

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

Regiane Aparecida Ferreira

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL E ZONAS DE
PRODUTIVIDADE EM VINHEDOS DE CABERNET SAUVIGNON E
SHIRAZ, NO VALE CENTRAL GAÚCHO**

Santa Maria, RS
2023

Regiane Aparecida Ferreira

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL E ZONAS DE
PRODUTIVIDADE EM VINHEDOS DE CABERNET SAUVIGNON E
SHIRAZ, NO VALE CENTRAL GAÚCHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Agricultura de Precisão nível Mestrado Profissionalizante 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. Luiz Felipe Diaz de Carvalho

Santa Maria, RS
2023

Ferreira, Regiane Aparecida

ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL E ZONAS DE
PRODUTIVIDADE EM VINHEDOS DE CABERNET SAUVIGNON E

SHIRAZ, NO VALE CENTRAL GAÚCHO / Regiane Aparecida
Ferreira.- 2023.

104 p.; 30 cm

Orientador: Luiz Felipe Diaz Carvalho

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em
Agricultura de Precisão, RS, 2023

1. Viticultura de Precisão 2. Agricultura de Precisão

3. índices de vegetação I. Carvalho, Luiz Felipe Diaz II.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM.
Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da
Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central.
Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

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

Regiane Aparecida Ferreira

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL E ZONAS DE
PRODUTIVIDADE EM VINHEDOS DE CABERNET SAUVIGNON E
SHIRAZ, NO VALE CENTRAL GAÚCHO**

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

Aprovado em 10 de março de 2023:

Luiz Felipe Diaz de Carvalho, Dr. (UFSM)
(Presidente/orientador)

Aline de Oliveira Fogaça, Dra. (Vinícola Velho Amâncio)

Liane de Souza Weber , Dra. (UFSM)

Santa Maria, RS
2023

DEDICATÓRIA

Dedico este título a Deus, que nunca me abandonou nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho ocorreu pelo ajuda, paciência de várias pessoas. Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão desta dissertação e, de maneira especial, agradeço:

A Deus, que me deu forças para concluir este projeto de forma satisfatória.

A Universidade Federal de Santa Maria, ao Colégio Politécnico da UFSM e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão curso de Mestrado Profissional, pela oportunidade de qualificação.

A Vinícola Velho Amâncio.

Ao meu orientador, Professor Dr. Luiz Felipe Diaz de Carvalho.

Ao meu amado pai Carlito Ferreira (in memorian), que sempre acreditou em mim.

Ao meu esposo Lúcio de Paula Amaral pela paciência.

Ao Projeto Aquarius UFSM pela disponibilidade de equipamentos.

Aos professores e funcionários do curso por contribuírem de uma forma ou de outra na conquista desse título.

RESUMO

ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL E ZONAS DE PRODUTIVIDADE EM VINHEDOS DE CABERNET SAUVIGNON E SHIRAZ, NO VALE CENTRAL GAÚCHO

AUTOR: Regiane Aparecida Ferreira

ORIENTADOR: Luiz Felipe Diaz de Carvalho

Um projeto piloto de implantação de viticultura de precisão foi iniciado na Vinícola Velho Amâncio. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial da vegetação (videiras), com uso de geotecnologias aplicadas à agricultura de precisão, e propor uma sugestão de zonas de produtividade /ambientes. Um vinhedo de 1,3 ha foi utilizado, localizado em Itaara, RS, Brasil, cultivado com videiras finas (*Vitis vinifera* L.) cv. Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS), conduzidas em espaldeiras, com 21 anos de implantação. Em 2020 foi realizado voo com aeronave remotamente pilotada (ARP) para obtenção de ortomosaico do vinhedo e definição de seus limites no sistema de informação geográfica (SIG) Arc Map. As coletas de dados ocorreram nos anos de 2021/22, com um grid de 50 pontos amostrais (PA), com até 3 plantas, utilizados para contagens de videiras (produtivas, improdutivas, falhas/mortas) e cachos de uvas. Foram usados sensores RGB e multiespectral na ARP (Phantom 4 e RedEdge-Mx), e também espectrorradiômetro (*FieldSpec Hand Held 2 VNIR ASD*), para a geração de índices de vegetação (IV) (NDVI, NDRE, MPRI, NDWI, PSRI e RED/GREEN). O teor relativo de clorofila foi determinado com clorofilômetro (Minolta SPAD-502). A produtividade foi obtida pela multiplicação do número de cachos pelo peso médio da vindima 2023 (SH – 87,51g; CS – 44,11g). Os dados foram analisados por estatística descritiva, análise de comparação de postos teste Mann-Whitney ($p=0,05$), correlação de Spearman ($p=0,05$) e análise agrupamentos hierárquico – Cluster. Com o Cluster foi possível agrupar as áreas de influência dos PA, obtidas por polígonos de Voronói em SIG, para gerar a proposta inicial de zonas de produtividade. Os resultados mostraram haver forte heterogeneidade e alta variabilidade nos dados, tendo altas taxas de plantas improdutivas, falhas/mortas, baixa produtividade, verificada no número de cachos de uva e massa fresca (kg), seja por plantas ou por pontos amostrais, com diminuição do ano de 2021 para 2022. MPRI e RED/GREEN foram os IV que apresentaram correlações moderadas com a produtividade acumulada (2021/22), 0,67 e -0,66 ($p<0,05$). Foram obtidas três zonas de produtividade para o vinhedo, sendo 1 – baixa produtividade (grupo 1: 0,4166 ha; 0,170 kg PA⁻¹), média produtividade (0,1723 ha; 0,740 kg PA⁻¹), alta produtividade (0,6239 ha; 1,29 kg PA⁻¹). Contudo, os dados sugerem declínio das videiras e intervenções serão necessárias para obter maior produtividade, algo que deverá ser analisado pelos gestores da vinícola, assim como o zoneamento proposto. Os objetivos foram atendidos, ao descrever a variabilidade espacial das videiras e gerar proposta de zonas de produtividade para fases futuras do projeto.

Palavras-chave: Índices de Vegetação. Aeronave Remotamente Pilotada. Viticultura de Precisão

ABSTRACT

ANALYSIS OF SPATIAL VARIABILITY AND ZONES OF PRODUCTIVITY IN CABERNET SAUVIGNON AND SHIRAZ VINEYARDS, IN THE GAÚCHO CENTRAL VALLEY

AUTHOR: Regiane Aparecida Ferreira

ADVISOR: Luiz Felipe Diaz de Carvalho

A pilot project for implementing precision viticulture was started at Vinicola Velho Amâncio. The objective of this work was to characterize the spatial variability of vegetation (vines), using geotechnologies applied to precision agriculture, and propose a suggestion of productivity zones/environments. A vineyard of 1.3 ha was used, located in Itaara, RS, Brazil, cultivated with fine vines (*Vitis vinifera* L.) cv. Shiraz (SH) and Cabernet Sauvignon (CS), conducted in espaliers, with 21 years of implantation. In 2020, a flight was carried out with a remotely piloted aircraft (ARP) to obtain an orthomosaic of the vineyard and define its limits in the geographic information system (GIS) Arc Map. Data collection took place in the years 2021/22, with a grid of 50 sampling points (SP), with up to 3 plants, used for counting vines (productive, unproductive, failures/dead) and bunches of grapes. RGB and multispectral sensors were used in the ARP (Phantom 4 and RedEdge-Mx), and also a spectroradiometer (FieldSpec Hand Held 2 VNIR ASD), for the generation of vegetation indices (VI) (NDVI, NDRE, MPRI, NDWI, PSRI and RED/GREEN). The relative chlorophyll content was determined with a chlorophyll meter (Minolta SPAD-502). Productivity was obtained by multiplying the number of bunches by the average weight of the 2023 harvest (SH – 87.51g; CS – 44.11g). Data were analyzed using descriptive statistics, rank comparison analysis, Mann-Whitney test ($p=0.05$), Spearman correlation ($p=0.05$) and hierarchical cluster analysis – Cluster. With the Cluster it was possible to group the areas of influence of the PAs, obtained by Voronói polygons in GIS, to generate the initial proposal of productivity zones. The results showed that there was strong heterogeneity and high variability in the data, with high rates of unproductive, failed/dead plants, low productivity, verified in the number of grape bunches and fresh mass (kg), either per plant or per sampling point, with a decrease from the year 2021 to 2022. MPRI and RED/GREEN were the IV that presented moderate correlations with the accumulated productivity (2021/22), 0.67 and -0.66 ($p<0.05$). Three productivity zones were obtained for the vineyard, 1 – low productivity (group 1: 0.4166 ha; 0.170 kg PA⁻¹), average productivity (0.1723 ha; 0.740 kg PA⁻¹), high productivity (0.6239 ha; 1.29 kg PA⁻¹). However, the data suggest a decline in the vines and interventions will be necessary to obtain greater productivity, something that will have to be analyzed by the winery managers, as well as the proposed zoning. The objectives were met by describing the spatial variability of the vines and generating proposals for productivity zones for future phases of the project.

Palavras-chave: Vegetation Indexes. Remotely Piloted Aircraft. Precision Winemaking

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

APRESENTAÇÃO

Figura 1 - Exemplo de cachos de uvas das cultivares Cabernet Sauvignon (a) e Shiraz (b).	21
Figura 2 - Ciclo simplificado da Agricultura de Precisão.....	22
Figura 3 - Modelos de aeronaves remotamente pilotadas do tipo multirrotores (a) e do tipo asa fixa convencional e em delta (b).	26
Figura 4 - Curva de reflectância de uma planta saudável, segundo as diferentes regiões espectrais e sob influência dos componentes das folhas/partes das plantas	30
Figura 5 - Usos de sensores embarcados em aeronaves remotamente pilotadas em aplicações na agricultura e florestas.....	31
Figura 6 - Exemplos de sensores RGB intercambiáveis embarcados em ARP Canon G9x (a), Canon S110 (b) e sensor RGB FC6310 embarcado de fábrica na ARP Phantom 4 DJI (c).	31
Figura 7 - Exemplos de sensores multiespectrais intercambiáveis embarcados em ARP sequoia/Parrot (a), RedEdge-M com DSL e GPS (b), RedEdge-MX com DSL (c), Mapir Survey 3 (d), e sensor multiespectral fixo na ARP Phantom 4 Multispectral DJI (e).	32
Figura 8 - Uso do espectrorradiômetro portátil FieldSpec Hand Held 2 VNIR ASD para coleta de dados espectrais em videira na vinícola Velho Amâncio	34
Figura 9 - Variação do teor relativo de clorofila em folhas de videira senescentes (a; b) e folha verde madura fisiologicamente (c) obtida com o clorofilômetro Minolta SPAD-502	40
Figura 10 - Semivariograma experimental e teórico com seus parâmetros de ajuste (a) e modelos de semivariograma teórico mais comumente utilizados (b).....	42
Figura 11 - Área de implantação do projeto piloto de viticultura de precisão, com videiras finas (<i>Vitis vinifera</i> L.) Cabernet Sauvignon e Shiraz na Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil.....	48
Figura 12 - Aeronave remotamente pilotada Phantom 4 Plus – Advanced (A) ao lado do painel de calibração, visão das câmeras RGB e RedEdge-MX embarcadas no Phantom 4 (B), detalhes da câmera multiespectral RedEdge-MX - Micasense e do sensor de luminosidade DSL2 (C).	51

Figura 13 - Taxas de ocorrência de plantas produtivas, improdutivas, falhas/mortas de videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz e Cabernet Sauvignon, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – anos 2021 e 2022.58

Figura 14 - Taxas de Comparação das taxas de ocorrência de plantas produtivas em relação às plantas improdutivas, falhas/mortas em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz e Cabernet Sauvignon, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – ano 2022.....61

Figura 15 - Comparação do número de cachos por ponto amostral em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz e Cabernet Sauvignon, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – ano 2021/2022.....63

Figura 16 -Variabilidade dos índices de vegetação MPRI (a) e Red/Green (b) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos como o sensor RGB da ARP Phantom 4, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2020.....68

Figura 17 - Variabilidade dos Índices de vegetação NDVI (a), NDRE (b) e MPRI (c) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos como o sensor RedEdge-MX embarcado em ARP, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2021.....71

Figura 18 - Variabilidade dos índices de vegetação NDWI (a), PSRI (b) e Red/Green (c) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos como o sensor RedEdge-MX embarcado em ARP, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2021.72

Figura 19 - Variabilidade dos índices de vegetação MPRI (a) e Red/Green (b) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos como o sensor RGB da ARP Mavic Pro 1, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2022.73

Figura 20 - Variabilidade do teor relativo de clorofila (absoluto [a] e classificado [b]) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS), Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2021.....74

Figura 21 - Variabilidade da produtividade (absoluta [a] e classificada [b]) de videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos por krigagem ordinária pontual, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2021.....76

Figura 22 - Variabilidade da produtividade (absoluta [a] e classificada [b]) de videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos pela ponderação do inverso da distância ao quadrado, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2022.77

Figura 23 - Variabilidade da produtividade acumulada (2021/2022) para videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtido pela ponderação do inverso da distância ao quadrado, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2022.78

Figura 24 - Análise de Cluster para pontos amostrais com base em atributos de plantas, índices de vegetação e produtividade de videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) na Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – (2021/2022).85

Figura 25 - Agrupamentos dos pontos amostrais - clusters (a) e proposta de zonas de produtividade (b) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) na Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – (2021/2022).87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplos de índice de vegetação utilizados em sensoriamento remoto .37	
Tabela 2 – Estatística descritiva para atributos de plantas e produtividade de videiras (V. vinifera L.) Shiraz e Cabernet Sauvignon, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – anos 2021 e 2022.60	60
Tabela 3 – Correlação de Spearman para as ocorrências de plantas e produtividade de videiras (V. vinifera L.) Shiraz e Cabernet Sauvignon, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – anos 2021 e 2022.66	66
Tabela 4 –Estatística descritiva para os de índices de vegetação (15 nov.) em videiras (V. vinifera L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos como o sensor RedEdge-MX embarcado em ARP, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2021.....69	69
Tabela 5 – Correlação de Spearman índices de vegetação (15 nov. 2021) e produtividade de videiras (V. vinifera L.) Shiraz e Cabernet Sauvignon, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – anos 2021 e 2022.79	79
Tabela 6 – Estatística descritiva para os índices de vegetação (26 nov. 2022), obtidos com espectrorradiômetro, em videiras (V. vinifera L.) Shiraz e Cabernet Sauvignon, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – anos 2021 e 2022.....81	81
Tabela 7 – Correlação de Spearman entre índices de vegetação (26 nov. 2022), obtidos com espectrorradiômetro, e produtividade de videiras (V. vinifera L.) Shiraz e Cabernet Sauvignon, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – anos 2021 e 2022.82	82
Tabela 8 – Características das zonas de produtividade (clusters) em videiras (V. vinifera L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) na Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – (2021/2022).....86	86

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

AP	Agricultura de Precisão
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CS	Cabernet Sauvignon
Cfa	Clima Subtropical
Cm	Centímetros
C _o	Efeito Pepita
CV	Coeficiente de Variação
DSL	Sensor de Variação de Luminosidade
DO	Denominação de Origem
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
g	gramas
GCPs	Pontos de Controle Georreferenciados
GNSS	Sistema de Navegação Global por Satélites.
GPS	Sistema de Posicionamento Global
ha	Hectare
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	Inverso dos Quadrados das Distâncias
IV	Índice de vegetação
Kg	Quilogramas
m	Metros
m ²	Metro Quadrado
mm	Milímetros
MPRI	Índice de Reflectância Fotossintético Modificado
m/s	Metros por Segundo
NDRE	Índice de Vegetação da Borda do Vermelho
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NDWI	Índice de Diferença Normalizada por Água
NIR	Infravermelho Próximo
nm	Nanômetro
PA	Ponto Amostral
PMD	Peso Máximo de Decolagem

pH	Potencial Hidrogeniônico
PSRI	Índice de Reflectância de Senescência das Plantas
RC	Rádio Controle
R ²	Coefficiente de Determinação
REM	Radiação Eletromagnética do Sol
RS	Rio Grande do Sul
RGB	Sistemas de Cores Primárias Vermelho, Verde e Azul
S	Sul
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SH	Shiraz
SQR	Somas dos Quadrados dos Resíduos
SWIR	Infravermelho de Ondas Curtas
TCR	Teor Relativo de Clorofila
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
USB	Porta Serial Universal
UTM	Coordenada Universal Transversa de Mercator
VANT	Veículos Aéreos Não Tripulados
VCR	Vivai Cooperativi Rauscedo
Vis	Visível
VVA	Vinícola Velho Amâncio
VP	Viticultura de Precisão
WGS84	World Geodetic System (Sistema Geodésico Mundial)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 APRESENTAÇÃO	16
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo Geral	18
1.2.2 Objetivos Específicos	18
1.3 JUSTIFICATIVA.....	19
2. REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1. VIDEIRAS <i>Vitis vinifera</i> (L.) CULTIVARES <i>Cabernet Sauvignon</i> e <i>Shiraz</i>	20
2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO (AP)	21
2.3 VITICULTURA DE PRECISÃO (VP)	23
2.4 AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (ARP).....	25
2.4.1 Sensores RGB e Multiespectrais Embarcados em ARP	29
2.5 ESPECTRORRADIÔMETRO	33
2.6 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (IV)	35
2.7 MEDIDAS DO TEOR RELATIVO DE CLOROFILA COM CLOROFILÔMETRO .	38
2.8 GEOESTATÍSTICA E KRIGAGEM ORDINÁRIA PONTUAL	40
2.9 ZONAS DE PRODUTIVIDADE	46
3 MATERIAIS E MÉTODOS	48
3.1 PROJETO PILOTO DE VITICULTURA DE PRECISÃO.....	48
3.2 COLETA DE DADOS	49
3.3 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1 ATRIBUTOS E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE VIDEIRA.....	58
4.2 VARIABILIDADE ESPACIAL DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO, CLOROFILA E PRODUTIVIDADE DE VIDEIRA.....	67
5 CONCLUSÕES	90
REFERÊNCIAS	92

1. INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Os cultivos permanentes na fruticultura a exemplo da viticultura, apresentam variabilidade no tempo e no espaço, ou seja, não são uniformes, como respostas a diversos fatores que afetam, por exemplo, o desenvolvimento, crescimento, sanidade, vigor das plantas cultivadas e a produtividade, dentre outros atributos da vegetação. Esta característica impacta tanto os custos de implantação das culturas agrícolas, bem como a produção obtida no final de seu ciclo produtivo (BERNARDI et al., 2014; MOLIN et al., 2015).

As geotecnologias ou tecnologias da Agricultura de Precisão (GNSS, GIS, Mapeamento da Colheita, aplicação em taxa variada, dentre outras) são uma das vias mais eficientes para garantir uma gestão eficiente de recursos e tratar a variabilidade dos cultivos. As parcelas ou glebas de um vinhedo, mesmo quando plantadas com a mesma casta ou variedade em toda a sua área, não são homogêneas no espaço. Existe variabilidade espacial, que qualquer viticultor atento pode testemunhar. A origem dessa variabilidade é diversa como diversas são as variáveis que controlam o processo produtivo (BRAGA, 2009).

A fruticultura/viticultura brasileira apresenta grande potencial econômico, pois é praticada em várias regiões do país, levando em consideração as aptidões ambientais, econômicas e culturais de cada região. No ano de 2020 estimou-se uma produção de $\cong 1.416.398$ toneladas de uvas, em 74.826 ha cultivados com videiras (IBGE, 2020).

A Região Sul do Brasil destaca-se pelo cultivo e produção de frutas temperadas, com forte participação da Viticultura, tanto na produção de fruta in natura, como vinho, de mesa e finos. Somente no Estado do Rio Grande do Sul existem 122 municípios que apresentam áreas de cultivo de videiras, com uma produção estimadas de $\cong 800$ mil toneladas de uvas, em $\cong 46.774$ ha de área cultivada em 2021, que correspondem a 62,51 % da produção nacional de uva, tendo em 2020 uma produção de 522.241.625 litros de vinho e de outros derivados de uva (MELLO e MACHADO, 2021; ABE, 2022). Comparada à safra de 2021, em 2022 houve uma queda de 7% na produção geral de uvas, de 734.469.725,7 kg para

683.766.221,6 kg. Na safra 2022 de uma forma geral apresentou aumento de 11,6% no total de vinhos elaborados, quando comparada à safra 2021, num total de 242.610.406,71 litros (SISDEVIN/SD, 2022).

Neste contexto, a Vinícola Velho Amâncio apresenta-se como uma pequena casa vinícola, com vinhedos próprios, produções limitadas, exclusivas e administração familiar. Tem sua origem a mais de 100 anos, nos quais por duas gerações manteve uma destilaria para produção de cachaça, iniciando a produção de vinhos em 1986, explorando o terroir do Vale Central Gaúcho (VELHO AMÂNCIO, 2022).

Assim como já ocorre na Viticultura, a Vinícola Velho Amâncio também começou a experimentar tecnologias de AP/Geotecnologias para melhor conhecer a variabilidade espacial de atributos de solo e plantas em seus pomares, iniciando em 2020/2021 um projeto piloto de Viticultura de Precisão (VP), com uso de aeronaves remotamente pilotadas (ARP) com sensor multiespectral e espectrorradiômetro para geração de índices de vegetação (IV), determinação do teor relativo de clorofila nas plantas, coleta de solo georreferenciada para análise de fertilidade e geração de mapas, determinação de zonas de manejo/produktividade, sendo desenvolvidas duas dissertações (variabilidade espacial de atributos da vegetação/variabilidade espacial de atributos do solo), até o momento, em parceria com o Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão da UFSM – PPGAP/UFSM e EMBRAPA – Uva e Vinho/Estação Experimental de Fruticultura Temperada de Vacaria, RS.

No entanto, a Fruticultura de Precisão/VP possuem entraves, desafios e dificuldade a serem superadas para a sua implementação e adoção nos pomares do país. Muito deste cenário passa pela falta de máquinas e tecnologias desenvolvidas levando em conta as particularidades da fruticultura, tais como ciclo produtivo, formas de manejo, forma de condução e formato de plantas, dentre outros (ERTHAL et al., 2018). Este contexto torna extremamente importante a implantação de projetos pilotos ou cases exitosos de VP para estimular a adoção da AP no setor.

Na prática, a VP envolve sempre uma preponderante componente de gestão da variabilidade espacial. É essa componente que é verdadeiramente nova e diferenciada do que se vem fazendo na viticultura convencional (BRAGA, 2009). É válido destacar que a AP difere da convencional no modo de gerenciar a

propriedade, obtendo maior produtividade e não apenas com a inclusão de grandes tecnologias (BERNARDI et al., 2014).

