it better? The Tinlins McLaren Vale Shiraz experience. **The Australian & New Zealand Grape grower & Winemaker**, v. 500, p. 26-28, 2005.

- MAGALHÃES, P. F. M. M. **Mecanização da poda e da vindima**: efeitos no rendimento e qualidade na casta “Loureiro”. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2019. 86f
- MARTINEZ-CASASNOVAS J. A.; AGELET-FERNANDEZ J.; ARNO J.; RAMOS M. C. Analysis of vineyard differential management zones and relation to vine development, grape maturity and quality. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 2, p. 326-337, 2012.
- MEDEIROS, F. A.; ALONÇO, A. S.; BALESTRA, M. R. G.; DIAS, V. O.; LANDERHAL JÚNIOR, M. L. Utilização de um veículo aéreo não-tripulado em atividades de imageamento georeferenciado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 8, p. 2375-2378, 2008.
- MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, Á. L.; DALLA ROSA, J.; GATIBONI, L. C. Relação cálcio: magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008.
- MELLO, L. M. R. Panorama da produção de uvas e vinhos no Brasil. **Campo & Negócios Hortifruti**, Uberlândia, v. 12, n. 142, p. 54-56, 2017.
- MELLO, L. M. R.; MACHADO, C. A. E. **Cadastro vitícola do Rio Grande do Sul: 2013 a 2015**. Brasília: Embrapa, 2017. 85 p. Disponível em: <http://www.cnpuv.embrapa.br/cadastro-viticola/rs-2013-2015/dados/obracompleta.html> Acesso em: 20 maio 2020.
- MELLO, L. M. R.; MACHADO, C. E. **Vitivinicultura brasileira: panorama 2019**. Embrapa Uva e Vinho, Comunicado Técnico 214, 2020. Disponível em <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1124189>. Acesso em: 16 fev. 2023.
- MENESES, P. R.; FERREIRA JR., L. G. Comportamento espectral de minerais e rochas. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UnB, 2001. 262 p.
- MIELE, A.; FLORES, C. A.; FILIPPINI ALBA, J. M. Status atual da pesquisa de viticultura de precisão no Rio Grande do Sul: primeiros resultados da UP Uva para Vinho. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. de M.; RESENDE, Á. V. de.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. de C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 267-272
- MILANESI, J. H. **Adubação da cultura da soja baseada nos teores mínimos de fósforo e potássio no solo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão), Universidade Federal de Santa Maria, 2015. 73f
- MILTON, E. J.; SCHAEPMAN, M. E.; ANDERSON, A.; KNEUBÜHLER, M.; FOX, N. Progress in field spectroscopy. **Remote Sensing Environment**, 2007. Disponível em: doi:10.1016/j.rse.2007.08.001. Acesso em: 16 fev. 2023.

MIRANDA, L. N. de. **Amostragem de solo para análise química**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1982.

MOLIN, J. P. **Agricultura de Precisão Boletim Técnico 03**: Números do mercado Brasileiro. ESALQ, 2017.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. 1. Ed. São Paulo: oficina de textos, 2015.

MONTERO F. J.; MELIÁ J.; BRASA, A.; SEGARRA, D.; CUESTA, A.; LANJERI, S. Assessment of vine development according to available water resources by using remote sensing in La Mancha, Spain. **Agric Water Manage**, v. 40, p. 363-375, 1999.

MOORE, D. S. **The Basic Practice os Statistics**. New York, Freeman, 2007.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3 Ed. UFV, 2005.

NATALE, N.; ROZANE, D. E. **Análise de solo, folhas e adubação de frutíferas – Registro UNESP campo experimental de registro**, Universidade federal do Paraná, Brasil, 2018.

NUSKE, S.; ACHAR, S.; BATES, T.; NARASIMHAN, S.; SINGH, S. Yield estimation in vineyards by visual grape detection. In: **Intelligent Robots and Systems (IROS)**, 2011 IEEE/RSJ International Conference on (pp. 2352-2358), 2011.

ORGANIZATION INTERNATIONALE DE LA VIGNE ET DU VIN – OIV. **State of the Vitiviniculture World Market**, April, 2017. Disponível em: <https://www.oiv.int/public/medias/5287/oiv-noteconjmars2017-en.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2023.

ORGANIZATIION INTERNATIONALE DE LA VIGNE ET DU VIN – OIV. **Activity Report**, 2021. Disponível em: <https://www.oiv.int/public/medias/8767/acitvityreporteng.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2023.

ORTEGA, R.; ESSER, A. **Viticultura de Precisión**: Fundamentos, aplicaciones y oportunidades en Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2002.

PERROCA, M. G.; GAIDZINSKI, R. R. Avaliando a confiabilidade interavaliadores de um instrumento para classificação de pacientes - coeficiente Kappa. **Rev. Esc. Enferm. USP**, v. 37, n. 1, p. 72-80, 2003.

PETINARI, R. A.; TERESO, M. J.; BERGAMASCO, S. M. P. P. A importância da fruticultura para os agricultores familiares da região de Jales-SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 2, p. 356-360, 2008.  
PERMANHANI, M.; MIGUEL COSTA, J. M.; CONCEIÇÃO, M. A. F.; DE SOUZA, R. T.; VASCONCELLOS, M. A. S.; CHAVES, M. M. Deficit irrigation in table grape: eco-physiological basis and potential use to save water and improve quality. **Theor. Exp. Plant Physiol**, v. 28, n. 1, p. 85-108, 2016.

PERUZZO, S. N.; MARCHI, V. V.; SANTOS, H. P. dos; FIALHO, F. B.; SOUZA, D. A. Necessidade de horas de frio para superação da endodormência em cultivares *Vitis labrusca* L. In: **SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA**, 4., 2014, Bento Gonçalves, RS. Anais [...] Bento Gonçalves: IFRS, 2014. 5p.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Adv. Agronomy**, v. 67, p.1-85, 1999.

POMMER, V. **Tecnologia de produção, pós-colheita, mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003.

PONI, S.; GATTI, M.; PALLIOTTI, A.; DAI, Z.; DUCHÊNE, E.; TRUONG, T.T.; FERRARA, G.; MATARRESE, A. M. S.; GALLOTA, A.; BELLINCONTRO, A.; MENCARELLI, F.; TOMBESI, S. Grapevine quality: A multiple choice issue. **Scientia Horticulturae**, v. 234, p. 445-462, 2018. Disponível em: doi:10.1016/j.scienta.2017.12.035. Acesso em: 16 fev. 2023.

PONI, S.; TOMBESI, S.; PALLIOTTI, A.; UGHINI, V.; GATTI, M. Mechanical winter pruning of grapevine: Physiological bases and applications. **Scientia Horticulturae**, v. 204, p. 88-98, 2016.

PROFFITT, T.; PEARSE, B. Adding value to the wine business precisely: using precision viticulture technology in Margaret River. **The Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker**, v. 491, p. 40-44, 2004.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 Ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285p

RESENDE, A. V. 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**, Piauí, 2010.

RIBEIRO, P. J. R.; DIGGLE, P. J. A package for geostatistical analysis. **GeoR**, 2006. Disponível em: <http://www.leg.ufpr.br/geor/geoRdoc/geoRintro.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2023.

RISSINI, A. L. D. **NDVI, crescimento e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio**. 2011. 53 f. 2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2011.

ROBERTSON, G. P. **GS+**: Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide. Plainwell: Gamma Design Software, 2000. 152p.

RODRIGUES, R. **O que é vinicultura e viticultura?** [On-line], s. d. Disponível em: <https://www.cpt.com.br/cursos-treinamentoprofissional/artigos/o-que-e-vinicultura-e-viticultura>. Acesso em: 16 fev. 2023.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 5ª ed. Uberlândia: Editora UFU, 2003.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F. F. S.; GIOIA, M. T. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, p. 283-293, 2009.

ROUSE J. W.; HASS R. H.; SCHELL J. A.; DEERING D. W.; HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation**. NASA/GSFC type 111 Final Report, Greenbelt, MD, 1974.

SÁ. M. A. C.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; RESENDE, A. V.; VILELA, M. F.; SHIRATSUCHI, L. S. Variabilidade espacial da massa seca da parte aérea de soja relacionada com atributos do solo no Cerrado. In: **SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE CERRADO**, 9., 2008, Brasília, DF, Anais [...]. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 1 CD-ROM.

SANTOS, A. O.; WAMPLE, R. L.; SACHIDHANANTHAM, S.; KAYE, O. Grape Quality Mapping for Vineyard Differential Harvesting. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 55, n. 2, p.193-204, 2012.

SANTOS, M. D. S.; GEBLER, L.; SEBEM, E. Correlation between vegetation indexes generated at *Vitis Vinifera* L. and soil, plant and production parameters for emergency application in decision making. **Ciência Rural**, v. 52, 2021.

SEBEM, E. **Distribuição Espacial de Famílias Botânicas em Parcela de Floresta Ombrófila Mista e Suas Relações com *Araucariaceae* na Flona de São Francisco de Paula, Rs**. Monografia (Especialização em Estatística e Modelagem, Quantitativa), Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, UFSM, RS, 2017.106f.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA. **Portaria FEPAN nº 85/2014**. Dispõe sobre o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQ) dos solos para 09 (nove) elementos químicos naturalmente presentes nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas do Estado do Rio Grande do Sul. [On-line], 2014. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/legislacao/arq/Portaria085-2014.pdf>. Acesso em: 05 de jan. 2023.

SENA JÚNIOR, D. G.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T.; KHOURY JÚNIOR, J. K. Discriminação entre estágios nutricionais na cultura do trigo com técnicas de visão artificial e medidor portátil de clorofila. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 187-195, 2008.

SERENO, P. M. V. M. *Viticultura de precisão: Utilização da detecção remota no estudo da variabilidade espacial do vigor, produção e qualidade, castas "SYRAH" E "TOURIGA FRANCA"*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, Master thesis, 2009.

SERRANO, L.; GONZÁLEZ-FLOR, C.; GORCHS, G. Assessment of grape yield and composition using the reflectance based Water Index in Mediterranean rainfed vineyards. **Remote Sensing of Environment**. V. 118, p. 249-258, 2012.