Nesta dissertação o foco está na variabilidade espacial presente nas videiras (vegetação), para a qual foram empregadas algumas tecnologias de AP/VP/geotecnologias para sua determinação e obtenção de zonas distintas dentro de uma mesma gleba.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Implantar um projeto piloto de Viticultura de Precisão (VP) na vinícola Velho Amâncio, localizada no terroir do Vale Central Gaúcho, e aplicar tecnologias de VP para determinar a variabilidade espacial das videiras (vegetação), configurando a fase inicial do projeto, caracterizada por análise exploratória e geração de uma proposta inicial de zonas de manejo e/ou zonas de potencial produtividade.

1.2.2 Objetivos Específicos

a) Utilizar a tecnologia de sensoriamento remoto, com sensores RGB e multiespectral embarcados em aeronaves remotamente pilotadas (ARP), e a tecnologia dos sensores proximais espectrorradiômetro e clorofilômetro;

b) Gerar mapas de dados de atributos das videiras, índices de vegetação, mensurados em pontos específicos do vinhedo, e interpolados por geoestatística/krigagem ordinária pontual;

c) Gerar uma proposta de zonas de produtividade de uvas para vinificação, considerando a variabilidade espacial do vinhedo (vegetação), utilizando sistemas de informações geográficas com uso de várias camadas de informação.

1.3 JUSTIFICATIVA

Na vinícola Velho Amâncio, a produtividade dos seus vinhedos não são uniformes, ou seja, apresenta alta variabilidade, o que torna difícil o manejo de seus pomares e o entendimento das relações com os fatores que condicionam a produção.

As tecnologias de agricultura de precisão/ viticultura de precisão são adequadas para a coleta de dados, interpretação dos mesmos e geração de informação que servem de base para a gestão dos pomares.

Utilizar técnicas de análises que integrem diferentes dados, a exemplo de atributos da videira, sensoriamento remoto (suborbital e proximal) e dados de produtividade, são adequados para tratar a alta variabilidade e possibilitam conhecer melhor os potenciais produtivos em um vinhedo. Uma das principais ferramentas de apoio de tomadas de decisões são os mapas de variabilidade espacial da produtividade ou dos fatores que a condicionam. A vinícola Velho Amâncio ainda não faz uso destas ferramentas e da abordagem da viticultura de precisão, sendo esta a justificativa deste trabalho que iniciou com a implantação de um projeto piloto na vinícola.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. VIDEIRAS *Vitis vinifera* (L.) CULTIVARES *Cabernet Sauvignon* e *Shiraz*

O primeiro registro de espécie de videira data a mais de 300 mil anos, tendo a Groelândia como centro de origem paleontológico, sendo extinta neste local após a glaciação do planeta. A partir da Groelândia houve dispersão para três centros, Eurásia, Ásia e América, com o surgimento de novas espécies. Na região do Cáucaso surgiu há 300 mil anos a espécie *Vitis vinifera* L., sendo difundida para Ásia Menor, Oriente Médio e Costa do Mediterrâneo, posteriormente levada à Oceania e às Américas, e atualmente é a espécie mais cultivada no mundo (GIOVANNINI, 2014). A videira é uma planta com alta adaptabilidade a diferentes condições de solo e clima, o que possibilitou uma distribuição global (POMMER, 2003).

Um dos principais usos da *Vitis vinifera* L. é a produção de vinhos finos. Atualmente existem muitas cultivares de *Vitis vinifera*, com destaque para as cultivares *Cabernet Sauvignon* e *Shiraz* (Figura 1) (RIZZON e MIELE, 2002; POMMER, 2003; GIOVANNINI, 2014).

Estas cultivares são destinadas à elaboração de vinhos tintos jovens ou de guarda, bastante difundidas em diversas zonas vitivinícolas de todo o mundo. No Brasil, estas cultivares são utilizadas principalmente no Rio Grande do Sul e no Vale do Rio São Francisco (RIZZON e MIELE, 2002; POMMER, 2003; GIOVANNINI, 2014). A vinícola Velho Amâncio, localizada no Vale Central Gaúcho utiliza uvas das variedades *Cabernet Sauvignon* e *Shiraz*, dentre outras, para elaboração de vinhos finos (VELHO AMÂNCIO, 2022).

A cultivar Syrah ou ainda Shiraz produz uvas tintas, que envelhece até por meio século. Muito bem adaptada aos climas quentes, como o sul da França e com excelente adaptação em terras australianas, para onde foi levada em 1832, sendo disseminada por outras partes do mundo após 1970. Cresce bem em inúmeras áreas, produz vinhos complexos e distintos, escuros, alcoólicos e com aromas e sabores de especiarias (ALBERT, 2004).

Figura 1 - Exemplo de cachos de uvas das cultivares Cabernet Sauvignon (a) e Shiraz (b).



Fonte: Autor, 2023

2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO (AP)

A agricultura de Precisão (AP), segundo a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão, trata-se do uso de um conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, que busca obter aumento de retorno econômico e redução do impacto ao ambiente (BRASIL, 2014).

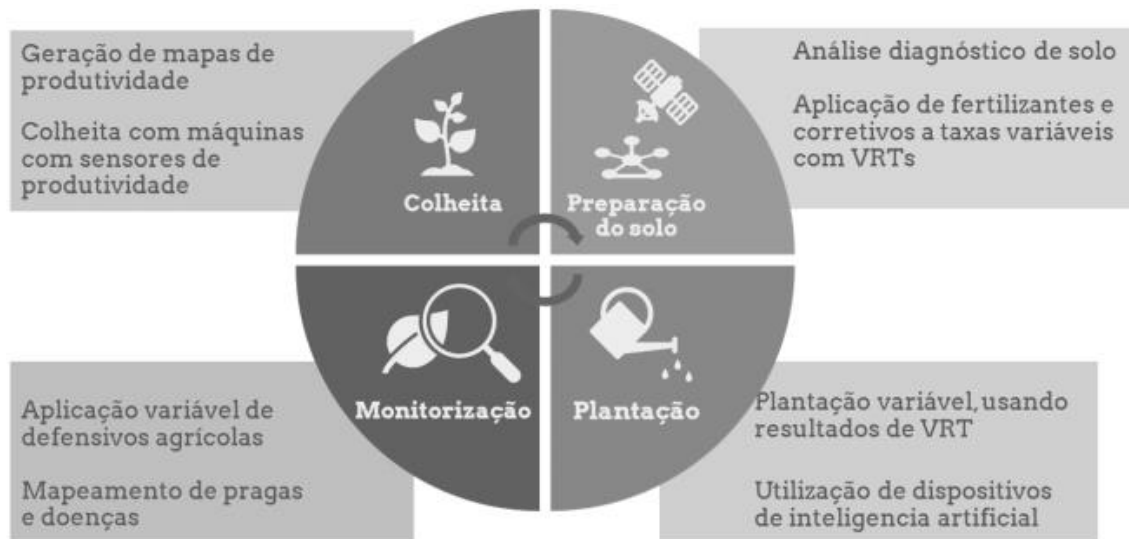
A AP pode ser considerada como uma postura gerencial que leva em conta a variabilidade espacial da lavoura para obter retorno econômico e ambiental (BERNARDI et al., 2014).

Para tanto, a AP utiliza uma série de tecnologias para coleta de dados ou realização de intervenções nas áreas de cultivos que levam em conta a variabilidade espacial e temporal que se apresentam segundo as mais variadas situações de campo, que de maneira simplificada (Figura 2) gera um ciclo de preparo de solo, implantação dos cultivos, monitoramento e manejo e colheita (KAGAMI et al., 2013).

A AP atua como ferramenta de gerenciamento e pode ser implantada em propriedades rurais de qualquer tamanho. Traz consigo resultados satisfatórios no que diz respeito à diminuição da expansão territorial e mitigação dos impactos

ambientais, por promover a redução nos custos da produção, a redução de impactos ambientais gerados na produção agrícola e a dilatação da produtividade e qualidade das culturas (MACHADO et al., 2018).

Figura 2 - Ciclo simplificado da Agricultura de Precisão



Fonte: Kagami et al. (2013)

A AP tem sido utilizada com sucesso em diversos países com agricultura desenvolvida como Estados Unidos, Argentina, Austrália, Alemanha e Inglaterra, dentre outros. No Brasil os primeiros trabalhos de pesquisa foram feitos no final da década de 90 no estado de São Paulo. No Rio Grande do Sul, no ano 2000 foi criado o Projeto Aquarius (www.ufsm.br/projetoaquarius), uma experiência pioneira de desenvolvimento em AP realizada na UFSM, com o propósito de adaptar e desenvolver tecnologias de agricultura de precisão brasileira. Neste período, os equipamentos disponíveis eram importados com elevado custo aos produtores brasileiros, o que implicava em saída de divisas do Brasil para os países desenvolvidos.

Já na Fruticultura de Precisão/viticultura de Precisão estes desafios ainda estão presentes, e geram uma grande demanda por tecnologias próprias para a realidade da fruticultura e suas características específicas, para que haja aumento de sua adoção pelos viticultores (ERTHAL, 2018; ERTHAL et al., 2018). A meticulosidade envolvida na produção de uva deve-se majoritariamente ao complexo

ciclo vegetativo da fruta que normalmente coincide com diferentes estações de ano e cujo processo de produção compreende fases planeadas e executadas de forma organizada. A estes desafios acrescenta-se a precisão necessária na mensuração e aplicação dos seus recursos, especificamente no nível de pH e salinidade do solo, na quantidade de açúcar de uva e ainda das condições climáticas que restringem a plantação, bem como nas questões de fitossanidade, tais ocorrência de pragas, doenças e deriva de herbicidas (Matese e Di Gennaro, 2015).

2.3 VITICULTURA DE PRECISÃO (VP)

Agricultura de Precisão é uma tecnologia relativamente nova no cultivo da videira, denominada como Viticultura de Precisão (VP), com destaque para os trabalhos pioneiros conduzidos nos Estados Unidos (WAMPLE et al., 1998) e na Austrália (BRAMLEY e PROFFITT, 1999; PROFFITT et al., 2006), com a geração dos primeiros mapas de produção de vinho. Posteriormente, a VP começou a ser adotada na Europa, em países como França, Espanha e Portugal, e na América do Sul (BRAGA, 2009; MIELE et al., 2014). Para Esser (2002) a VP está relacionada a países que apresentam alto desenvolvimento tecnológico, onde sua adoção e resultados tem trazido êxito à atividade.

A VP é uma tecnologia incipiente no Brasil, em termos de uso em escala comercial, são necessárias extensas pesquisas e testes, é preciso desenvolver *softwares*, sensores de campo e equipamentos de distribuição em taxa variável (VRT) voltada a viticultura (MOLIN et al., 2015), além de máquinas apropriadas às suas características. Neste sentido, destacam estudos de comportamento espectral dos solos e vegetação, definição de zonas de manejo e produtividade, uso de condutividade elétrica e o manejo diferenciado da irrigação, dentre outros (MOLIN et al., 2015).

O conceito de VP é análogo ao da AP, que busca identificar as variações dentro de um vinhedo com o objetivo de otimizar a qualidade e quantidade da produção a partir de técnicas tais como poda específica, sincronização de irrigação, aplicação de fertilizantes, colheita em pontos de maturação ou locais diferenciados, dentre outras (BRAGA, 2009; CASS, 2013; OLDONI, 2019). A viticultura tradicional e VP diferem na compreensão da variabilidade ambiental nos parreirais, mediante o

uso de técnicas específicas para determinação de zonas de cultivo homogêneas, com o objetivo de se alcançar em cada área, a quantidade e qualidade da uva conforme previamente definido.

Algumas das fontes de variação com maior impacto na produtividade e qualidade das uvas são a reserva de água facilmente utilizável do perfil do solo, o tipo de solo, a orientação do declive e os padrões de drenagem. Além da variabilidade da produtividade, também a qualidade das uvas varia no espaço dentro da mesma parcela/casta. Os principais esforços em viticultura de precisão recaem em duas áreas principais de atuação (BRAGA, 2009):

- O mapeamento da variabilidade espacial da qualidade das uvas de forma a possibilitar que as melhores uvas cheguem à adega em lotes separados;
- O mapeamento da variabilidade espacial da produtividade/vigor das parcelas de forma a permitir uma gestão espacial das fontes de variação, quando manejáveis.

A VP engloba um conjunto de técnicas que buscam caracterizar a variabilidade espacial do crescimento vegetativo da videira, da produção da uva e sua maturação, identificar os fatores que afetam esse processo, com o objetivo de aplicar um manejo adequado em cada zona ou parcela considerada (BOMBÍN, 2013). Ainda a VP maximiza o potencial agrônômico em termos de produtividade e qualidade, visa a sustentabilidade ambiental, aprimora as decisões de manejo de nutrientes, desenvolve um plano específico para cada zona no vinhedo, até mesmo para a videira, evita tratamentos desnecessários, possibilitando a redução de custos e aplicação de insumos nos lugares e momentos corretos. Isso pode ser feito com auxílio de várias tecnologias: Sensoriamento Remoto (satélite, ARP); monitoramento com sensores proximais; estações meteorológicas microclimáticas; sensores implantados a campo (BRAGA, 2009; MOLIN et al., 2015).

A adoção da VP ou incorporação de uma nova tecnologia à um conjunto já existente é lenta e depende de uma série de fatores e situações, que apresentam alta complexidade de interação entre fatores (MILLER et al., 2017; ERTAHAL, 2018). Bucci et al. (2019) concluíram que o nível de informatização de empresas agrícolas, dentro dos quais incluem a obtenção de dados, informações e sistemas de tomada de decisão para manejo dos vinhedos, está diretamente ligado às características

socioeconômicas dos agricultores, notadamente a idade e o nível de educação. A disponibilidade, facilidade de uso e utilidade da tecnologia de AP/VP afetam a sua adoção, assim como o nível educacional do agricultor (AUBERT; SCHROEDER e GRIMAUDO, 2011). Já para Castle, Lubben e Luck (2016) a idade do agricultor não influencia na adoção da VP e vinícolas que não utilizam irrigação tem menor propensão para sua adoção.

No Brasil existem algumas iniciativas de projeto de VP em alguns estados, tais como Rio Grande Sul (RS), São Paulo (SP) e Pernambuco (PE), dentre outros, não por acaso os maiores estados produtores de uva no país. No RS Miele et al. (2014) implantaram um projeto na vinícola Miolo, e utilizaram várias tecnologias de VP num vinhedo cv. *Merlot*, clone 347, no ciclo vegetativo 2010/2011, com objetivo de determinar unidades de produção de uva para vinho. Foram utilizados o georreferenciamento das videiras nas glebas, determinação dos perfis dos solos, análises de amostras de solos, NDVI, condutividade aparente do solo, teor de clorofila nas folhas, análise de minerais dos pecíolos, composição físico-química do mosto da uva, elaboração de vinho em pequena escala e vigor da planta.

Ainda na região de Denominação de Origem (DO) Vale dos Vinhedos, tradicional região vinícola na Serra Gaúcha, Erthal et al. (2018) evidenciaram baixa taxa de adoção da VP pelos viticultores daquela DO, com adoção por apenas 5% dos viticultores entrevistados. As tecnologias utilizadas foram o georreferenciamento das áreas, os mapas de qualidade e produtividade, a aplicação de fertilizantes a taxa variada, a análise georreferenciada do solo, a aplicação de defensivos a taxa variada, a colheita segmentada e o monitoramento georreferenciado de parâmetros de qualidade da uva.

2.4 AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (ARP)

As aeronaves remotamente pilotadas (ARP), também conhecidas por drones e Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANT), juntamente com seus sensores, são atualmente umas das tecnologias de maior destaque na Agricultura de Precisão. Dentre as aplicações das imagens geradas por sensores embarcados em ARP o uso dos IV tem grande destaque para geração de informações que auxiliem na tomada de decisão sobre manejo e tratamentos culturais, quando integrados a um sistema de

multicamadas de informações, a exemplo dos Sistemas de Informações Geográficas e/ou das atuais plataformas digitais, ambos com seus poderosos algoritmos de análise de dados e geração de informações (CASTRO JORGE e INAMASU, 2014; MOLIN et al., 2015; De CASTRO et al., 2021).

As ARP são plataformas de aeronaves não pilotadas, controladas remotamente, sendo leves e de baixo custo, operadas a partir do solo e que podem transportar cargas úteis como as câmeras para imageamento. São promissores para o monitoramento responsivo, oportuno e de baixo custo dos alvos de interesse em resoluções espaciais e temporais apropriadas às escalas de muitas variáveis relevantes para a agropecuária e ao meio ambiente. Tais equipamentos emergiram de um passado militar e, atualmente, há um número crescente de agências e organizações civis que reconheceram as possíveis aplicações das ARP (ANDRADE et al., 2019).

Apesar de existirem várias classificações para ARP, pela legislação brasileira são aeronaves remotamente pilotadas, operadas por controle manual ou de forma automática por meio de missões programadas, utilizadas para uso profissional, enquadradas em três categorias de peso máximo de decolagem (PMD), incluindo a carga útil transportada (por exemplo, sensores de imageamento), sendo classe 1 (PMD > 150 kg), Classe 2 (entre 25 e < 150 kg) e Classe 3 (< 25 kg) (ANAC, 2017). Quanto a sua forma de sustentação de voo, basicamente podem ser do multirrotor (4, 6, 8 ou mais, distribuídos em cruz, x ou y), asa fixa (convencional ou em delta) (Figura 3), vtol – vertical take off and landing (aeronave híbrida com características de multirrotor e asa fixa), dentre outras (CASTRO JORGE e INAMASU, 2014).

Figura 3 - Modelos de aeronaves remotamente pilotadas do tipo multirrotores (a) e do tipo asa fixa convencional e em delta (b).



Fonte: adaptado pelo autor

As ARP possuem estação de controle, são integradas com sistemas de estabilização, Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), baterias inteligentes, sensores de imageamento (instrumento para coleta de dados em área total) de tecnologias variadas, e com uso de programas de processamento tornam-se viável o mapeamento de extensas áreas de lavouras. Com estas tecnologias, se possibilita a geração de informações para a tomada de decisão, deste que se estabeleçam relações entre os índices de vegetação com componentes de rendimento, produtividade ou com os fatores que os influenciem (CASTRO JORGE e INAMASU, 2014; MOLIN et al., 2015; BREDEMEIER et al., 2016; De CASTRO et al.,2021).

Algumas das principais vantagens das ARP em relação aos sistemas de sensoriamento remoto tradicionais são as flexibilidades de uso em escala regional e local, assim como a alta resolução espacial e precisão dos dados obtidos (GUIMARÃES et al., 2020). Os benefícios relacionados às ARP são o baixo custo operacional, versatilidade dos sensores embarcados, alta resolução espacial, resolução temporal de acordo com o objetivo das tarefas de aplicação, e sua resolução espectral de acordo com a finalidade e com os sensores embarcados (TORRES-SÁNCHEZ et al., 2013; CASTRO JORGE e INAMASU, 2014; COLOMINA e MOLINA, 2014; AASEN et al. 2015; SAARINEN et al., 2017; De CASTRO et al.,2021).

O uso das ARP na agricultura e nas fazendas inteligentes (integração das aplicações digitais) tem sido muito eficaz devido ao fato destes possibilitarem que os produtores tenham visão panorâmica e próxima de seus campos e cultivos, com avaliações mais precisas das condições das lavouras. A aplicação de procedimentos inovadores a partir desta tecnologia tem avançado exponencialmente e revelado novos e importantes conhecimentos para a pesquisa agropecuária. Esta tecnologia vem sendo aplicada com foco no aumento da eficiência e da maximização dos lucros na propriedade rural. O uso de ARP na propriedade rural pode ser basicamente resumido em quatro segmentos: varredura de campo com sensores compactos multiespectrais de imageamento; criação de mapas georreferenciados; transporte de carga e aplicação de insumos; e monitoramento de gado (ANDRADE et al., 2019).

As ARP utilizadas nesta dissertação foram do tipo multirrotor, com quatro motores elétricos – quadricópteros. As ARP do tipo multirrotor são plataformas aéreas com sofisticada eletrônica embarcada, que permite transportar diferentes

sistemas de captura de imagens. Sua instrumentação aviônica e sistemas de controle permitem voos com alta estabilidade, necessitando de reduzido tempo de treinamento operacional. Seu tamanho compacto, facilidade de operação, segurança e custo operacional reduzido, tornam esta classe de ARP a mais interessante para operação em mercados que tem as seguintes necessidades (CASTRO JORGE e INAMASU, 2014):

- tempo curto de operação;
- pouca ou nenhuma equipe de apoio;
- pouca ou nenhuma infraestrutura de terra;
- facilidade de transporte;
- distância e áreas de cobertura de pequeno a médio tamanho (ou duração);
- voo assistido por GNSS ou totalmente autônomo seguindo dados pré-programados;
- necessidade de imagens com resolução superior às imagens de satélite;
- necessidade de acessar pontos difíceis.

Os multirrotores oferecem um conjunto de vantagens tecnológicas que otimizam sua performance, tais como (CASTRO JORGE e INAMASU, 2014):

- estabilização autônoma das atitudes em voo da plataforma obtido pelo acionamento direto de quatro ou mais hélices e sistema de controle embarcado;
- pouso e decolagem vertical (vtol) permitindo uso em espaço restrito, necessitando apenas 1m² de área;
- possibilidade de programação de voo estacionário ou avanço em alta velocidade até pontos pré-determinados (coordenadas geográficas), por computador;
- comando de retorno autônomo para a base operacional; Baixo peso da plataforma e alto potencial de carregamento (sensores e câmeras embarcados);
- possibilidade de uso de câmeras especiais, como infravermelho e de alta resolução de foto e vídeo;

- estação Base (em terra) com integração de dados de voo, captura de imagem e cartografia;
- alta capacidade de customização para diferentes aplicações.

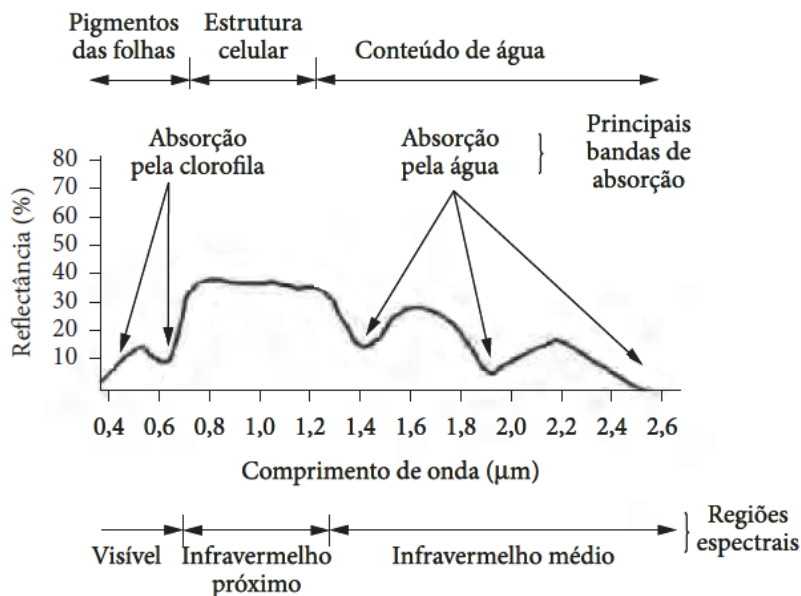
Apresenta ainda alta convergência de tecnologias como: TI, robótica, nanotecnologia, materiais compostos, miniaturização de sensores e poder de processamento embarcado. No entanto, em geral usa motores elétricos e cuja bateria não supera os 30 minutos de operação e a capacidade de carga (payload): 800 g a 4 Kg. Em geral possuem estabilização de atitude para câmeras e sensores (CASTRO JORGE e INAMASU, 2014).

2.4.1 Sensores RGB e Multiespectrais Embarcados em ARP

As ARP leves usadas para a pesquisa da dinâmica da vegetação tem a vantagem de que as plantas podem ser analisadas de forma individual no tempo e no espaço. Os tempos de revisitação podem ser otimizados para o ciclo fenológico das espécies/alvos e há possibilidade ou capacidade de transportar radiômetros de faixa estreita ou hiperespectrais em miniatura ou câmeras térmicas para capturar padrões em variáveis biofísicas (ANDERSON e GASTON, 2013). Também é possível gerar ortomosaico de imagens, modelo digital de superfície, modelo digital de terreno, modelo 3D e índices de vegetação com altíssima resolução espacial (2 cm de pixel) e temporal (diárias) (ANDRADE et al., 2019).

O uso de ARP na Agricultura de Precisão tem focado no uso de sensores baseados na espectroscopia de reflectância, que são medidas da reflexão da radiação eletromagnética (REM) após interação com diferentes superfícies em diferentes comprimentos de onda: Região do visível (Visible – VIS): 0,4 – 0,7 μm ; Infravermelho próximo (Near Infrared – NIR): 0,7 – 1,3 μm ; Infravermelho de ondas curtas (Short Wave Infrared – SWIR): 1,3 – 2,5 μm (Figura 4) (CASTRO JORGE e INAMASU, 2014; De CASTRO et al., 2021).

Figura 4 - Curva de reflectância de uma planta saudável, segundo as diferentes regiões espectrais e sob influência dos componentes das folhas/partes das plantas

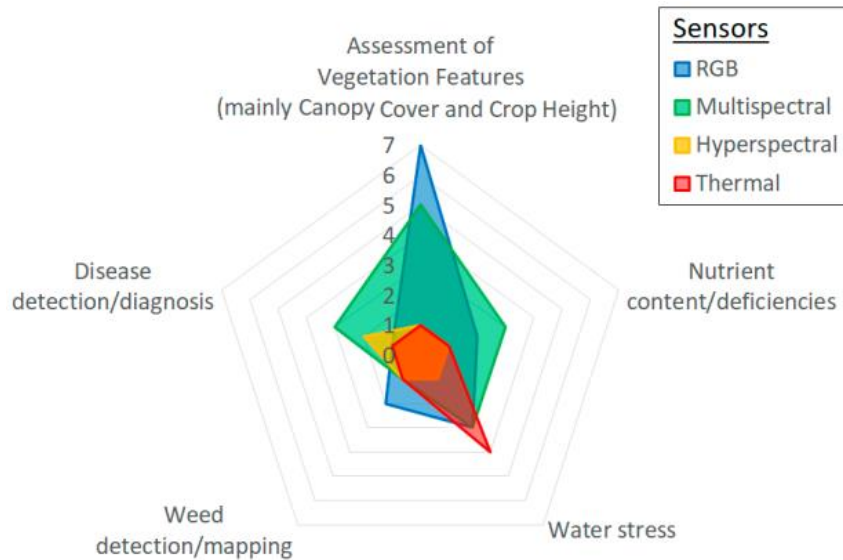


Fonte: Moreira, 2007.

Os sensores RGB e multiespectrais embarcados em ARP tem expressivo usos na agricultura e florestas (Figura 5) para monitoramento da vegetação e suas alterações, estado de plantas, detecção de estresse causados por ataque de pragas e doenças, ocorrência de deficiência nutricional, ocorrência de plantas daninhas, ocorrência de incêndios, problemas de manejo, qualidade de operações de mecanização, dentre outros (De CASTRO et al., 2021).

Sensores ou câmeras RGB operam na região espectral do visível ($VIS - 0,4$ a $0,7 \mu m$), são utilizadas para detecção falhas de plantio, desenvolvimento da cultura, formação da planta, modelo de elevação do terreno, e de maneira geral obtém dados acurados que são visíveis ao "olho do agricultor" sobre a lavoura, porém sem os detalhes proporcionados pelo mosaico de imagens em alta resolução espacial obtidos com o uso do sensor embarcado na ARP. Nos comprimentos de onda na região visível do espectro eletromagnético, a refletância (medida proporcional da radiação refletida por um objeto) da vegetação está relacionada com os pigmentos fotossintéticos como a clorofila a, clorofila b, xantofilas, antocianinas e carotenoides (CASTRO JORGE e INAMASU, 2014; De CASTRO et al., 2021).

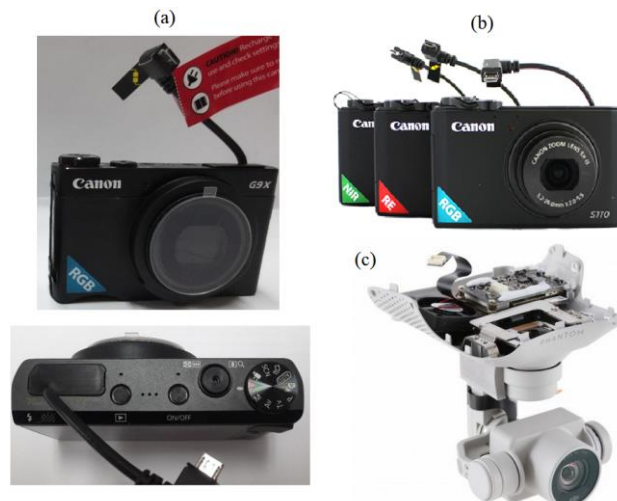
Figura 5 - Usos de sensores embarcados em aeronaves remotamente pilotadas em aplicações na agricultura e florestas.



Fonte: De Castro et al., (2021)

Existem vários modelos deste tipo de sensor disponíveis no mercado, e em vários casos as ARP já possuem o sensor vindo de fábrica, de forma fixa, ou com a possibilidade de embarque. Alguns modelos disponíveis são Sony RX100 MKIII; Canon S110; Sony A6000; Canon G9X, Mapir Survey 2, FC6310 (embarcado de fábrica no Phantom 4 DJI) (Figura 6), dentre outros.

Figura 6 - Exemplos de sensores RGB intercambiáveis embarcados em ARP *Canon G9x* (a), *Canon S110* (b) e sensor RGB FC6310 embarcado de fábrica na ARP Phantom 4 DJI (c).



Fonte: adaptado pelo autor

Já os sensores ou câmeras multiespectrais operam na região do infravermelho próximo (NIR – 0,7 a 1,3 μm), geralmente são câmeras alteradas de fábrica ou adaptadas, com a troca do filtro na região do azul, normalmente presente numa câmera no espectro visível (RGB), para a faixa do infravermelho, assim configura-se uma câmera com bandas NIR, vermelho, verde, e nos modelos mais atuais se mantém a banda do azul e/ou um canal que gera uma imagem em composição RGB. Com estas informações é possível criar índices de vegetação próprios para avaliar o dossel da vegetação/culturas (CASTRO JORGE e INAMASU, 2014; De CASTRO et al., 2021).

Existem vários modelos deste tipo de sensor disponíveis no mercado, há vários modelos para embarque intercambiável de sensores em ARP, sendo menores as opções de ARP que trazem de fábrica estes sensores, de forma fixa, e exemplo do *Phantom 4 Multispectral DJI*. Alguns modelos de câmeras multiespectrais disponíveis são *Sequoia/Parrot*, *RedEdge*, *RedEdge-M*, *RedEdge-Mx*, *Altum*, *Mapir Survey 3* (Figura 7), dentre outros.

Figura 7 - Exemplos de sensores multiespectrais intercambiáveis embarcados em ARP *sequoia/Parrot* (a), *RedEdge-M* com DSL e GPS (b), *RedEdge-MX* com DSL (c), *Mapir Survey 3* (d), e sensor multiespectral fixo na ARP Phantom 4 Multispectral DJI (e).



Fonte: adaptado pelo autor

Estes sensores são utilizados para a detecção de estresse nutricional, para determinação de índices indicadores fisiológicos, e estrutura da copa, conhecidos como índices de vegetação, dentre os quais o mais conhecido é o índice de vegetação por diferença normalizada – NDVI, obtido pelas relações das bandas espectrais do infravermelho próximo e vermelho. Nos comprimentos de onda do NIR, a refletância da vegetação é influenciada pela estrutura interna das folhas, em particular, o tamanho, a forma e a distribuição de ar e água no interior da folha (CASTRO JORGE e INAMASU, 2014; De CASTRO et al., 2021). Geralmente estes sensores possuem recursos de calibração radiométrica, a exemplo dos painéis de calibração e/ou dos sensores de variação de luminosidade – DSL, para corrigir a reflectância a partir das condições de incidência de energia eletromagnética sobre as plantas (alvos de interesse) no momento do voo/imageamento.

2.5 ESPECTRORRADIÔMETRO

Os espectrorradiômetros são equipamentos capazes de registrar, em arquivos de dados ou imagens, dados de reflectância de alvos de interesse, tais como solo, água, plantas ou outros alvos. Geralmente estes equipamentos são a campo, quando portáteis, e calibrados com placas de calibração para reflectância, que representa uma superfície lambertiana (100% de reflectância), capaz de refletir a energia incidente sobre a mesma (STEFFEN et al. 1996) e gerar a linha de base da energia total incidente sobre os alvos, referência para a determinação da reflectância no equipamento.

Os espectrorradiômetros são considerados sensores não imageadores, pois o produto da leitura dos diferentes comprimentos de onda eletromagnética não se constitui em uma imagem, mas sim em uma representação gráfica ou numérica. A sua característica de atuação em intervalos bem estreitos de comprimento de onda faz com que sua precisão seja considerada maior quando comparada aos demais tipos de sensores (CLARK, 1999).

A campo devem ser observadas certas condições de uso tais haver incidência direta da radiação eletromagnética do solo sobre os alvos de interesse, não haver cobertura de nuvens total ou parcial sobre o alvo, coletar dados em momento onde

haja menor inclinação solar em relação alvo, alto fluxo radiante, baixo efeito de vento (STEFFEN et al. 1996; LORD et al., 1988; SANTOS et al., 2022)

O espectrorradiômetro portátil FieldSpec Hand Held 2 VNIR ASD, com resolução espectral de 325 a 1075 nm e intervalo de 1 nm (Figura 8), foi utilizado para obter índices de vegetação em videiras da cultivar Bordô (Ives) no Noroeste do Rio Grande do Sul por Dal Agnol (2016), e nas cultivares Chardony, Merlot e Pinot Noir na Serra Gaúcha por Santos et al. (2022). O equipamento foi utilizado tanto no modo de sensor passivo, determinando a campo a reflectância das plantas a partir da interação com a radiação eletromagnética do sol (REM), quanto como sensor ativo, com uso do módulo prob, no qual o equipamento emite REM em amostras de folhas e determina a reflectância dentro de uma câmara fechada, utilizada para obter dados puros do alvo de interesse e sem contaminações por outros alvos.

Figura 8 - Uso do espectrorradiômetro portátil FieldSpec Hand Held 2 VNIR ASD para coleta de dados espectrais em videira na vinícola Velho Amâncio



Fonte: autor, 2023

Farinassi et al. (2022) utilizaram sensoriamento remoto proximal para o dossel de um vinhedo comercial da cultivar Shirah, com o sistema portátil Crop Circle integrado com o sensor ativo ACS-430, além do datalogger GeoSCOUT GLS-400.

Os autores obtiveram medidas de reflectância em duas posições em relação ao dossel e geraram os índices de vegetação NDVI e NDRE.

2.6 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (IV)

Segundo Moraes (2015) o fluxo de energia eletromagnética incidente sobre um objeto sofre interações com o material que o compõe e é total ou parcialmente refletido, absorvido e transmitido por ele. Essas capacidades que os objetos naturais têm de refletir, absorver e transmitir a energia eletromagnética são respectivamente denominadas por reflectância, absortância e transmitância, sendo que seus valores variam de 0 a 1. O Sensoriamento Remoto na agricultura, parte do princípio de que cada alvo tem uma característica única de reflexão e emissão de energia eletromagnética. O comportamento espectral de um objeto pode ser definido como sendo o conjunto dos valores sucessivos da reflectância do objeto ao longo do espectro eletromagnético, também conhecido como a assinatura espectral do objeto (MORAES, 2015; MOLIN et al., 2015).

Os índices de vegetação (IV) são medidas radiométricas adimensionais, geradas por meio de transformações matemáticas, que se valem das propriedades multiespectrais dos sensores remotos. Os IV têm buscado explorar as propriedades espectrais da vegetação (folhas e outros componentes fotossinteticamente ativos), principalmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Sua fundamentação reside no comportamento antagônico da reflectância da vegetação nas regiões mencionadas, com o qual pretendem indicar a abundância relativa e a atividade da cobertura vegetal (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010; JENSEN, 2011). Formaggio e Sanches (2017) definem os IV como formulações matemáticas desenvolvidas a partir de dados espectrais obtidos por sensores remotos, principalmente nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo, visando permitir avaliações e estimativas da cobertura vegetal de uma área, em termos de parâmetros como área foliar, fitomassa, percentagem de cobertura do solo e atividade fotossintética.

Um índice espectral de vegetação é a integração de duas ou mais bandas espectrais, segundo determinado procedimento, cuja finalidade é realçar

característica da vegetação como biomassa, vigor vegetativo, índice de área foliar, dentre outras características (MOREIRA, 2007). Essas formulações podem ser interpretadas como medidas semianalíticas da atividade da vegetação e têm sido largamente utilizadas em razão de conseguirem representar com fidedignidade as variações da folhagem verde, não somente em termos sazonais, mas também ao longo da superfície terrestre, com o objetivo de detectar variabilidades especializadas (FORMAGGIO e SANCHES, 2017). Essas análises da vegetação e detecção de mudanças são realizadas com o intuito de avaliar os recursos naturais e monitorar a cobertura vegetal. A detecção qualitativa da vegetação verde é uma das principais aplicações do sensoriamento remoto na tomada de decisões e gerenciamento ambiental do alvo (MOREIRA, 2007).

Segundo Dusseux et al. (2015) os IV são indicadores da condição em que se encontra a vegetação de uma determinada parcela, como por exemplo os valores de NDVI próximos a 1, que significam maior cobertura do solo com vegetação fotossinteticamente ativa. Já valores de NDVI próximos de 0, correspondem a zonas de solo descoberto. Para Formaggio e Sanches (2017), entre as principais contribuições dos dados de sensoriamento remoto para objetivos e aplicações em agricultura, estão àquelas relacionadas com o monitoramento e a estimativa de parâmetros biofísicos das culturas agrícolas.

Os IV podem ser obtidos a partir de dados gerados por diferentes sensores, tais como sensores proximais e espectrorradiômetros, sensores RGB, multiespectrais, termais e hiperespectrais embarcados em ARP, aeronaves convencionais e satélites, sendo estas as plataformas comumente mais utilizadas (CASTRO JORGE e INAMASU, 2014; MOLIN et al., 2015; De CASTRO et al., 2021). Alguns exemplos de índices de vegetação, obtidos por dados de espectrorradiômetros, sensores RGB e multiespectrais embarcado em ARP estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplos de índice de vegetação utilizados em sensoriamento remoto

Sensor	Índice de vegetação (IV)	Sigla	Referência
RGB	IV da Razão Simples	$\left(\frac{(Nir)}{(Red)}\right)$	SR Birtch e McVey (1968)
	IV de Reflectância Fotoquímico Modificado	$\left(\frac{(Green - Red)}{(Green + Red)}\right)$	MPRI Yang et al. (2008)
	IV Normalizado do Pigmento Clorofila	$\left(\frac{(Red - Blue)}{(Red + Blue)}\right)$	NPCI Peñuelas et al. (1995b)
	IV da Resistência a Atmosférica no Visível	$\left(\frac{(Green - Red)}{(Green + Red - Blue)}\right)$	VARI Gitelson et al. (2001)
Multiespectral	IV da Diferença Normalizada	$\left(\frac{(Nir - Red)}{(Nir + Red)}\right)$	NDVI Rouse et al. (1974)
	IV da Diferença Normalizada da Borda do Vermelho	$\left(\frac{(Nir - RedEdge)}{(Nir + RedEdge)}\right)$	NDRE Barnes et.al. (2000)
	Índice de Reflectância da Senescência da Vegetação	$\left(\frac{(Nir - Green)}{(RedEdge)}\right)$	PSRI Merzlyak et al. (1999)
	Índice por Diferença Normalizada para Água	$\left(\frac{(Green - Nir)}{(Green + Nir)}\right)$	NDWI McFreetts (1996)

Legenda: Onde: *Blue* = banda do azul; *Green* = banda do verde; *Red* = banda do vermelho; *RedEdge* = banda da borda do vermelho; *Nir* = banda do infravermelho próximo;

Fonte: Adaptado de JIMÉNEZ-BRENES et al. (2019) e De Castro (2021)

Atualmente existem muitos índices de vegetação, que continuarão a surgir conforme as pesquisas sobre sensores remotos e seus usos na agricultura evoluam. Os IV mais utilizados na agricultura de precisão são o NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* e, mais recentemente, o NDRE - *Normalized Difference Red Edge*, devido a saturação do NDVI quando se tem muitas camadas de biomassa na vegetação (FORMAGGIO e SANCHES, 2017).

Marques da Silva et al. (2014) demonstraram haver estabilidade nas regiões de alto, médio e baixo vigor vegetativo expressos em valores de NDVI na vinha do Casito, Fundação Eugénio de Almeida – Portugal, obtidos nos meses de junho,

julho, agosto e setembro de 2012. Junges et al. (2017) utilizaram o IV NDVI, obtido de imagens de satélite para monitorar a evolução do desenvolvimento vegetativo, reprodutivo e senescente em videiras no Rio Grande do Sul.

Dal Agnol (2016) observou fortes correlações positivas (0,74 a 0,91) entre os IV SR e NDVI com atributo químico do mosto da uva sólidos solúveis totais nas duas primeiras colheitas (07 e 13 de janeiro de 2015), em um vinhedo da cultivar *Bordô (Ives)* no Noroeste do Rio Grande do Sul. Também observou queda das correlações da primeira a última colheita. Santos et al. (2022) obtiveram correlações com moderada significância entre IV nas videiras e atributos de solo em um vinhedo no Noroeste do RS, com 10 anos de idade e igualmente dividido em três cultivares *Chardony*, *Merlot* e *Pinot Noir*. Amaral et al. (2022) demonstraram a variabilidade espacial do IV PSRI em videira das cultivares *Cabernet sauvignon* e *Shirah*, em 10 dezembro de 2021, na vinícola Velho Amâncio, Vale Central Gaúcho. No mosaico obtido, foi possível diferenciar as plantas de videira, sombra, solo coberto com plantas espontâneas, solo exposto e falhas.

2.7 MEDIDAS DO TEOR RELATIVO DE CLOROFILA COM CLOROFILÔMETRO

Os clorofilômetros são medidores eletrônicos de clorofila (MIELE et al., 2014), sendo sensores ativos, proximais e não destrutivos, sendo dispositivos móveis para uso a campo, e operam nos comprimentos de onda do vermelho e infravermelho próximo, que incidem sobre o limbo foliar de folhas verdes maduras fisiologicamente. Um exemplo deste equipamento é o Clorofilômetro Minolta SPAD-502, que utiliza os comprimentos de onda red (650 nm) nir (940 nm). Mede o grau de enverdecimento das plantas em unidades SPAD, associado à variação dos teores das clorofilas (Figura 9).

As quantificações de área e conteúdo de clorofilas em folhas de videira são utilizadas em estudos fisiológicos e agrônômicos para avaliar o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Estas variáveis são importantes no estudo do comportamento vegetativo de espécies frutíferas e na resposta das plantas às técnicas de manejo que visam aumentar o potencial fotossintético e de rendimento, principalmente relacionadas aos sistemas de condução (SMART, 1985; MURISIER,

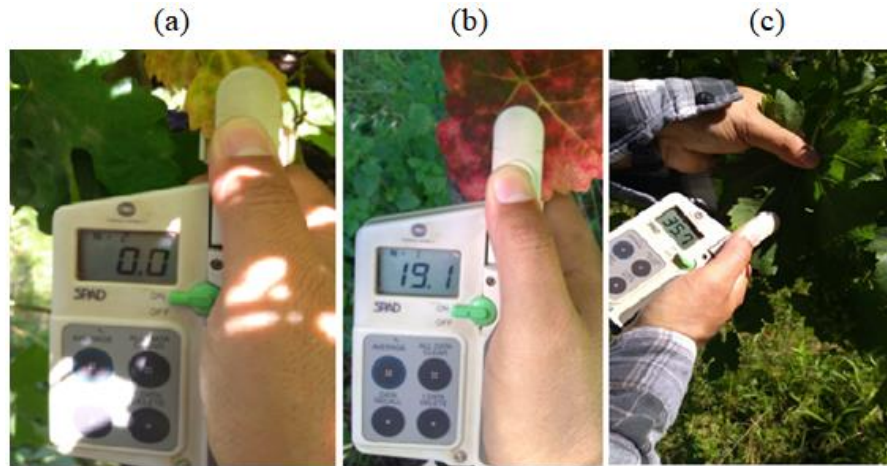
1996), adaptabilidade às condições do ambiente (ENGEL e POGGIANI, 1991; LOPES, 1994) e estimativas do vigor (CHAMPAGNOL, 1984).

O clorofilômetro Minolta SPAD-502 tem sido utilizado na quantificação de clorofilas, de forma rápida, simples, possibilita uma avaliação não destrutiva do tecido foliar. Tem sido utilizado com sucesso para diagnosticar o estado nutricional de diversas espécies frutíferas, como macieira (NEILSEN et al., 1995; PORRO et al., 2001a), videira (PORRO et al., 2001a e 2001b; RUPP et al., 1999; AMARANTE et al., 2009; MIELE et al., 2010; TECCHIO et al., 2011; FARIAS et al., 2022; GEBLER et al., 2022).