SCHLINDWEIN, J. A.; SALET, L. R. & ANGHINONI, I. Variabilidade dos índices de fertilidade do solo no sistema plantio direto e coleta de amostras representativas de solo. In: **REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO**, Caxambú, 1998. Resumos. Caxambú, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998.

SCHUELLER, J. K. A review and integrating analysis of spatially-variable crop control of crop production. **Fert. Res.**, Amsterdam, v. 33, p. 1-34, 1992.

SILVA, D. A. Metodologia de aferição espectral para espectrorradiômetro. In: **Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Salvador, Brasil, 14-19 abril, INPE, p. 957-964, 1996.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: Conceitos e fundamentos**. Ed. Unicamp, Campinas, 2003, 236p.

SILVA, F. C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p

SKIKHAMANY, S. D. Physiology and cultural practices to produce seedless grapes in tropical environments. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE VITICULTURA E ENOLOGIA**, 9., 1999. Bento Gonçalves. Anais [...] Bento Gonçalves: Embrapa – CNPUV, p. 43-48, 1999.

SPERANZA, E. A.; GREGO, C. R.; GEBLER, L. **Metodologia para sugestão de grades amostrais mínimas para monitoramento da variabilidade espacial de videiras**. Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2021. PDF (33 p.): il. color. - (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Agricultura Digital, 2764-2633; 50).

SMART, R. E. Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield quality. A review. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 36, n. 1, p. 230-239, 1985.

SMITH, F. Precision Viticulture. **Australian Grapegrower and Winemaker**, v. 468, p. 31-33, 2003.

STEFFEN, C. A., MORAES, E. C., GAMA, F. F. Tutorial radiometria óptica espectral. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 8., 1996. Salvador. Anais [...]. Salvador: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.  
STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008.

SULEIMAN, K. **Análise química de solos é fundamental para produção sustentável.** [On-line]: Agência de Notícias Embrapa, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1463957/analise-quimica-de-solos-e-fundamental-para-producao-sustentavel#>. Acesso em: 16 fev. 2023.

TECCHIO, M. A.; TERRA, M. M.; MAIA, J. D. G. Nutrição, calagem e adubação da videira Niágara. In: MAIA, J. D. G.; CAMARGO, U. A. (Ed.). **O cultivo da videira Niágara no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa, 2012.

TISSEYRE, B.; TAYLOR, J. An overview of methodologies and technologies for implementing precision agriculture in viticulture. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE VITICULTURA E ENOLOGIA**, 12, 2008. Bento Gonçalves. Anais [...] Bento Gonçalves: EMRAPA, CNPUV, p. 45. 2008.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, n.1, p. 45-94, 1985.

TRIBONI, H. R.; BARBOSA, J. C. Estimativa do número de frutos por amostragem de parte da copa em laranjeiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 454-458, 2004.

VASCONCELOS, M.C.; CASTAGNOLI, S. Leaf canopy structure and vine performance. *American Journal of Enology and Viticulture*, Davis, v. 51, n. 4, p. 390-396, 2000.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial.** Campinas: IAC, 1998.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.

VILELA, M. F.; RESENDE, A. V.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S. Fotografia aérea no monitoramento e diagnóstico de uma área cultivada com milho. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO 2006**, São Pedro. Anais [...]. Piracicaba: Esalq, 2006. 1 CD-ROM.

WAMPLE, R. L.; MILLS, L.; DAVENPORT, J. R. Use of precision farming practices in grape production. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE**, 4., 1998, Saint Paul, Estados Unidos. Minneapolis: University of Minnesota, 1999. p. 897-905.

WINKLER, A. J. Effects of overcropping. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 5, p. 4-14, 1954.

WINKLER, A. J. The relation of leaf area and climate to vine performance and grape quality. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 5, p. 4-12, 1958.

WINKLER, A. J. **Viticultura.** México: Continental, 1965. 792p

WÜRZ, D. A.; MARCON FILHO, J. L.; BRIGHENTI, A. F.; ALLEBRANDT, R.; DE BEM, B. P.; MAGRO, M.; RUFATO, L.; KRETZSCHMAR, A. A. Effect of shoot topping intensity on 'Cabernet Franc' grapevine maturity in high altitude region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2017. Disponível em: doi:10.1590/S0100204X2017001000015. Acesso em: 16 fev. 2023.

XUE, L.; YANG, L. Deriving leaf chlorophyll content of green-leafy vegetables from hyperspectral reflectance. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, 2008. Disponível em: doi:10:1016/j.isprsjprs.2008.06.002. Acesso em: 16 fev. 2023.

YUSTE, D. J. Factores de desequilibrio de la vid: alternativas para el manejo eficaz del potencial vegetativo hacia el equilibrio del viñedo. In: **CONTROL DEL VIGOR Y DEL RENDIMIENTO EN EL MARCO DE UNA VITICULTURA DE CALIDAD**, 1., 2005, La Rioja. Anais. LaRioja: APROVI, 2005.

ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. 2001. Tese (Doutorado em Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001. 114f.