O teor relativo de clorofila pode variar devido a diferenças na estrutura e anatomia foliar, estágio fenológico, posição/idade da folha na planta, condição da planta, ano de avaliação, dentre outros (AMARANTE et al., 2009; TECCHIO et al., 2011). Estes autores obtiveram resultados satisfatórios para o teor relativo de clorofila com uso do SPAD. Miele et al. (2010) e Gebler (2022) utilizaram o teor relativo SPAD para demonstrar a variabilidade espacial do vigor de plantas em videiras, realizando diversas coletas de dados em pontos georreferenciados no vinhedo e gerando mapas por interpolação.

Farias et al. (2022) utilizaram o valor SPAD/teor relativo de clorofila determinado com o clorofilômetro Minolta SPAD-502, para avaliar o efeito da carga de gemas em função das podas na videira Sauvignon Blanc, cultivada em região de altitude em São Joaquim, Santa Catarina, em diversos estádios fenológicos. Observaram influência no índice apenas no estágio fenológico grão ervilha, observando-se os maiores valores do índice SPAD para as cargas de 30, 50 e 75 gemas planta⁻¹, enquanto o menor índice foi observado na carga de 15 gemas planta⁻¹. Na maioria dos estádios fenológicos considerados não foi observada diferença significativa para o índice SPAD.

Figura 9 - Variação do teor relativo de clorofila em folhas de videira senescentes (a; b) e folha verde madura fisiologicamente (c) obtida com o clorofilômetro Minolta SPAD-502



Fonte: autor, 2023

Quanto mais verde for a folha da planta, maior será o valor SPAD determinado pelo clorofilômetro SPAD-502, ou seja, o teor relativo de clorofila em percentagem, dado por (KONICA MINOLTA, INC., 2009):

$$\text{Valor SPAD} = \left(\left(\frac{I_{650}}{I_{940}} \right)_{\text{sem folha}} - \left(\frac{I_{650}}{I_{940}} \right)_{\text{com folha}} \right)$$

Onde: Valor SPAD = Teor relativo de clorofila %; I_{650} = comprimento de onda do vermelho; I_{940} = comprimento de onda do infravermelho próximo.

2.8 GEOESTATÍSTICA E KRIGAGEM ORDINÁRIA PONTUAL

Dentre as tecnologias de AP a Geoestatística é uma das mais importantes, por tratar a variabilidade espacial e temporal de atributos de solo, planta/vegetação, clima, que condicionam a produção. Utilizam os semivariogramas para a detecção da dependência espacial/temporal em dados amostrais, e estimativa as variáveis de interesse, em pontos não amostrados, por krigagem e determina suas incertezas (GOOVAERTS, 2001; YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

A Geoestatística surge com os trabalhos do Engenheiro de Minas Daniel G. Krige e colaboradores, em trabalhos empíricos de mineração na África do Sul na

década de 1950, que observaram uma estruturação na variância de dados amostrais, dependente das distâncias em os pontos de coleta de dados. Posteriormente, Matheron (1963; 1971) desenvolveu os fundamentos teóricos da geoestatística baseado nos trabalhos de Krige. A partir de 1980 ganhou impulso pelas aplicações nas diferentes áreas da Mineração e Geologia, passando a ter muitas aplicações na Ciência do Solo e em outras áreas do conhecimento (VIEIRA, 2000; YAMAMOTO e LANDIM, 2013; GREGO, OLIVEIRA e VIEIRA, 2014).

Destacam-se o cálculo das semivariâncias, o ajuste do semivariograma teórico (modelo) ao experimental e a interpolação por krigagem (GREGO, OLIVEIRA e VIEIRA, 2014). A geoestatística é baseada na primeira Lei da Geografia ou Lei de Tobler, a qual considera que os dados são mais similares quanto mais próximos forem obtidos em relação a dados obtidos com maiores distâncias de separação entre as observações, ou seja, são variáveis regionalizadas que apresentam continuidade e dependência espacial ao longo do tempo e do espaço, sendo caracterizada pela chamada hipótese intrínseca (fraca estacionaridade) em geoestatística (GOOVAERTS, 2001; YAMAMOTO e LANDIM, 2013; GREGO, OLIVEIRA e VIEIRA, 2014; MOLIN et al.; 2015).

O semivariograma mensura o grau de similaridade ou de semelhança em dados medidos em pontos amostrais vizinhos, mediante pareamento de diferenças entre observações em distância predefinidas, e geralmente se observação elevação constante em seu valor com o aumento das distâncias entre as observações, mostrando que a similaridade diminui com o aumento da mesma, até se observar a formação de um patamar, relacionado a um alcance, distância a partir da qual os dados se comportam de maneira aleatória (YAMAMOTO e LANDIM, 2013; GREGO, OLIVEIRA e VIEIRA, 2014; MOLIN et al.; 2015). O semivariograma é dado por (VIEIRA, 2000):

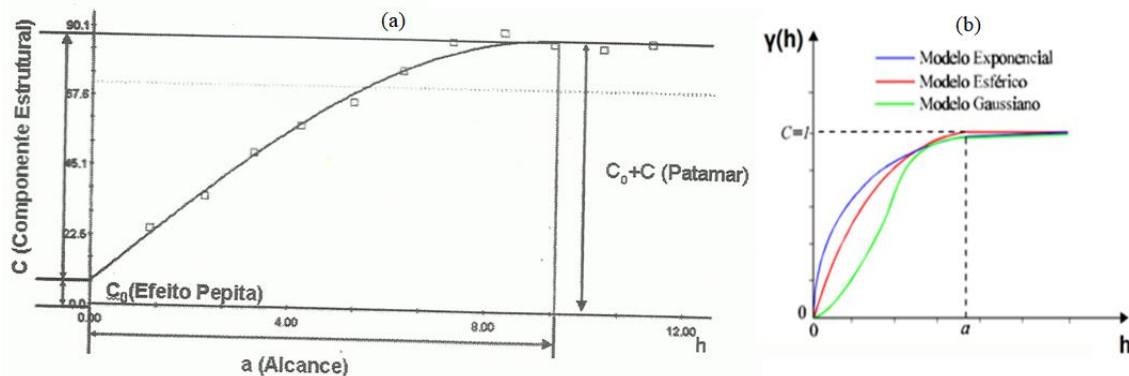
$$\gamma_h = \frac{1}{2n_{(h)}} \sum_{i=1}^{n_{(h)}} [Z_{(x_i)} - Z_{(x_{i+h})}]^2$$

Onde: γ = semivariância experimental; h = distância de separação entre as observações ou lag; n = número de pareamentos estabelecidos nas diferenças de valores amostrais; $Z(x_i)$ = valor amostral obtido no ponto x_i ; $Z(x_{i+h})$ = valor amostral

obtido em um segundo ponto separado do ponto x_i pela distância de separação ou lag; x_i = pontos amostrais da amostra/grid.

Com o cálculo das semivariâncias experimentais se obtém uma nuvem de pontos de pareamentos, a qual os modelos matemáticos (semivariogramas teóricos) são ajustados (Figura 10). Os modelos mais utilizados são esférico, exponencial e gaussiano, cada um com suas respectivas curvaturas, sendo os mais adequados para os mais variados tipos de situações, na maioria dos casos. Os parâmetros obtidos no ajuste do semivariograma são o patamar (C_0+C), a contribuição espacial (C), o alcance (a) e o efeito pepita (C_0) (YAMAMOTO e LANDIM, 2013; GREGO, OLIVEIRA e VIEIRA, 2014).

Figura 10 - Semivariograma experimental e teórico com seus parâmetros de ajuste (a) e modelos de semivariograma teórico mais comumente utilizados (b)



Fonte: adaptado de Landim (1998) e Camargo (2001)

O $C+C_0$ representa a máxima variabilidade obtida com o conjunto de dados amostrais, é um valor próximo à variância amostral (S^2), que se estabiliza a partir do momento em que o campo de comportamento aleatório é obtido, a C representa a estrutura de dependência espacial os dados apresentam, o a é a distância relativa ao patamar e determina até onde há dependência espacial nos dados, o C_0 é relativos a erros oriundo no processo de mensuração e obtenção de dados, variabilidade de pequena escala, e também representa o quanto de aleatoriedade os dados possuem (VIEIRA, 2000; YAMAMOTO e LANDIM, 2013; GREGO, OLIVEIRA e VIEIRA, 2014; MOLIN et al.; 2015). Quanto maior a C e menor o C_0 , maior será o

grau de dependência espacial (GDE), sendo fraco ($0 - <25\%$), médio ($25 - <75\%$) e forte ($>75\%$), dado por (ZIMBACK, 2001):

$$GDE(\%) = \left(\frac{c}{(c_0 + c)} \right) \cdot 100$$

Onde: GDE(%) = grau de dependência espacial em %; C = contribuição espacial; C_0+C = patamar.

Os modelos linear, esférico, exponencial e gaussiano, em ordem, são matematicamente descritos da seguinte forma (GREGO, OLIVEIRA e VIEIRA, 2014):

$$\gamma_{(h)} = C_0 + \frac{c}{a}h \dots \dots \dots 0 \leq h \leq a$$

$$\gamma_{(h)} = C_0 + \frac{c}{a}h \dots \dots \dots 0 \leq h \leq a$$

$$\gamma_{(h)} = C_0 + C \left[1 - e^{-3\left(\frac{h}{a}\right)} \right] \dots \dots \dots 0 \leq h \leq d$$

$$\gamma_{(h)} = C_0 + C \left[1 - e^{-3\left(\frac{h}{a}\right)} \right] \dots \dots \dots 0 \leq h \leq d$$

Onde: g = semivariância teórica; C_0 = efeito pepita; C = contribuição espacial; C_0+C = patamar; a = alcance; h = distância de separação, lag ou passo; d = máxima distância na qual o semivariograma é definido.

O modelo exponencial é o que representa processos que tem a maior perda de semelhança com a distância. Dados de precipitação pluviométrica normalmente são ajustados por este modelo. Atinge o patamar exponencialmente, por isso possui apenas uma estrutura onde d é a máxima distância na qual o semivariograma é definido. O modelo gaussiano é o que representa os processos mais contínuos que se tem conhecimento, tem um crescimento bastante lento no início e tem um ponto de inflexão antes do alcance. Os dados mais comuns de ocorrência de modelo gaussiano são cotas topográficas. O modelo esférico cresce aproximadamente entre o gaussiano e o Possuem duas estruturas, uma com a distância entre zero e o alcance e outra maior do que o alcance, onde atinge o patamar. O modelo esférico é linear até aproximadamente 1/3 do alcance (GREGO, OLIVEIRA e VIEIRA, 2014).

O ajuste dos semivariogramas pode ser feito por tentativa e erro, ou seja, a “sentimento”, conforme a experiência do pesquisador, ao alterar-se a configura da distância de análise e do lag ou passo. Esta configuração poderá gerar nuvens de

valores de semivariâncias experimentais com dispersão e geometria diferentes para uma mesma amostra, havendo então ajustes por modelos diferentes (ZIMBACK, 2001). Para selecionar o melhor ajuste ou modelo, devem ser verificados todos os parâmetros de ajustes obtidos e também utilizar teste, a exemplo da validação cruzada. A validação cruzada é um dos testes mais simples, e avalia a capacidade preditiva do modelo ajustado, ao comparar valor estimado a partir do modelo ajustado e valor mensurado a campo (real), fornecendo o erro padrão de estimativa (ZIMBACK, 2001). Vários softwares geoestatísticos fornecem este recurso, a exemplo do software GS+ (ROBERTSON, 1998).

Uma vez verificada a qualidade dos modelos e selecionado o que gere os menores erros de estimativa e melhor represente o comportamento da variável em estudo, faz-se a interpolação por krigagem, geralmente por krigagem ordinária pontual. A krigagem é um estimador geoestatístico e esta denominação foi realizada por Matheron em homenagem aos trabalhos pioneiros de Daniel Krige na década de 50 (SOARES, 2006). O objetivo da interpolação por krigagem é estimar valores para qualquer local e a estimativa será uma combinação linear de valores medidos. Havendo comprovadamente dependência espacial para a variável em estudo, por meio do ajuste de semivariograma, pode-se interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, sem tendência, na média não deve superestimar nem subestimar valores, e com variância mínima, ou seja, a incerteza na estimativa tem que ser mínima (YAMAMOTO e LANDIM, 2013; GREGO, OLIVEIRA e VIEIRA, 2014).

A Krigagem é uma família de interpoladores, é uma série de técnicas de análise de regressão que procura minimizar a variância estimada, a partir de um modelo prévio, que leva em conta a dependência espacial. Tem capacidade de produzir as melhores estimativas em termos de interpolação, não apresentando tendenciosidade e tendo variância mínima das estimativas. A Krigagem Ordinária (krigeage ordinarie) é a mais comumente utilizada, e sua tradução em português deveria ser krigagem normal, porém o termo krigagem ordinária está consagrado no Brasil. Na krigagem ordinária onde não há necessidade de se conhecer o valor da média, isto é, o valor da média é constante, mas desconhecida (SOARES, 2006; YAMAMOTO e LANDIM, 2013; GREGO, OLIVEIRA e VIEIRA, 2014). O uso da krigagem depende da obtenção do semivariograma (Procedimento Geoestatístico), o

qual gera um vetor de pesos a ser utilizado nas estimativas, sendo a krigagem ordinária dada por (YAMAMOTO e LANDIM, 2013):

$$\hat{Z}_{(x_0)} = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{(x_i)}$$

Onde: \hat{Z} = valor estimado pela krigagem ordinária em um ponto qualquer não amostrado x_0 ; n = número de pontos amostrais vizinhos x_i a serem utilizados no cálculo do valor a ser estimado; λ_i = vetor de pesos oriundo do ajuste do semivariograma teórico ao experimental; $Z(x_i)$ = valor amostral obtido no ponto x_i .

A interpretação dos mapas precisos derivados da interpolação de dados por krigagem permite ao interessado identificar as regiões no campo onde o fenômeno estudado é mais uniforme do que em outras. Dessa forma, a utilização das tecnologias como a Geoestatística permite amparar tecnicamente decisões estratégicas e complexas em relação ao sistema de manejo adotado, seus efeitos ambientais e na produtividade das diferentes culturas (GREGO, OLIVEIRA e VIEIRA, 2014).

Com os resultados da análise geoestatística são gerados mapas de variabilidade espacial de atributos de solo, planta e clima como base para a geração das zonas de manejo ou de produtividade ou ainda unidades de gestão diferenciada, que se constituem em ferramentas para tomada de decisão, gestão e monitoramento dos sistemas produtivos. Esta ferramenta está implementada em vários Sistemas de Informações Geográficas (SIG), seja para uso genérico ou voltado para AP, ou em *softwares* específicos para análises geoestatísticas (GREGO, OLIVEIRA e VIEIRA, 2014; MOLIN et al., 2015).

Dal Agnol (2016) gerou mapas por krigagem para os índices de vegetação TVI1, $\text{Vari}_{\text{green}}$ e NDVI, obtidos em pontos amostrais em um vinhedo de 3,09 ha da videira cultivar Bordô (Ives) em Sarandi-RS. A análise geoestatística foi realizada no *software* GS+, sendo obtido ajustes de semivariogramas como o modelo gaussiano para os IV TVI1, $\text{VARI}_{\text{green}}$ e exponencial para o NDVI, com geração de mapas de variabilidade espacial por krigagem ordinária pontual.

2.9 ZONAS DE PRODUTIVIDADE

Em agricultura de precisão, a possibilidade de gerar mapas relacionados aos sistemas de produção agrícola, tem permitido a identificação de zonas homogêneas e conseqüentemente a aplicação de insumos e manejos localizados, auxiliando a tomada de decisão por parte do produtor. Contudo, isto só é possível considerando a variabilidade espacial dos fatores envolvidos e a geoestatística é sabidamente uma ótima ferramenta para este fim (GREGO, OLIVEIRA e VIEIRA, 2014; MOLIN et al., 2015).

A literatura relata que atributos dos vinhedos, tais como respostas espectrais das folhas, condutividade elétrica aparente do solo e produtividade/rendimentos podem ser relacionados com a variabilidade espacial do vigor vegetativo por meio de índices de vegetação (BONILLA et al., 2015; OLDONI, 2019). Zonas homogêneas de vigor vegetativo podem auxiliar na definição de manejos específicos para cada ambiente nos vinhedos (sítio específico, gleba, terroir) e/ou na definição de lotes de produção com características específicas e distintas de qualidade de frutas e vinho, podendo gerar os chamados “vinhos de parcela”, “fração única” ou vinhos de parcelas com número ou nome específico, produzidos na Argentina, Chile, Brasil e outros países.

Existem várias referências, na Austrália, França, Espanha, Chile, Portugal e Estados Unidos, que documentam uma elevada variabilidade espacial da produtividade em glebas/parcelas de videiras, podendo possibilitar a colheita diferenciada ou vindima segmentada (BRAGA, 2009). Braga (2009) realizou com sucesso uma experiência de vindima segmentada na Quinta da Esperança, em Estremoz – Portugal, para as variedades Aragonez, Cabernet e Toriga. Foi realizado o monitoramento do grau de maturação (acidez total, pH e brix/grau álcool provável) em vários momentos nos anos 2005, 2006 e 2007, e determinada a variabilidade espacial do vinhedo a partir do NDVI, condutividade elétrica aparente do solo, mapa de solos e dados topográficos. Marques da Silva et al. (2014) indicam a utilização de zonas homogêneas de tratamento de vinhedos para adubação, pulverização para aplicação de produtos no controle de pragas e doenças, e para irrigação.

Em um dos seus mais recentes projetos a EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO e parceiros implantaram uma pesquisa on-farm (diretamente nas propriedades) na vinícola Terras Altas, e antes da vinificação quantificou o vigor vegetativo das

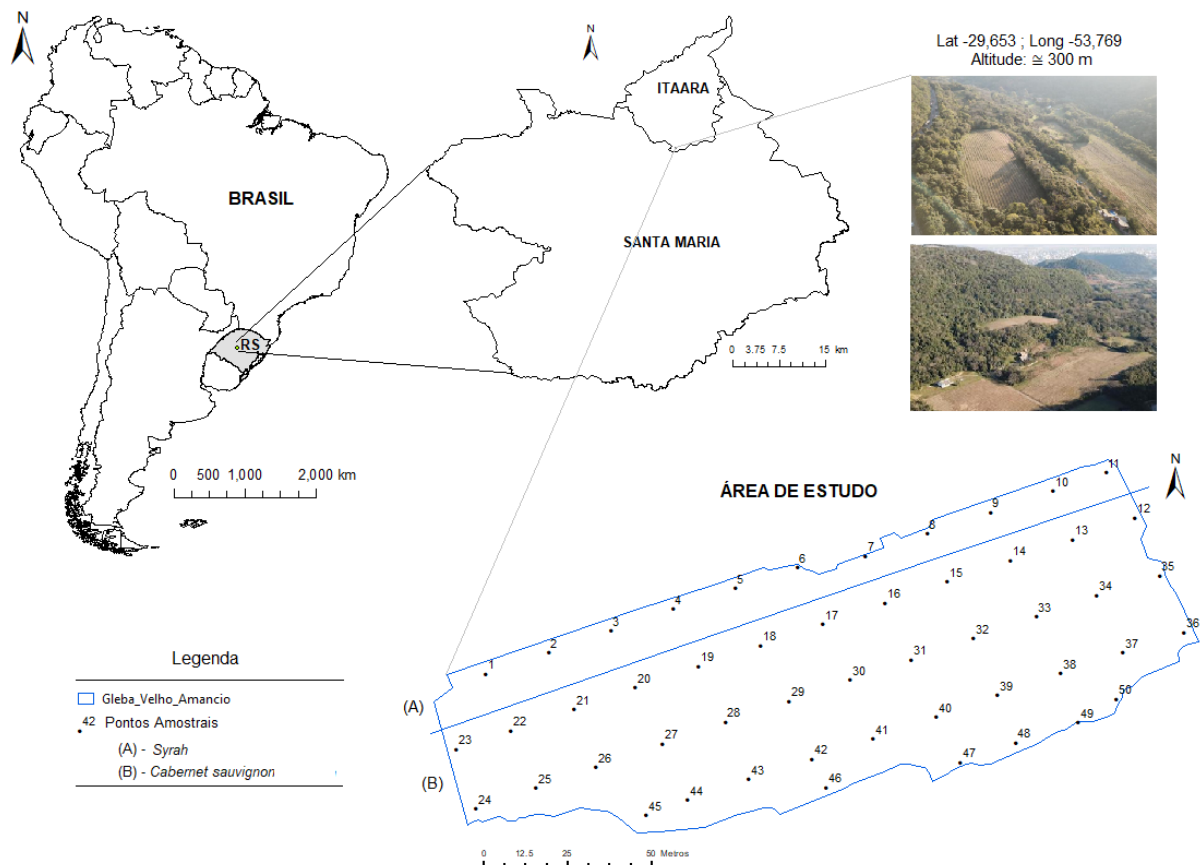
videiras, mediu a condutividade aparente e a umidade do solo em vários pontos no vinhedo, sendo dado tratamento individual a cada parcela. Houve a constatação da variabilidade do solo e do vigor vegetativo das plantas, mesmo em áreas pequenas, refletindo em diferenças enológicas nas uvas nas duas diferentes partes do vinhedo, possibilitando a obtenção de vinhos diferenciados e de interesse dos enólogos. Houve também um teste de degustação, com vinhos de inverno obtidos em diferentes partes do vinhedo determinadas com técnicas de Agricultura de Precisão, e mesmo havendo semelhança na parte química do vinho (acidez, pH, álcool) houve diferenças sensoriais, quanto aos aromas e sabores (FRAGALLE, 2022).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PROJETO PILOTO DE VITICULTURA DE PRECISÃO

O projeto piloto de Viticultura de Precisão foi implantado na Vinícola Velho Amâncio, em um pomar de videiras com $\approx 1,3$ ha e 21 anos de idade, localizado no município de Itaara, Região Central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 11). A área está localizada a coordenadas centrais de latitude $-29,653^\circ$, longitude $-53,769^\circ$ e altitude em torno de 290 metros.

Figura 11 - Área de implantação do projeto piloto de viticultura de precisão, com videiras finas (*Vitis vinifera* L.) Cabernet Sauvignon e Shiraz na Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil.



Fonte: base de dados e adaptação de imagens da Vinícola Velho Amâncio (2022)

Nesta gleba são cultivadas videiras finas (*Vitis vinifera* L.) das variedades Cabernet Sauvignon (CS) e Shiraz (SH), conduzidas em espaldeiras, tendo o dossel vegetativo vertical e os ramos atados horizontalmente aos fios do sistema de

sustentação, com mudança da técnica de podas de cordão esporonado para Guio, com espaçamento entre fileiras de 3 metros e 1 metro entre plantas (3 m² de espaço vital).

O clima da região é do tipo “Cfa”, com média de temperaturas anuais de 19,3° C e chuvas de mais de 1700 mm (ALVARES et al., 2013). Na localidade da área do projeto piloto predominam solos da classe Argissolo Vermelho Distrófico (Streck et al., 2008), e a vegetação é a Floresta Estacional Decidual, pertencente ao Bioma Mata Atlântica, mas em região de transição para o Bioma Pampa (IBGE, 2012).

As videiras são enxertadas, na parte aérea utilizam material genético de origem italiana (Vivai Cooperativi Rauscedo - VCR), importadas ao Brasil via um processo que atendeu várias vinícolas no sul do país no início da década de 2000, tendo o porta-enxerto SO4, de origem alemã (cruzamento de cultivares da espécie *V. berlandieri* x *V. riparia*). A campo, o manejo consiste no tratamento fitossanitário para o controle de doenças, adubação orgânica localizada junto às plantas com uso de composto orgânico, e o manejo da matocompetição (plantas espontâneas) ocorre com roçada mecanizada nas entre linhas (trator + roçadeira), roçada localizada na linha de videiras (roçadeira manual a combustão) e capina (coroamento) junto às plantas.

3.2 COLETA DE DADOS

Para a implantação do projeto piloto de viticultura de precisão foram preconizadas duas abordagens, caracterização da variabilidade espacial dos atributos do solo e da vegetação (videiras – esta dissertação). A caracterização da variabilidade espacial da vegetação iniciou a partir de voos com ARP e delimitação da área de estudo com o aplicativo de navegação por satélites GNSS CR7 GPS Dados – Campeiro.

Foram utilizadas coordenadas geográficas (Latitude; Longitude) com a referência geodésia WGS 84, sendo também este formato utilizado na coleta de dados com ARP, navegação a campo e processamento das imagens, por ser a configuração padrão utilizada em agricultura de precisão. Posteriormente no sistema de informação geográfica *Arc Map 10 ESRI*, com a ferramenta *fishnet*, foi gerada um grid com 50 pontos amostrais para a área do projeto, para ser utilizada tanto no

levantamento dos atributos de solo (SILVA, 2023) quanto da vegetação (esta dissertação).

Para coleta de dados a campo nas videiras, foi utilizado o grid de pontos em arquivo de extensão .kml, com a navegação realizada pelo aplicativo *Google Earth*. Foram realizadas contagens de plantas produtivas, improdutivoas, falhas/mortas, número de cachos de uva por plantas em cada ponto amostral, que poderia ter até três plantas (planta central alinhada ao ponto, com mais uma planta para o lado esquerdo e direito), sendo os dados registrados em fichas de campo. O peso médio dos cachos de uva foi obtido no final do ciclo produtivo 2022/2023, em alguns dos pontos amostrais do grid (dado fornecido pela Vinícola Velho Amâncio 2023). Também foram obtidos índices de vegetação, a partir de dados gerados com sensores embarcados em ARP e espectrorradiômetro, bem como a determinação indireta do teor relativo de clorofila. As coletas foram realizadas nos anos 2021 e 2022, utilizadas para a geração de mapas de variabilidade espacial da vegetação.

Os dados de produtividade de uva para estes anos foram obtidos pela multiplicação do número de cachos contados a campo (2021; 2022) pelo peso médio dos cachos, sendo realizado este levantamento em todos os pontos amostrais utilizados na pesquisa. Os pesos médios dos cachos 2022/23 foram de 87,51g e 41,11g, respectivamente, para as cultivares *Shiraz* e *Cabernet Sauvignon*.

O Teor relativo de clorofila – TRC (%) foi determinado com uso do clorofilômetro SPAD-502 KONICA MINOLTA, ou seja, o valor SPAD, sendo realizadas cinco leituras por plantas, na face adaxial de folhas maduras fisiologicamente e expostas ao sol, em cada planta associada aos pontos amostrais (até três plantas). O clorofilômetro gerou ainda no campo o dado, que foi anotado em fichas de campo. O Valor SPAD é dado por (KONICA MINOLTA, INC., 2009):

$$\text{Valor SPAD} = \left(\left(\frac{I_{650}}{I_{940}} \right)_{\text{sem folha}} - \left(\frac{I_{650}}{I_{940}} \right)_{\text{com folha}} \right)$$

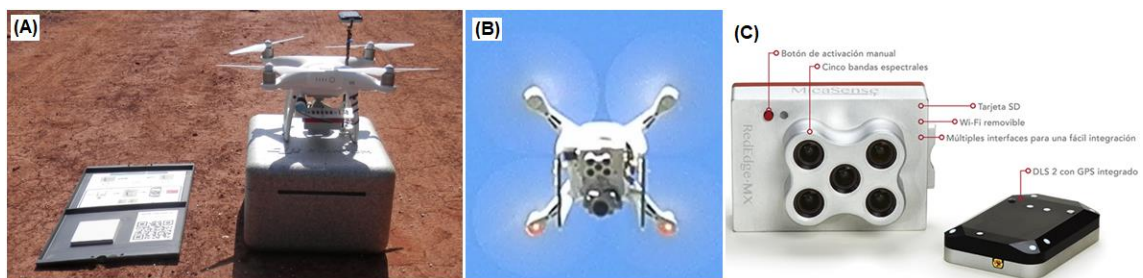
Onde: Valor SPAD = Teor relativo de clorofila %; I_{650} = comprimento de onda do vermelho; I_{940} = comprimento de onda do infravermelho próximo.

Em novembro de 2020 ocorreu o primeiro voo de ARP, com uso de pontos de controle georreferenciados (GCPs) para geração de mosaico RGB de altíssima

resolução espacial (<10 cm) e ajuste do limite da gleba do projeto piloto obtida a campo, com vetorização no SIG *Arc Map 10*, para o corte dos mosaicos com a ferramenta *Extract by mask*. Outros voos foram realizados em novembro de 2021 e 2022, utilizando para o processamento das imagens pontos notáveis georreferenciados, obtido no mosaico RGB de 2020, sendo estes os principais para a geração dos índices de vegetação.

Para os voos de 2020 (20 de novembro de 2020) e 2021 (15 novembro de 2021) foi utilizada uma ARP do tipo multirotor ou asa rotativa (Castro Jorge e Inamasu, 2014), sendo um quadricóptero modelo *Phantom 4 Plus Advanced – DJI* (Figura 12 1.A; 1.B), que possui autonomia para até 20 minutos de voo, em condições de campo, com adaptação de câmera multiespectral, e ventos inferiores a 13 m/s, tendo altura máxima de voo de até 500 m, com alturas de voo utilizadas neste trabalho entre 50 a 100 m para otimizar o número de baterias, que era de apenas uma disponível.

Figura 12 - Aeronave remotamente pilotada *Phantom 4 Plus – Advanced* (A) ao lado do painel de calibração, visão das câmeras RGB e *RedEdge-MX* embarcadas no *Phantom 4* (B), detalhes da câmera multiespectral *RedEdge-MX - Micasense* e do sensor de luminosidade *DSL2* (C).



Fonte: Adaptado de imagens do acervo do Projeto 048066 e catálogo RedEdge-Mx Micasense, 2022.

O rádio controle (RC) desse modelo possui tela integrada que, com emulação da porta USB, permite a realização de voo automático e programado com uso de aplicativo de planejamento de missão com ARP. O alcance de seu link de rádio pode chegar a até cinco quilômetros de distância entre RC e ARP. A telemetria para monitoramento de voo e as configurações da ARP, são realizadas com o aplicativo *DJI GO 4*. Esta ARP possui de fábrica uma câmera RGB, modelo P4 4K FC6310 (8,8 mm), com resolução de 20 *megapixels*, distância focal de 8,8 mm,

dimensões do sensor CMOS 5472x3648 *pixels*, *pixel* quadrado com tamanho de 2,41 x 2,41 μm . O aplicativo para planejamento de missão utilizado foi o *Precision Flight*, com recobrimentos longitudinal e lateral de 70% para a ARP.

No voo de 2021 foi utilizada a câmera multiespectral *RedEdge-MX* (*Micasense*) embarcada de forma adaptada ao *Phantom 4*. Este sensor possui cinco bandas espectrais [*Blue* 475 ± 20 nm (Azul), *Green* 560 ± 20 nm (Verde), *Red* 668 ± 10 nm (vermelho), *Near Infrared* ± 40 nm (infravermelho próximo) e *Red Edge* 717 ± 10 nm (borda do vermelho)]. Possui painel de calibração de reflectância, que funciona como uma superfície lambertiana, e sensor de luminosidade *DSL* para captura de variabilidade de radiação no momento da geração das imagens, ambos foram utilizados na calibração radiométrica das imagens durante o processamento (MICASENSE, 2015).

A *RedEdge-MX* funciona como um roteador *wireless*, e quando conecta a um *smartphone* carrega seu aplicativo de configuração e operação no navegador de internet do dispositivo. O sensor foi configurada para ser acionado por tempo de disparo (modo *timer*), com intervalo de geração das imagens em 1,35 segundos, recobrimentos de 75%, previstos pelo fabricante. Do plano de voo da ARP foi utilizada a altura de voo (100 m) e velocidade (10 m s^{-1}) para obtenção do tempo de disparo, conforme recomendação do fabricante (MICASENSE, 2015).

No ano de 2022 (26 novembro), foi utilizada no voo a ARP *Mavic Pro 1 DJI*, pela indisponibilidade do *Phantom 4*, sendo também uma aeronave multirrotora, contendo um sensor RGB modelo FC220 (4,73 mm), com resolução de 14 *megapixels*, distância focal de 4738 mm, dimensões do sensor CMOS 4000x2250 *pixels*, *pixel* quadrado com tamanho de 1,72x1,72 μm . Também foram feitas as contagens de cachos de uva por planta em cada ponto amostral, o que possibilitou determinar o número plantas produtivas, improdutivas e número de falhas/mortas.

Ainda nesta data, foram realizadas as coletas de dados de reflectância com espectrorradiômetro portátil *FieldSpec Hand Held 2 VNIR ASD*, com resolução espectral de 325 a 1075 nm e intervalo de 1 nm, em blocos de 5 leituras por videira por ponto amostral, havendo variação de 0 a 3 plantas conforme a ocorrência de falhas/mortalidade de plantas. Foram sensoriadas ambas as faces de exposição das videiras (lados da espaldeira), lateralmente à copa e em posição mediana, para que o sensoriamento não abrangesse folhas jovens, imaturas e/ou senescentes, privilegiando folhas verdes, maduras fisiologicamente e expostas ao sol.

As leituras foram realizadas a uma distância de aproximadamente 0,5 m, com o equipamento inclinado a $\approx 45^\circ$ e apontado para as partes de interesse das videiras. A calibração do espectrorradiômetro foi realizada com placa de calibração para refletância, que representa uma superfície lambertiana. Os horários das medições em campo variaram entre as 11 e 13 horas, período de menor ângulo de inclinação solar e maior fluxo de energia radiante, com condições meteorológicas adequadas (céu predominantemente livre de nuvens e pouco vento), com calibrações periódicas.

3.3 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Os dados registrados em fichas de campo foram digitados em planilha eletrônica e associados às coordenadas dos respectivos pontos amostrais do grid utilizado. Já os dados das leituras obtidas com o espectrorradiômetro em 2020, foram descarregados no programa *HH2 Sync ASD*, que possibilita acessar os arquivos de dados no equipamento e salvá-los no computador. Com o programa *ViewSpecPro ASD*, estes arquivos foram lidos, os dados convertidos para reflectância e exportados em arquivo .csv separado por vírgula, para serem calculados os índices de vegetação em planilha eletrônica. Desta forma foram obtidos os valores médios de reflectância para cada ponto amostral gerado tendo como referência as bandas espectrais do sensor multiespectral *RedEdge-MX*, para cálculo dos índices de vegetação.

Os dados das variáveis do teor relativo de clorofila (%), produtividade e índices de vegetação obtidos com o espectrorradiômetro, foram interpoladas por krigagem ordinária pontual, via ajuste de semivariogramas e validação cruzada quando os dados apresentaram ajuste satisfatórios, com uso do programa geoestatístico GS+ (ROBERTSON, 1998). Para as análises geoestatísticas as coordenadas foram reprojatadas para o formato de coordenadas UTM, fuso 22S, mantida a referência geodésica WGS84. Quando os ajustes não foram satisfatórios, foi utilizada interpolação pela ponderação do inverso do quadrado da distância – IDW, realizada no SIG *ArcMap 10*.

O obtenção dos semivariogramas ocorre pelo ajuste de modelos espaciais teóricos aos dados de semivariâncias experimentais, sendo o ajuste semivariográfico

e krigagem ordinária pontual dados por (VIEIRA, 2000; YAMAMOTO e LANDIM, 2013):

$$\gamma_h = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_{i+h})]^2$$

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

Onde: γ = semivariância experimental; h = distância de separação entre as observações ou *lag*; n = número de pareamentos estabelecidos nas diferenças de valores amostrais; $Z(x_i)$ = valor amostral obtido no ponto x_i ; $Z(x_{i+h})$ = valor amostral obtido em um segundo ponto separado do ponto x_i pela distância de separação ou *lag*; x_i = pontos amostrais da amostra/grid; \hat{Z} = valor estimado pela krigagem ordinária em um ponto qualquer não amostrado x_0 ; n = número de pontos amostrais vizinhos x_i a serem utilizados no cálculo do valor a ser estimado; λ_i = vetor de pesos oriundo do ajuste do semivariograma teórico ao experimental.

O resultado da interpolação por krigagem foi salvo em arquivo de extensão .grd, para ser adicionado como camada no SIG *Arc Map* 10. Foram realizados os procedimentos de reprojeção para coordenadas geográficas, extração por máscara e reclassificação de imagens (uso da ferramenta *Reclassify*) para a obtenção classes de teor relativo de clorofila e produtividade de uva. Quando necessário estes procedimentos também foram realizados para os mosaicos dos índices de vegetação.

O processamento das imagens obtidas como os sensores RGB e *RedEdge-MX* embarcados na ARP foi realizado no *software Metashape Agisoft*, com alta qualidade de processamento. Foram realizadas as etapas de alinhamento das imagens e obtenção da nuvem esparsa de pontos homólogos. Para as imagens multiespectrais, foi realizada anteriormente a calibração radiométrica, utilizando o painel de controle *Micasense* (unidade RP04-1901003-SC), que possui fatores de calibração específicos para as bandas *Blue* (0,514), *Green* (0,515), *Red* (0,514), *NIR* (0,511) e *RedEdge* (0,513), e também o sensor de variação momentânea de luminosidade *DSL*. Após esta fase, foram importadas as coordenadas geográficas

pós-processadas (Latitude; Longitude; Altitude), no mesmo formato das coordenadas das imagens, referentes aos 10 pontos de controle de posição no terreno (*Ground Control Points - GCP*), disponíveis no ano de 2020.

Os alvos foram posicionados na área de interesse, ocupados com receptor GNSS de posicionamento global por satélites constelação *GPS GTR-G2 TechGeo L1*, com a antena do receptor sustentada por bipé pneumático e bastão topográfico com altura conhecida, por um período de 30 minutos por ponto. O pós-processamento foi realizado pelo método de Posicionamento por Ponto Preciso – PPP (MONICO, 2008), com uso do serviço *on line* disponibilizado gratuitamente pelo IBGE (IBGE, 2020). Os marcadores virtuais das coordenadas foram ajustadas aos alvos nas imagens em que os mesmos estavam presentes, e após este procedimento foi realizado o reprocessamento dos dados (imagens e nuvens de pontos), os quais passaram a ocupar posições precisas no terreno, com qualidade posicional melhor que 10 centímetros. Para os anos de 2021 e 2022, os alvos não estavam dispostos no campo, sendo necessário utilizar pontos notáveis para o processamento das imagens, cujas coordenadas foram obtidas no ortomosaico do sensor RGB da *ARP Phantom 4* do ano de 2020.

Após este procedimento, foi gerado o modelo numérico de superfície, e realizado o processo de ortorretificação das imagens para obtenção dos mosaicos em composição RGB, e posteriormente dos índices de vegetação, pela ferramenta de transformação raster. Depois de gerados os índices de vegetação, os mosaicos foram exportados em arquivos de extensão *geotiff*, tendo como valor do *pixel* o índice de vegetação desejado, para serem adicionados e utilizados no SIG *Arc Map 10*.

Para detectar a variabilidade da vegetação foram utilizados IV distintos, sendo NDVI, NDRE, NDWI, MPRI, PSRI e R/G, dados pelas equações abaixo citadas por Formaggio e Sanches (2017):

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

$$NDRE = \frac{(NIR - RE)}{(NIR + RE)}$$

$$MPRI = \frac{(RED - GREEN)}{(RED + GREEN)}$$

$$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)}$$

$$PSRI = \frac{(RED - GREEN)}{(RE)}$$

$$R/G = \frac{RED}{GREEN}$$

Onde: NIR – banda do infravermelho próximo; RED – banda do vermelho; RE – banda da borda do vermelho; GREEN – banda do verde; NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; NDRE – Índice de Vegetação da Borda do Vermelho; MPRI – Índice de Reflectância Fotossintético Modificado; NDWI – Índice por Diferença Normalizada para Água; PSRI – Índice de Reflectância de Senescência de Plantas; R/G – Índice de Vegetação da Razão Vermelho e Verde.

No SIG foram realizados procedimentos para visualização e coleta de dados relativos às videiras, sendo delimitadas amostras sobre as plantas relativas aos pontos amostrais, com uso de um arquivo *shapefile* de feição poligonal. Com a ferramenta *zonal statistics as table*, foram exportados os valores dos índices de vegetação em arquivo .csv separado por vírgula, para serem avaliados como os demais dados. Os dados dos índices foram correlacionados com a produtividade.

Os dados de taxas de ocorrência de plantas (%) e produtividade foram avaliados por estatística descritiva, em planilha eletrônica. Para comparações de dois grupos foram realizadas análises de comparação de postos pelo teste Mann-Whitney ($p=0,05$), para dados não normais, condição verificada ao aplicar inicialmente o teste T (para dados normais). O teste de Mann-Whitney compara as medianas de dados de apenas dois grupos, sendo similar ao teste T. Já para as comparações de três grupos de dados foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p=0,05$), tendo o método de Dunn para comparação de postos. Também foram realizadas análises de correlação de Spearman ($p=0,05$), utilizada para dados não normais. As análises foram realizadas no programa *SigmaPlot* e os gráficos gerados no programa *Statistics*.

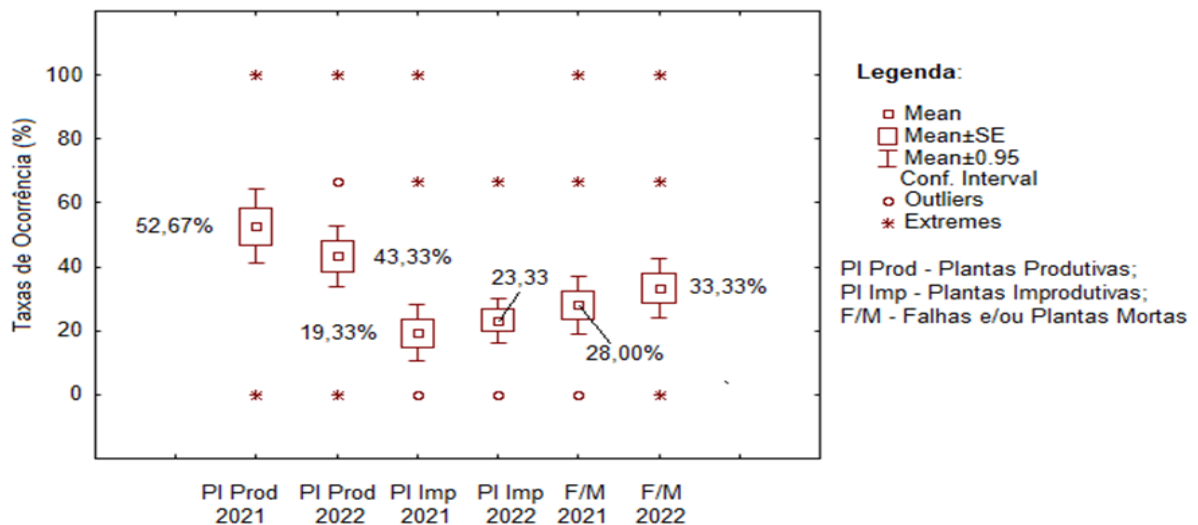
Para propor uma sugestão de zonas de produtividade, a partir de dados com forte heterogeneidade e alta variabilidade presentes nos pontos amostrais, foram utilizadas a Análise de Agrupamentos Hierárquicos – Cluster, com método de ligação Ward's e medida de distância entre objetos (similaridade) 1-r Pearson. Também foi determinada em SIG, a área de influência de cada ponto amostral do grid, com uso de Polígonos de Voronói ou de Thiesen. No dendrograma gerado pelo Cluster foram realizados dois cortes, e observados os grupos formados. Os pontos amostrais que formam cada grupo foram identificados, e no SIG suas áreas foram unidas e seus limites compartilhados foram dissolvidos, com uso da ferramenta Merge. Para a análise de cluster os dados foram padronizados, sendo obtidas pela diferença entre as observações e a média de cada variável, divididos pelo respectivo desvio padrão (LONGLEY et al., 2013; VICINI et al., 2018; MANLEY e ALBERTO, 2019). Desta forma foi obtida a proposta de zoneamento do potencial produtivo para a área de estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ATRIBUTOS E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE VIDEIRA

Nos anos de 2021 e 2022 foi possível avaliar as taxas de ocorrência por ponto amostral de plantas produtivas, improdutivas e falhas/mortas (%) de videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz e Cabernet Sauvignon. O resultado quantifica o que visualmente se observou na área do projeto piloto durante os anos de trabalho, ou seja, uma alta heterogeneidade no vinhedo. Este comportamento conferiu aos dados variabilidade extrema segundo os valores do coeficiente de variação obtidos para as variáveis em análise serem muito altos (Amaral, Muniz e Souza, 1997) (Figura 13; Tabela 2).

Figura 13 - Taxas de ocorrência de plantas produtivas, improdutivas, falhas/mortas de videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz e Cabernet Sauvignon, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – anos 2021 e 2022.



Os comportamentos de média, moda e mediana, sendo valores distantes entre si, e da assimetria e curtose, sugerem a presença de não-normalidade para a distribuição por classes dos dados obtidos. Para o ano de 2021 foram observadas taxas médias de ocorrências de 52,67%, 19,33% e 28,00%, respectivamente para plantas produtivas, improdutivas e falhas/mortas. Já em 2022 houve um decréscimo da taxa média de plantas produtivas para 43,33%, e aumento tanto para as taxas

médias de plantas improdutivas, 23,33%, quanto para as taxas médias de falhas/mortas, 33,33%.

A maior parte das variáveis apresentaram assimetria positiva, e apenas as taxas de plantas produtivas em 2021 e a somas das taxas de plantas improdutivas falhas/mortas em 2022 apresentaram assimetria negativa. Quanto a curtose, a maioria das taxas de ocorrência de plantas apresentaram valores negativos, sendo as curvas planicúrtica (achatadas), o que indica alta variabilidade nos dados, corroborando aos altos CV% observados (RIBEIRO JÚNIOR, 2004). No entanto a produtividade e o número de cachos apresentaram curtose positiva, o que sugere concentração de valores ao redor da média, curva platicúrtica, e homogeneidade nos dados. Os seus desvios padrões foram os menores, porém a média também se apresentou com valores baixos, sendo muito influenciada pela baixa produtividade ou ausência de produtividade em muitas plantas, resultando em alto CV%.

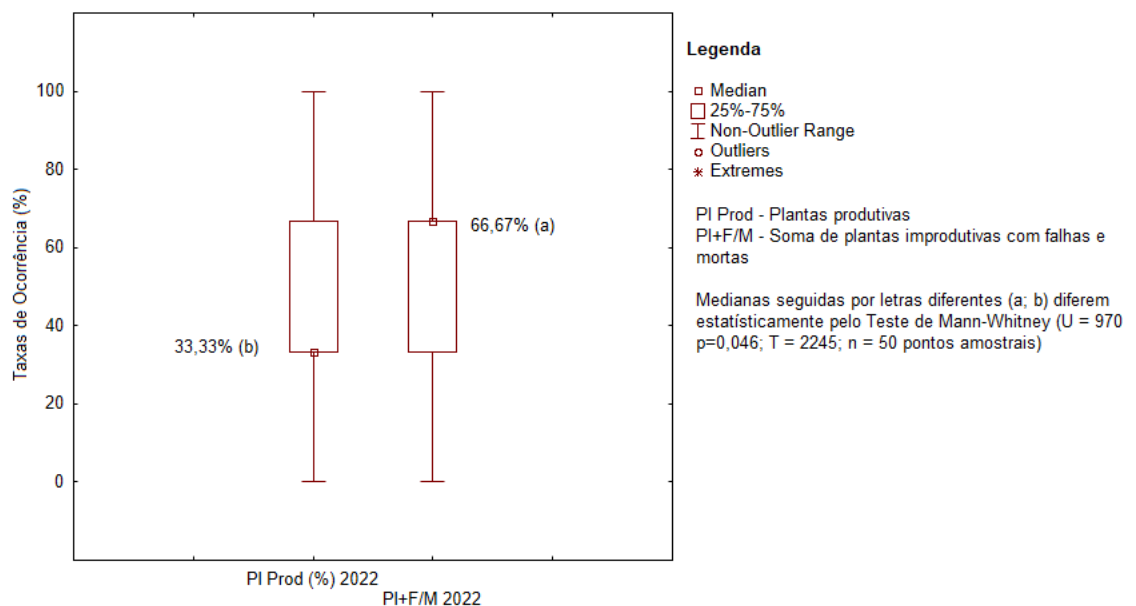
Tabela 2 – Estatística descritiva para atributos de plantas e produtividade de videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz e Cabernet Sauvignon, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – anos 2021 e 2022.

Ano	Variáveis	M	Md	Mo	EPM	S ²	S	CV%	C	A	Min	Máx	NC (95%)
2021	PI Prod PA ⁻¹ (%)	52.67	50.00	100.00	5.72	1636.73	40.46	76.8	-1.58	-0.05	0.00	100.00	11.50
	PI Imp PA ⁻¹ (%)	19.33	0.00	0.00	4.37	956.46	30.93	160.0	0.89	1.43	0.00	100.00	8.79
	F/M PA ⁻¹ (%)	28.00	33.33	0.00	4.50	1014.06	31.84	113.7	-0.11	0.92	0.00	100.00	9.05
	PI F/M PA ⁻¹ (%)	47.33	50.00	0.00	5.72	1636.73	40.46	85.5	-1.58	0.05	0.00	100.00	11.50
	N Cachos PA ⁻¹	11.26	8.50	0.00	1.73	149.75	12.24	108.7	0.54	1.07	0.00	47.00	3.48
	Prod Uva PA ⁻¹ (Kg)	0.54	0.36	0.00	0.10	0.46	0.68	126.8	8.20	2.35	0.00	3.68	0.19
	Cachos PI ⁻¹	5.19	3.75	0.00	0.82	33.57	5.79	111.6	3.06	1.62	0.00	25.00	1.65
	Prod uva PI ⁻¹ (kg)	0.24	0.16	0.00	0.04	0.08	0.28	115.8	3.52	1.78	0.00	1.23	0.08
2022	PI Prod PA ⁻¹ (%)	43.33	33.33	33.33	4.79	1145.12	33.84	78.1	-0.94	0.33	0.00	100.00	9.62
	PI Imp PA ⁻¹ (%)	23.33	33.33	0.00	3.47	600.91	24.51	105.1	-0.94	0.55	0.00	66.67	6.97
	F/M PA ⁻¹ (%)	33.33	33.33	0.00	4.67	1088.44	32.99	99.0	-1.17	0.39	0.00	100.00	9.38
	PI F/M PA ⁻¹ (%)	56.67	66.67	66.67	4.79	1145.12	33.84	59.7	-0.94	-0.33	0.00	100.00	9.62
	N Cachos PA ⁻¹	4.66	3.00	0.00	0.75	28.15	5.31	113.8	1.89	1.53	0.00	21.00	1.51
	Prod Uva PA ⁻¹ (Kg)	0.26	0.12	0.00	0.06	0.16	0.40	152.9	8.49	2.85	0.00	1.84	0.11
	Cachos PI ⁻¹	2.88	2.00	0.00	0.51	13.15	3.63	125.8	12.36	3.00	0.00	21.00	1.03
	Prod uva PI ⁻¹ (kg)	0.16	0.08	0.00	0.04	0.08	0.29	176.8	24.45	4.54	0.00	1.84	0.08

Legenda: PI Prod PA⁻¹ – Plantas produtivas por ponto amostral; PI Imp PA⁻¹ – Plantas improdutivas por ponto amostral; F/M PA⁻¹ – falhas/mortas por ponto amostral; PI F/M – Soma das plantas improdutivas, falhas e mortas por ponto amostral; PA⁻¹ N – Número; M = média, Md – mediana; Mo – Moda; EPM – Erro padrão da média; S² – Variância amostral; S – Desvio padrão; CV% - Coeficiente de variação; C – Curtose, A – Assimetria; Min – Valor mínimo; Máx – Valor máximo; NC (95%) – Nível de confiança.

Não houve diferença estatística entre as taxas de ocorrência por ponto amostral de plantas produtivas, improdutivas e falhas/mortas entre os anos de 2021 e 2022. Porém, quando agrupadas as taxas das plantas improdutivas com as de falhas/mortas por ponto amostral, houve diferença estatística para o ano de 2022, sendo que a mediana destas taxas somadas (66,67%), que refletem queda de produtividade de uva, enquanto a mediana da taxa de plantas produtivas foi de 33,33% (Figura 14). No ano de 2021 esta diferença com significância estatística não foi observada.

Figura 14 - Taxas de Comparação das taxas de ocorrência de plantas produtivas em relação às plantas improdutivas, falhas/mortas em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz e Cabernet Sauvignon, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – ano 2022.



Estes dados sugerem que o vinhedo está em declínio, pelo aumento de plantas improdutivas e falhas/mortas, o que pode estar relacionado a forte restrição hídrica que ocorreu nos três anos de trabalho na área de estudo (2020, 2021 e 2022), uma vez que o vinhedo não é irrigado. Principalmente nos anos de 2021 e 2022, houve distribuição irregular e baixos volumes de precipitação, acompanhadas de séries de dias de altas temperaturas (ondas de calor), resultantes do efeito da *La ninha* para o estado do Rio Grande do Sul, o que afetou também todo o cone sul da América do Sul.

No entanto, esta condição é algo pontual ao longo dos 21 anos de implantação e manejo deste vinhedo, e segundo informações cedidas pela Vinícola Velho Amâncio (VVA), as plantas também sofrem de um problema fitossanitário associado a fungos, chamado “morte descendente”, também conhecido como podridão-descendente de videiras (*Botryosphaeria dieback* ou *black dead arm – BDA*), o que em um período maior de tempo, reduz produtividade do vinhedo e pode ocasionar a morte de muitas plantas (GARRIDO et al., 2017).

Esta doença é frequente em vinhedos no Brasil e na Região Sul, sendo a principal causa da morte de plantas em vinhedos da Serra Gaúcha, variando a taxa de mortalidade de 5 até 60%. Possui vários agentes causais, que mudam conforme a região, existem mais de 20 espécies de fungos a família *Botryosphaeriaceae*, sendo esta uma família de fungos ascomicetos, associadas a morte descendentes de videiras, podendo ocorrer também espécies de outras famílias. A morte descendente de videiras acomete tanto mudas como plantas adultas, os sintomas de declínio das plantas surgem entre dois a quatro anos após a infecção de plantas adultas, o que leva ao desinteresse pelo seu controle em muitos vinhedos, comportamento esse também associado a outros fatores. A infecção compromete boa parte dos tecidos das plantas, interrompe o fluxo de fotoelaborados na região da enxertia infectada pelo agente causal, e a substituição da planta é a alternativa mais viável de controle desta doença (GARRIDO et al., 2017).

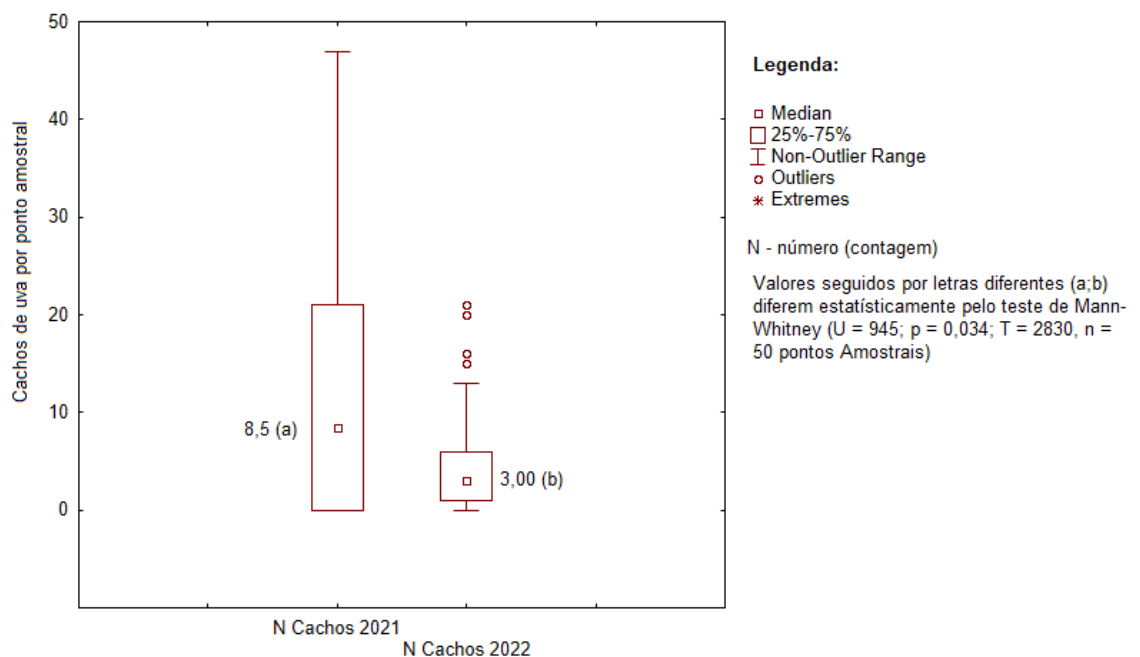
Outro ponto a ser considerado, é o porta enxerto utilizado nas mudas adquiridas para a implantação do vinhedo, o porta-enxerto SO4, considerado altamente produtivo, mas seu desempenho pode ser afetado por restrições hídricas. Os dados obtidos na pesquisa na área do projeto piloto, também sugerem isso.

Segundo Regina e Audeguin (2005), este porta-enxerto é um dos mais produtivos na França. Para videira *Shiraz* produzida na região de Três Corações, MG, no ciclo de inverno em 2010, foi o porta-enxerto que produziu os maiores resultados absolutos para produção de uvas por planta $3,88 \text{ kg planta}^{-1}$, produtividade $11,97 \text{ Mg ha}^{-1}$, relação área foliar/produção de uvas, com $0,86 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ (DIAS et al., 2012). Porém, estes pesquisadores consideraram que o porta-enxerto SO4 apresentou um maior vigor e maior taxa fotossintética neste período, similar ao comportamento do porta-enxerto 110 Richeter, e consideraram que o porta-enxerto 1103 Paulsen forneceu o melhor equilíbrio entre vigor e produção, o que segundo os autores aumenta a qualidade da uva.

Quanto à produtividade, os dados foram oriundos da contagem do número de cachos, que também apresentaram extrema variabilidade, reflexo da alta heterogeneidade do vinhedo. Não houve diferença estatística para a produtividade de uva entre os anos de 2021 e 2022 pela comparação das medianas (dados não-normais), possivelmente pela forma de obtenção dos dados, ao utilizar a multiplicação do peso médio de cachos (valores constantes para as respectivas cultivares) pelo número de cachos observados em 2021 e 2022.

No entanto, para a contagem de cachos por ponto amostral houve diferença estatística entre os anos 2021 e 2022 (Figura 15). Foram observadas medianas de 8,5 e 3 cachos por ponto amostral, que corresponde a 3,75 e 2,00 cachos por plantas produtivas, respectivamente, para os anos de 2021 e 2022. Esta redução na produtividade de cachos de uva, possivelmente, seja decorrente da restrição hídrica ocorrida entre os anos 2021 e 2022, mas também pode ser, em parte, decorrente do declínio do vinhedo.

Figura 15 - Comparação do número de cachos por ponto amostral em videiras (*V. vinifera* L.) *Shiraz* e *Cabernet Sauvignon*, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – ano 2021/2022.



Houveram dificuldades na obtenção dos dados de produtividade nos anos de 2020, 2021 e 2022, devido às restrições da COVID-19 e ao fato do período da vindima (janeiro e fevereiro) coincidir com o término do segundo semestre letivo de 2021 e 2022. Ainda havia a necessidade da colheita das frutas em um ponto de maturação desejado pela vinícola, que demandava a rápida retirada das frutas do campo, em tempo incompatível para organização da coleta de dados de produtividade em cada ponto amostral no vinhedo (contendo até três plantas).

A produtividade por planta produtiva apresentou valores medianos de 0,164 kg e 0,822 kg, respectivamente, para os anos de 2021 e 2022. Esta produtividade é baixa, mesmo quando comparada a dados da própria VVA e também em relação ao observado em outras pesquisas. Os dados de produtividade obtidos são relativos aos pesos médios dos cachos de uva de 87,51g e 41,11g, respectivamente para a cultivar *Shiraz* e *Cabernet Sauvignon*, obtidos na vindima de 2023 (dados fornecidos pela VVA). Em 2020 o peso médio dos cachos foi superior, sendo três vezes para *Shiraz*, com peso médio de 165g por cacho, e 1,8 vezes para *Cabernet Sauvignon*, com peso médio de 125g por cacho (dados fornecidos pela VVA).

Para *Cabernet Sauvignon*, Silveira (2021) observou peso médio de 124,18 g por cacho e produtividade média de 3,25 kg por planta, que correspondem a 26,2 cachos por planta, em um vinhedo comercial localizado na região da Campanha Gaúcha, em Dom Pedrito, RS (31°01' S, 54°36' W, altitude 159 m), nos ciclos produtivos 2015/16, 2016/17, 2017/18 e 2018/19. Estes valores são superiores aos valores médios informados pela Vinícola Velho Amâncio para a vindima de 2023 (41,11 g por cacho). Porém, os pesos médios dos cachos são similares aos da VVA para 2020 (125 g por cacho), o que reforça o efeito negativo do período de restrição hídrica, em função da *La ninha*, sobre a produtividade na área do projeto piloto. Dias et al. (2012) observaram maior influência da condição hídrica das videiras do que dos porta-enxertos, sobre a produção de uva da variedade *Shiraz*, em Três Corações, MG, entre os anos de 2007 a 2010.

As produtividades médias por planta, observadas na área de estudo em 2021 e 2022 em relação à descrita por Silveira (2021), foram muito inferiores, sendo respectivamente, de 0,240 e 0,160 kg. Para o número de cachos a diferença também foi inferior, uma vez que as médias de cachos por plantas produtivas foram,

respectivamente, de 5,19 e 2,88 cachos para os anos de 2021 e 2022, sendo aproximadamente dez vezes menor no último ano.

Quanto às correlações obtidas, as mesmas demonstraram haver um grande problema referente à ocorrência de plantas improdutivas, falhas/mortas, por apresentar altas correlações negativas (Ferreira, 2014) com vários dos indicadores de produtividade. Em ambos os anos de análise de dados, as taxas de ocorrência destas duas classes de plantas afetaram negativamente o número de cachos e a produtividade de uvas, tanto por ponto amostral como por planta (Tabela 3). Ainda, foi observada, em ambos os anos, a máxima correlação negativa (-1) entre as taxas de ocorrência de plantas improdutivas, falhas/mortas, que reduzem a produtividade, com a taxa de ocorrência de plantas produtivas (aquelas que produziram cachos de uvas e aumentariam a produtividade).

De maneira geral, evidencia-se a necessidade de reposição de plantas de videiras na área do projeto piloto, tanto da cultivar *Shiraz* quanto *Cabernet Sauvignon*, considerando a possibilidade de utilizar outro porta-enxerto, bem como uma verificação nos processos de podas das videiras, manejo do vinhedo e diferenciação de gemas (vegetativas; reprodutivas), com vistas à recuperação de produtividade e ocupação dos espaços destinados às plantas produtivas naquela área.

Tabela 3 – Correlação de Spearman para as ocorrências de plantas e produtividade de videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz e Cabernet Sauvignon, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – anos 2021 e 2022.

Ano	Variáveis	2021								2022							
		[a]	[b]	[c]	[d]	[e]	[f]	[g]	[h]	[i]	[j]	[k]	[l]	[m]	[n]	[o]	[p]
2021	[a] PI Prod PA ⁻¹ (%)	1															
	[b] PI Imp PA ⁻¹ (%)	-0.63	1														
	[c] F/M PA ⁻¹ (%)	-0.68	-0.05	1													
	[d] PI F/M PA ⁻¹ (%)	-1.00	0.63	0.68	1												
	[e] N Cachos PA ⁻¹	0.85	-0.60	-0.49	-0.85	1											
	[f] Prod Uva PA ⁻¹ (Kg)	0.86	-0.59	-0.50	-0.86	0.99	1										
	[g] Cachos PI ⁻¹	0.72	-0.55	-0.32	-0.72	0.96	0.94	1									
	[h] Prod uva PI ⁻¹ (kg)	0.73	-0.53	-0.35	-0.73	0.95	0.96	0.98	1								
2022	[i] PI Prod PA ⁻¹ (%)	0.25	-0.42	0.03	-0.25	0.32	0.29	0.32	0.29	1							
	[j] PI Imp PA ⁻¹ (%)	0.01	0.02	0.01	-0.01	-0.04	0.00	-0.05	-0.01	-0.38	1						
	[k] F/M PA ⁻¹ (%)	-0.29	0.42	0.01	0.29	-0.33	-0.33	-0.31	-0.30	-0.74	-0.30	1					
	[l] PI F/M PA ⁻¹ (%)	-0.25	0.42	-0.03	0.25	-0.32	-0.29	-0.32	-0.29	-1.00	0.38	0.74	1				
	[m] N Cachos PA ⁻¹	0.29	-0.51	0.07	-0.29	0.36	0.36	0.37	0.37	0.78	-0.17	-0.68	-0.78	1			
	[n] Prod Uva PA ⁻¹ (Kg)	0.23	-0.45	0.07	-0.23	0.30	0.31	0.30	0.31	0.78	-0.15	-0.69	-0.78	0.98	1		
	[o] Cachos PI ⁻¹	0.33	-0.52	0.04	-0.33	0.39	0.39	0.39	0.38	0.59	-0.07	-0.54	-0.59	0.94	0.91	1	
	[p] Prod uva PI ⁻¹ (kg)	0.23	-0.45	0.06	-0.23	0.30	0.31	0.30	0.31	0.59	-0.05	-0.54	-0.59	0.91	0.94	0.96	1

Legenda: Vermelho - Correlações significativas $p < 0,05$; Azul – Máxima correlação negativa; Amarelo e Cinza - Correlações que influenciaram a produtividade, cachos de uva e plantas produtivas; PI Prod PA⁻¹ – Plantas produtivas por ponto amostral; PI Imp PA⁻¹ – Plantas improdutivas por ponto amostral; F/M PA⁻¹ – falhas/plantas mortas por ponto amostral; PI F/M – Soma das plantas improdutivas, falhas e mortas por ponto amostral; PA⁻¹ – ponto amostral; N – Número; [a], [b], ..., [p] – Variáveis listadas lateralmente, dispostas em ordem, de forma transposta no cabeçalho da tabela.

4.2 VARIABILIDADE ESPACIAL DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO, CLOROFILA E PRODUTIVIDADE DE Videira

A variabilidade espacial dos índices de vegetação obtidos com os sensores RGB Mavic Pro1 (Figura 16), multiespectral RedEdge-MX em 2021 (Figuras 17 e 18) e RGB Phantom 4 (Figura 19) em 2022, também demonstraram a heterogeneidade existente no vinhedo do projeto piloto, quanto a presença de falhas e plantas com menor formação de parte aérea, o que pode ser associado ao baixo vigor vegetativo. Outro aspecto importante observado foi a presença consistente de manchas de solo exposto, independentemente dos IV ou ano (2020;2021 ou 2022), ocorrendo também menor vigor de plantas espontâneas, comportamento que pode estar associado a baixa capacidade de fornecimento de água por estas manchas de solo exposto, exceto aquelas oriundas das passagens dos rodados de trator e/ou implementos agrícolas.

Nos anos de 2020 e 2022 foram obtidos apenas o índice de vegetação fotossintético modificado (MPRI) [Figura 16.a e 18.a] e razão vermelho/verde (Red/Green) [Figura 16.b e 18.b], pelo fato de não estarem disponíveis os conjuntos ARP Phantom 4 e sensor multiespectral RedEdge-MX, ou ainda o adaptador de embarque. Os IV obtidos com sensor RGB (2020; 2022) serviram de apoio às análises realizadas com dados de 2021, pois foram obtidos sem a possibilidade de realizar a calibração radiométrica das imagens.

Já para o anos de 2021, foram obtidos o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) [Figura 17.a], índice de vegetação por diferença normalizada da borda do vermelho (NDRE) [Figura 17.b], índice de vegetação fotosintético modificado (MPRI) [Figura 17.c], índice por diferença normalizada para água (NDWI) [Figura 17.d], índice de reflectância de senescência de plantas (PSRI) [Figura 17.e] e razão vermelho/verde (Red/Green) [Figura 17.f], todos estes calibrados radiometricamente pelo uso do painel de calibração e dos dados do sensor de DSL, que captura a variação da luminosidade no momento da obtenção das imagens.

Os valores dos IV obtidos em 15 de novembro de 2021, foram gerados com sensor multiespectral, e com uso de amostras exclusivamente dispostas nas videiras em todos os 50 pontos amostrais que continham videiras, houve a coleta de dados com a ferramenta estatística zonal no SIG. Estes valores demonstram que as videiras ainda não tinham atingido o máximo vigor ou não haviam finalizado o

período de crescimento, pois índices como NDVI e NDRE apresentaram valores relativamente baixos, inclusive o NDVI não apresentou sinais de saturação, quando os mesmo apresenta valores acima 0,90 e se estabiliza neste patamar, variando de -0,08 a 0,86 (Tabela 4).

Figura 16 -Variabilidade dos índices de vegetação MPRI (a) e Red/Green (b) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos como o sensor RGB da ARP Phantom 4, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2020.

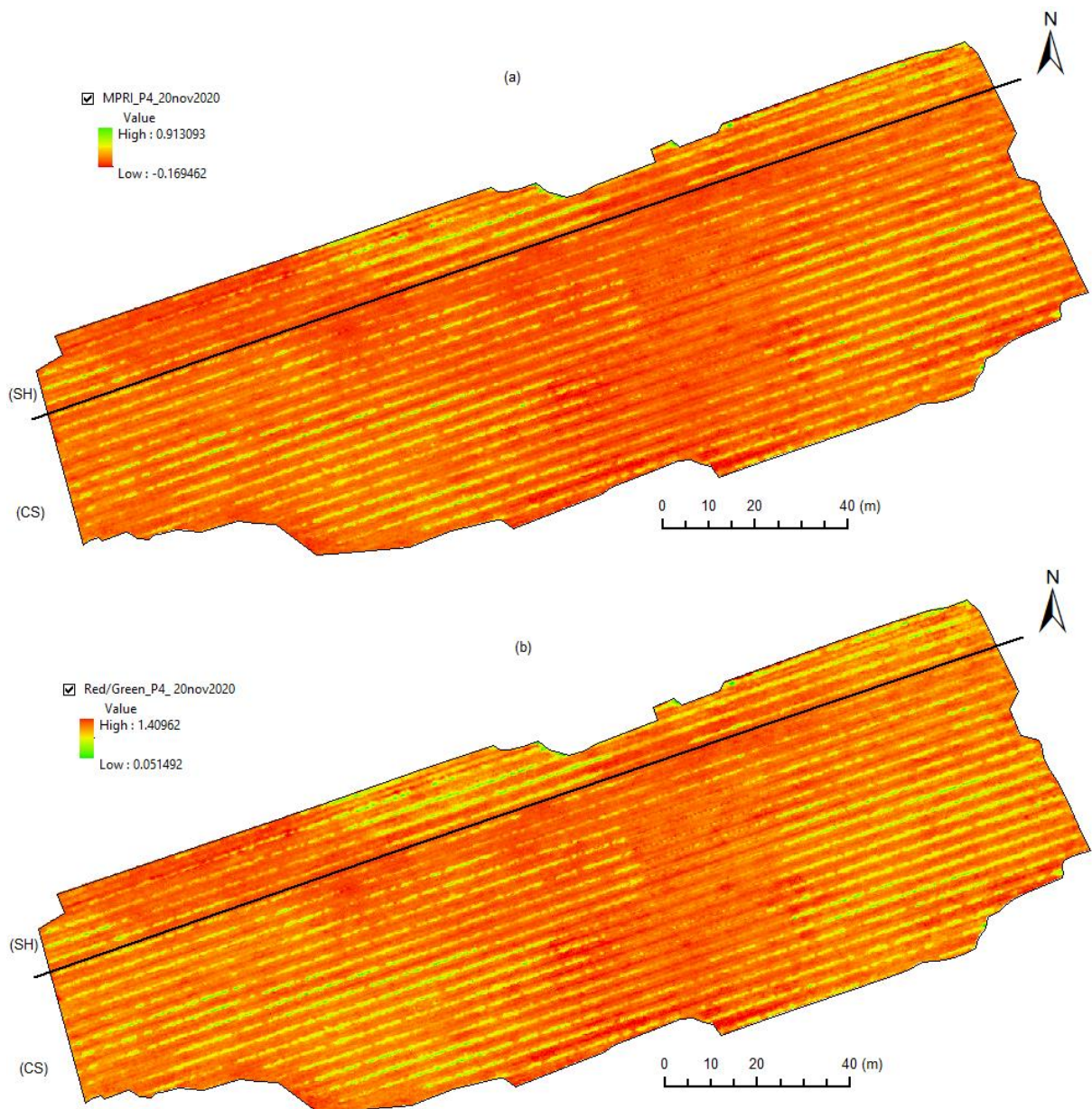


Tabela 4 –Estatística descritiva para os de índices de vegetação (15 nov.) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos como o sensor *RedEdge-MX* embarcado em ARP, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2021.

IV	M	EPM	Md	Mo	S	S ²	CV%	C	A	V _{Mn}	V _{Mx}	NC (95%)
NDVI _{Mn}	0.27	0.02	0.31	Amodal	0.15	0.0220	54.01	-0.35	-0.71	-0.08	0.48	0.04
NDVI _{Mx}	0.64	0.01	0.65	Amodal	0.10	0.0102	15.80	0.65	-0.53	0.34	0.86	0.03
NDVI _M	0.50	0.01	0.51	Amodal	0.10	0.0098	19.84	2.28	-1.19	0.15	0.65	0.03
NDRE _{Mn}	-0.02	0.01	-0.02	Amodal	0.05	0.0027		-0.13	-0.08	-0.13	0.08	0.02
NDRE _{Mx}	0.12	0.01	0.12	Amodal	0.06	0.0034	46.84	0.72	0.65	-0.01	0.28	0.02
NDRE _M	0.04	0.01	0.04	Amodal	0.05	0.0021	114.65	0.65	-0.22	-0.08	0.14	0.01
MPRI _{Mn}	0.23	0.02	0.22	Amodal	0.10	0.0109	46.20	0.59	-0.41	-0.09	0.42	0.03
MPRI _{Mx}	0.53	0.01	0.54	Amodal	0.10	0.0099	18.81	-1.20	0.00	0.37	0.71	0.03
MPRI _M	0.42	0.01	0.42	Amodal	0.10	0.0091	22.78	0.03	-0.37	0.14	0.57	0.03
NDWI _{Mn}	-0.28	0.01	-0.28	Amodal	0.10	0.0105		-0.12	-0.30	-0.52	-0.05	0.03
NDWI _{Mx}	0.001	0.01	-0.01	Amodal	0.09	0.0073	7249.61	0.62	0.51	-0.16	0.21	0.02
NDWI _M	-0.12	0.01	-0.12	Amodal	0.07	0.0048		2.17	0.74	-0.27	0.09	0.02
PSRI _{Mn}	-0.64	0.02	-0.61	Amodal	0.12	0.0142		-0.88	-0.26	-0.88	-0.42	0.03
PSRI _{Mx}	-0.30	0.02	-0.33	Amodal	0.13	0.0180		3.14	1.18	-0.51	0.21	0.04
PSRI _M	-0.49	0.01	-0.49	Amodal	0.10	0.0104		0.97	0.62	-0.69	-0.19	0.03
R/G _{Mn}	0.32	0.01	0.31	Amodal	0.09	0.0077	27.37	-1.17	0.17	0.17	0.47	0.03
R/G _{Mx}	0.65	0.02	0.63	Amodal	0.17	0.0284	25.77	2.55	1.17	0.38	1.27	0.05
R/G _M	0.43	0.02	0.43	Amodal	0.11	0.0115	24.82	1.21	0.92	0.27	0.76	0.03

Legenda: IV – índices de vegetação; Mn – valor mínimo; Mx – valor máximo, M – média; Md – mediana; Mo – moda; S – desvio padrão; S² – variância amostral; CV% - coeficiente de variação; C – curtose; A – assimetria; Mn/Mín – valor mínimo; Mx/Máx – valor máximo; NC (95%) – nível de confiança.

Os IV apresentaram média e mediana com valores muito próximos ou mesmos valores na maioria dos casos. NDVI, NDRE e MPRI apresentaram assimetria negativa, enquanto NDWI, PSRI e R/G assimetria positiva, na maioria das casos. Quanto a curtose, os IV apresentaram valores positivos, exceto para os valores mínimos, sendo as curvas leptocúrticas, concentrada em torno da média, o que indica alta homogeneidade nos dados (RIBEIRO JÚNIOR, 2004). Se analisarmos a parte aérea de uma videira, nas imagens e mosaicos de IV, encontraremos folhas em diversos estágios de desenvolvimentos, sombreamento de folhas umas sobre as outras, dentre outras interferências ou ruídos (solo, material vegetal seco, plantas espontâneas, outros), e isto pode afetar mais os valores mínimos, a princípio.

Alguns índices apresentaram médias negativas, não sendo correto determinar CV% nestes casos, uma vez que o mesmo deve ser aplicado a razões que gerem valores positivos. NDWI máximo e NDRE médio apresentaram altos CV%, sendo o menor CV% apresentado pelo NDVI máximo. A média dos valores do NDWI máximo apresentou valor extremamente baixo (0,001), possivelmente pelo fato de ocorrerem valores positivos e negativos para na distribuição de valores deste IV nas videiras, resultando em um CV% totalmente anormal (7249,61 %).

Perreira (2022) encontrou resultados similares para NDVI e NDRE, no sentido dos valores médios não serem elevados e o NDVI não apresentar saturação, em um vinhedo com a cultivar *Shiraz* (porta-enxerto Paulsen 1103 e IAC 572) irrigado por gotejamento na Vínicola Terras Altas em Ribeirão Preto, SP. O autor utilizou o sensor multiespectral RedEdge-M (Micasense), precursor do modelo utilizado neste trabalho (RedEdge-Mx), e observou valores médios de 0,729 e 0,300 respectivamente para NDVI e NDRE. Foi adotado o estágio do início da maturação para avaliar o vigor vegetativo, e Perreira (2022) considerou que o NDVI obteve menor sensibilidade em relação ao NDRE, ao apresentar menor dispersão de dados em relação à média, algo que também ocorreu na presente pesquisa.

Figura 17 - Variabilidade dos Índices de vegetação NDVI (a), NDRE (b) e MPRI (c) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos como o sensor RedEdge-MX embarcado em ARP, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2021.

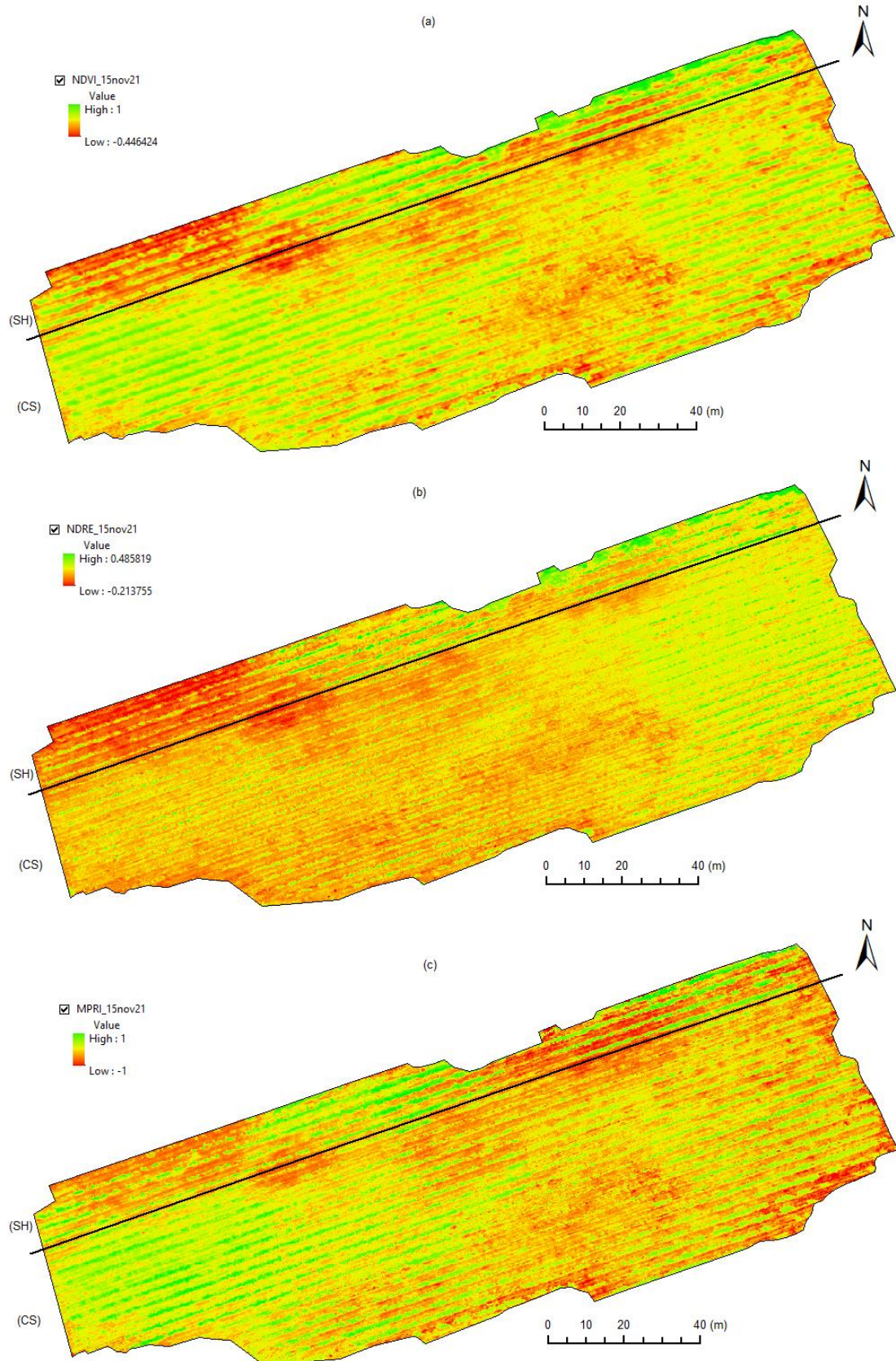


Figura 18 - Variabilidade dos índices de vegetação NDWI (a), PSRI (b) e Red/Green (c) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos como o sensor RedEdge-MX embarcado em ARP, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2021.

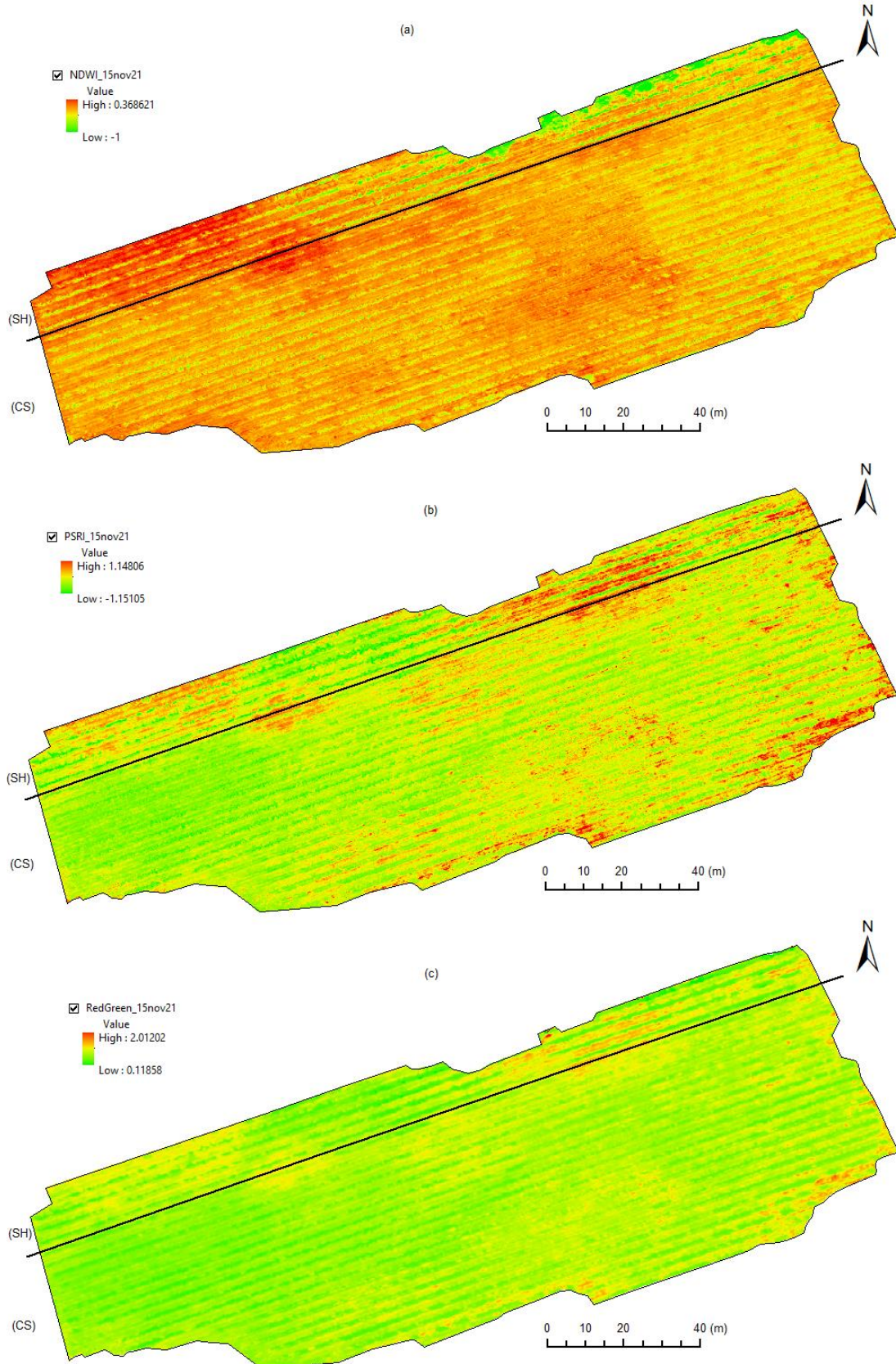
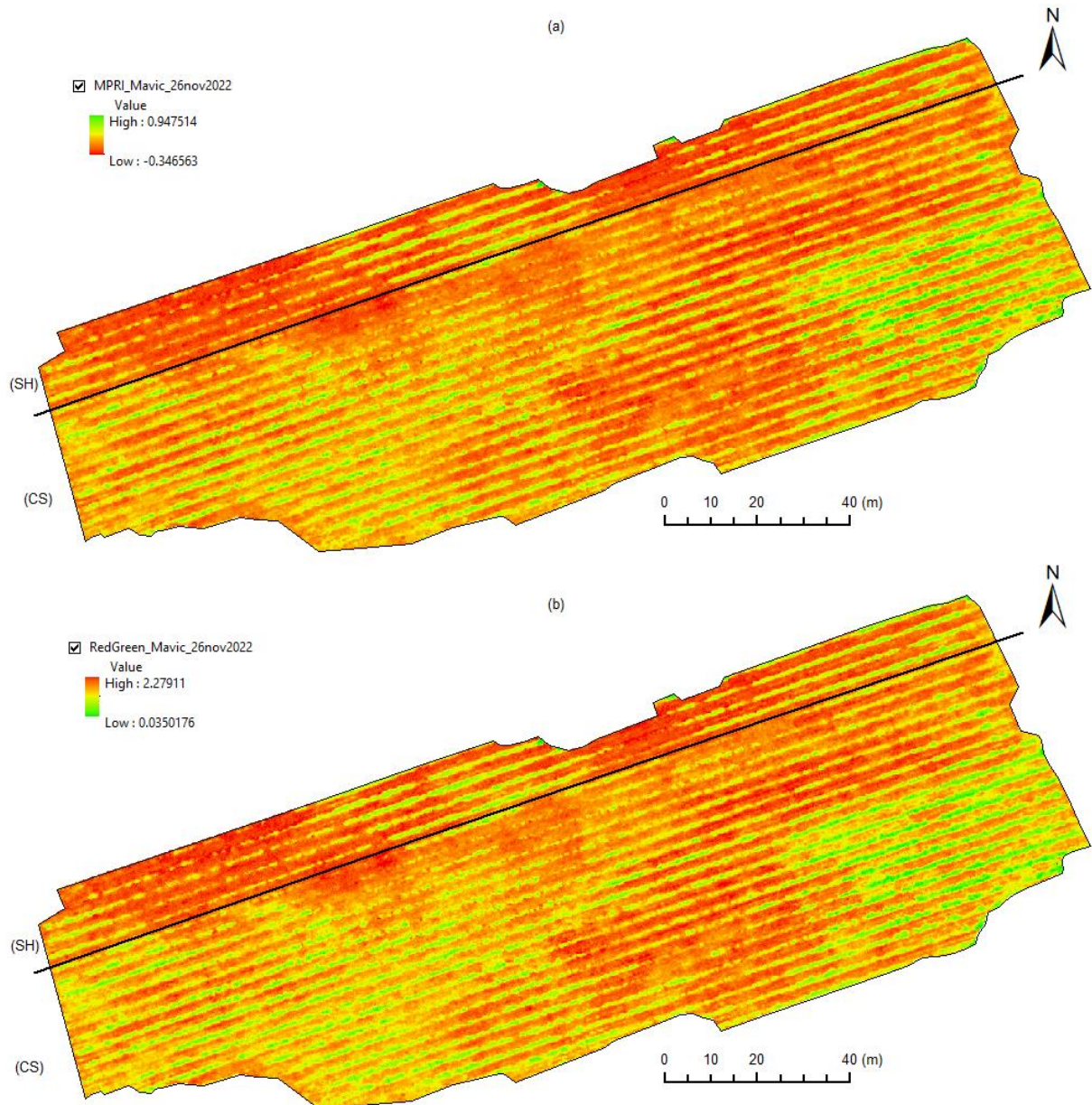


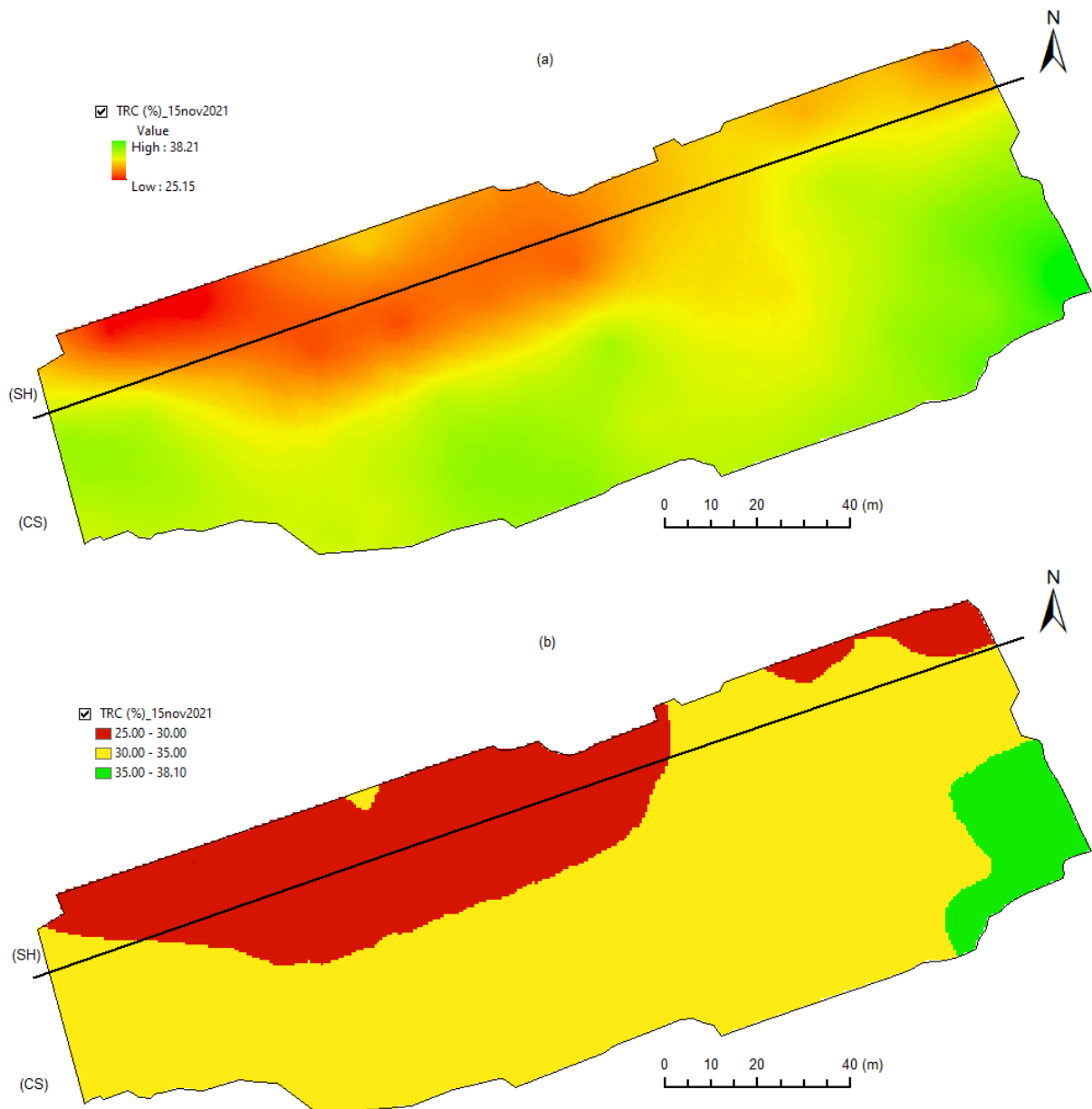
Figura 19 - Variabilidade dos índices de vegetação MPRI (a) e Red/Green (b) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos como o sensor RGB da ARP Mavic Pro 1, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2022.



Para 2021, também foi obtida a variabilidade espacial do teor relativo de clorofila (%) ou índice SPAD (Figura 20.a e 20.b), gerado com dados coletados em 15 de novembro de 2021 com o clorofilômetro Minolta SPAD-502. Na sua elaboração foi utilizada interpolação por krigagem ordinária pontual (análise geoestatística), com ajuste do modelo esférico. Foram excluídos da análise os valores nulos (0), sendo obtidos os parâmetros efeito pepita (C_0) 2,040; patamar (C_0+C) 11,720; alcance (A)

57,30 m; soma dos quadrados dos resíduos (SQR) 1,44; coeficiente de determinação (R^2) 0,943; forte dependência espacial (C/C_0+C) 82,6%. Para a validação cruzada foram obtidos os seguintes parâmetros de ajuste, coeficiente de regressão 0,920; erro padrão para o coeficiente de regressão 0,175; coeficiente de determinação (R^2) 0,383; intercepto no eixo y 2,44; erro padrão de estimativa de 2,715.

Figura 20 - Variabilidade do teor relativo de clorofila (absoluto [a] e classificado [b]) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS), Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2021.



Variações no TRC (%) foram observadas no mapa gerado, oscilando de 25 a 38% aproximadamente. Aparentemente a cultivar *Shiraz* apresentou os menores teores em relação à *Cabernet Sauvignon*. No entanto, a porção norte do mapa, na qual ocorre a cultivar *Shiraz*, coincide com locais onde ocorre solo exposto, plantas de menor crescimento e falhas, visíveis nos mapas dos índices de vegetação, sendo mais evidente no lado esquerdo do mapa (canto superior). Possivelmente os menores TRC (%) sejam devido ao ambiente, não somente à cultivar. Contudo, o TRC (%) apresentou moderada correlação significativa negativa com o IV NDWI (-0,441; $p < 0,05$) e não apresentou correlação significativa com a produtividade de uva no pomar em estudo.

Tecchio et al. (2011) observaram valores entre 34 e 41% para em vinhedos de Niagara Rosada em dois ciclos de produção (2007/2009) em diferentes locais no estado de São Paulo. As variações no TRC (%) podem ser devido a diferenças na estrutura e anatomia foliar, estágio fenológico, posição/idade da folha na planta, condição da planta, ano de avaliação, dentre outros fatores (AMARANTE et al., 2009; TECCHIO et al., 2011).

O TRC (%) pode ser associado ao teor de nitrogênio nas plantas e pode ser utilizado para ajustar adubações de cobertura (AMARANTE et al., 2009; TECCHIO et al., 2011), o que tornaria seu mapa uma ferramenta interessante neste aspecto. Contudo, como na maioria dos estudos, estes autores obtiveram resultados satisfatórios para o TRC (%) em videiras com uso do SPAD, porém, não geraram mapas. Foram geradas três classes de valores de TRC (%) (Figura 19.b), e aparentemente se apresentam como limites interessantes para definição de ambientes.

Os principais resultados obtidos neste período de coleta de dados foram a variabilidade espacial da produtividade (Figuras 21, 22 e 23), que possibilitam a elaboração de mapas de colheita de frutas. Mapas de colheita complementam sistemas multicamadas de informações (solo, clima, manejo e planta), que são utilizados como ferramentas para análise de dados e tomada de decisão, muito importantes tanto para a agricultura de precisão quanto para fruticultura de precisão (MOLIN, AMARAL e COLAÇO, 2015; SILVA, SOUZA LIMA e SANTOS, 2021). Segundo estes autores, o estudo da variabilidade espacial e temporal dos cultivos é um dos primeiros passos para implantação de um projeto de agricultura de precisão,

no qual os mapas de produtividade informam as respostas das culturas aos manejos adotados e aos fatores de produção.

Figura 21 - Variabilidade da produtividade (absoluta [a] e classificada [b]) de videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos por krigagem ordinária pontual, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2021.

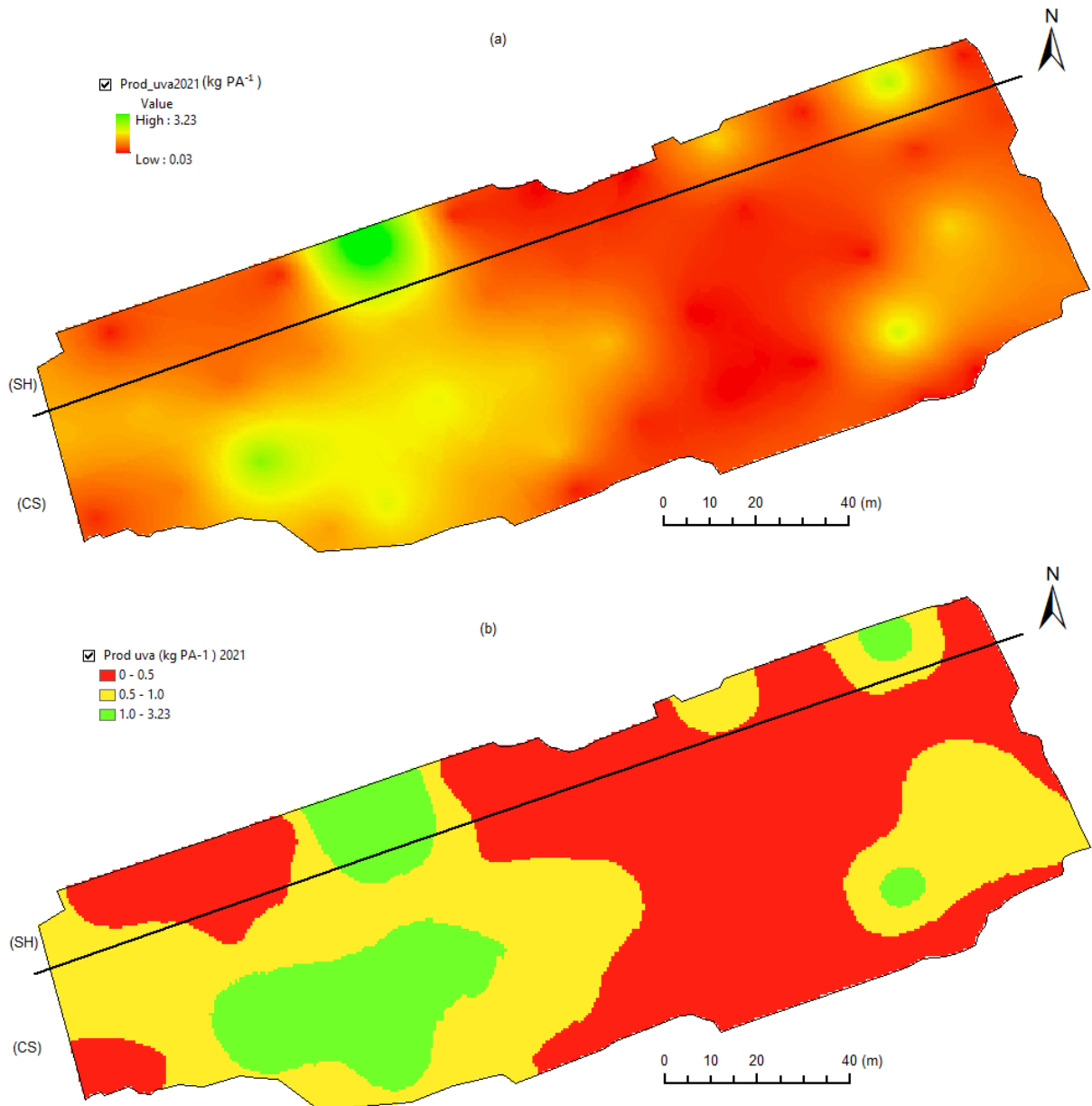
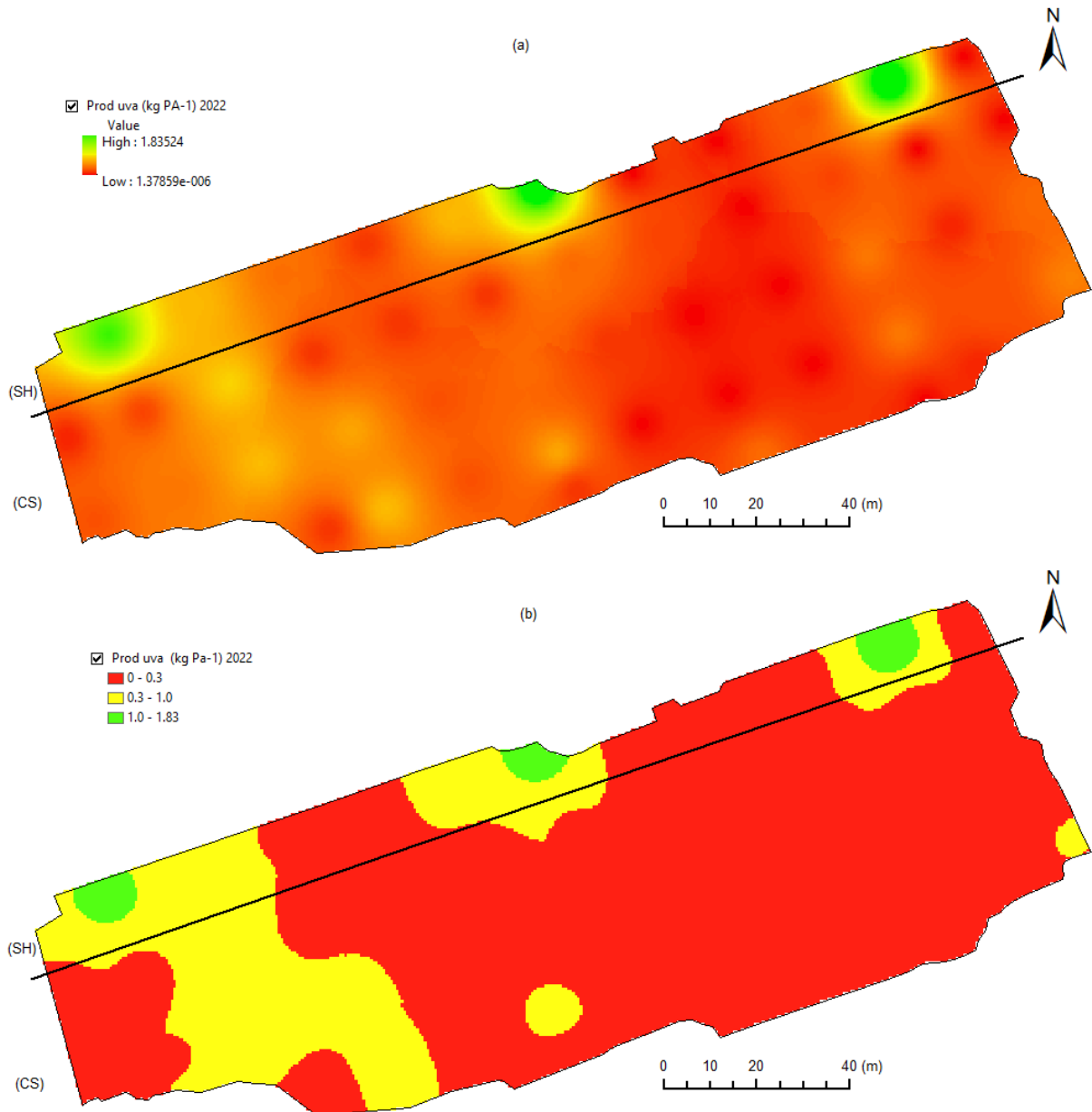


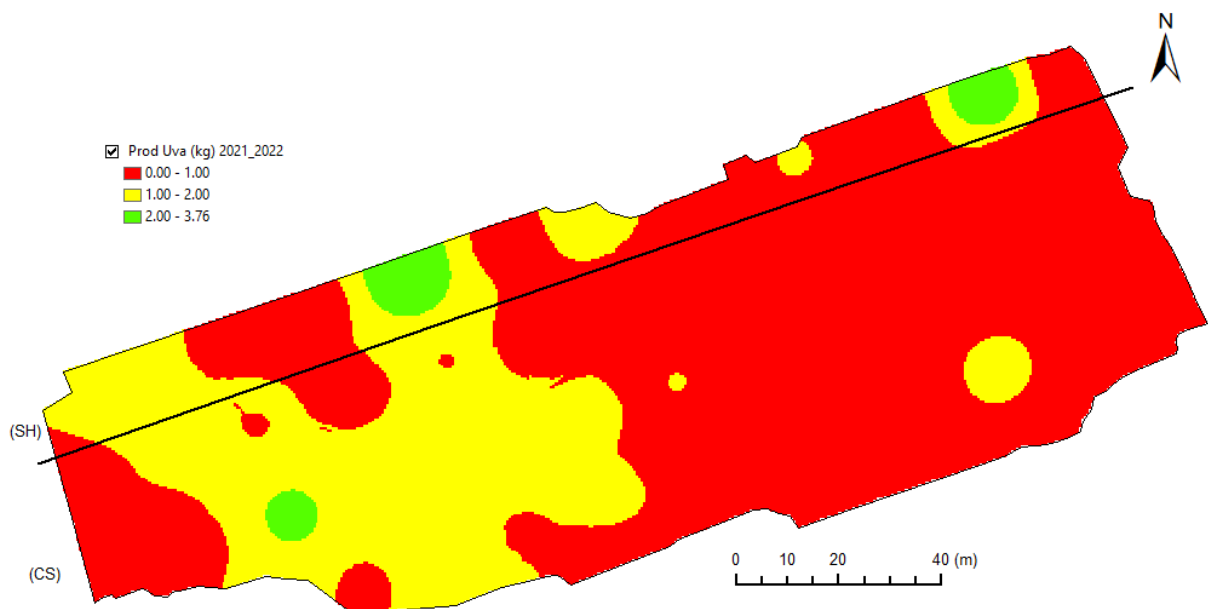
Figura 22 - Variabilidade da produtividade (absoluta [a] e classificada [b]) de videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos pela ponderação do inverso da distância ao quadrado, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2022.



Com dados de produtividade obtidos (anos 2021 e 2022) foi possível verificar a variabilidade espacial da produtividade acumuladas neste dois anos. Foi observada um ampla área na qual a produtividade não ultrapassou 1 kg de frutas por ponto amostral neste período (Figura 23). Esta zona chama a atenção por sua expressividade, 0,8484 ha correspondente à 66,22 % da área, para a qual deve ser

dada especial atenção à reposição de plantas, ao manejo e à verificação da relação da diferenciação das gemas para estruturas vegetativas e reprodutivas, o que pode estar associada a condições hormonais nas videiras. Segundo Bramley e Proffitt (1999), com base em mapas da variação de produtividade é possível perceber diferenças entre parcelas dentro de um vinhedo, como demonstrado neste estudo.

Figura 23 - Variabilidade da produtividade acumulada (2021/2022) para videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e *Cabernet Sauvignon* (CS) obtido pela ponderação do inverso da distância ao quadrado, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2022.



Ainda foi observado que produtividade de uvas por ponto amostral acumulada (2021/2022) apresentou as maiores correlações de Spearman com os valores médios dos IV MPRI e Red/Green, respectivamente com valores de 0,67 e -0,66, moderadas correlações (FERREIRA, 2014) (Tabela 5). Esta constatação foi interessante, pois o IV mais utilizado na agricultura de precisão é o NDVI, e por consequência a maioria dos trabalhos com videiras tem utilizado este índice, tanto por sensoriamento remoto orbital, su-orbital e proximal (JUNGES et al., 2017; FORMAGGIO e SANCHES, 2017; PEREIRA, 2022). Desta forma, os IV MPRI e Red/Green se apresentam como alternativas interessantes para aplicação em agricultura de Precisão.

Tabela 5 – Correlação de Spearman índices de vegetação (15 nov. 2021) e produtividade de videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz e Cabernet Sauvignon, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – anos 2021 e 2022.

Variáveis	Prod Uva (kg) 2021	Prod Uva (kg) 2022	Prod Uva (kg) Acum
Prod Uva (kg) 2021	1		
Prod Uva (kg) 2022	0.26	1	
Prod Uva (kg) Acum	0.80	0.65	1
NDVI_{Mn}	0.28	-0.01	0.25
NDVI_{Mx}	0.33	0.37	0.55
NDVI_M	0.46	0.33	0.61
NDRE_{Mn}	-0.18	-0.40	-0.39
NDRE_{Mx}	0.14	-0.10	0.11
NDRE_M	-0.15	-0.31	-0.27
MPRI_{Mn}	0.27	0.14	0.37
MPRI_{Mx}	0.35	0.49	0.61
MPRI_M	0.44	0.44	0.67
NDWI_{Mn}	-0.20	-0.11	-0.25
NDWI_{Mx}	0.07	0.28	0.31
NDWI_M	-0.05	0.15	0.06
PSRI_{Mn}	-0.32	-0.34	-0.56
PSRI_{Mx}	-0.23	-0.09	-0.30
PSRI_M	-0.34	-0.42	-0.58
RED/GREEN_{Mn}	-0.34	-0.49	-0.61
RED/GREEN_{Mx}	-0.22	-0.07	-0.25
RED/GREEN_M	-0.44	-0.42	-0.66

Legenda: Prod – produtividade de uva (kg) por ponto amostral; Acum – Acumulada; Mn – Valor mínimo, Mx – Valor máximo, M – valor médio; Valores em vermelho são correlações significantes ($p < 0,05$).

O MPRI é o índice de vegetação fotossintético modificado, que requer as bandas do verde e do vermelho, ao invés da relação entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo. Tendo a vantagem de utilizar bandas presentes em sensores RGB, multiespectrais, além de outros. Este IV foi desenvolvido por Yang et al. (2008), que buscavam criar um novo índice que realçasse a cobertura verde da vegetação na região do espectro do visível, onde é possível observar que a relação

existente entre as bandas da região do verde e do vermelho é similar à relação existente entre as bandas do infravermelho e do vermelho.

O MPRI vem sendo utilizado para algumas culturas, Li e Li (2014) avaliaram o MPRI no rendimento do trigo no inverno e encontraram uma correlação aceitável com um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,76. Gonçalves et al. (2017) utilizaram o MPRI para demonstrar a variabilidade espacial e temporal em cultivo de grama São Carlos (*Axonopus affinis*).

O MPRI nas videiras *Shiraz* e *Cabernet Sauvignon* do projeto piloto apresentou valores que variaram de -0,09 a 0,71 (Tabela 3), mas quando considerado o mosaico deste IV recortado pelo limite da gleba, a variação foi de -1 a 1, para a data de 15 de novembro de 2021 (Figura 17.c), considerando as respostas espectrais de outros objetos tais como, sombra, plantas espontâneas e solo exposto. Em 2022, quando determinado pelo espectrorradiômetro, a variação foi entre 0,41 a 0,56. Para solo exposto Gonçalves et al. (2017) observaram valores de MPRI variando de -0,08 a -0,18, com média de -0,15. No pomar de videiras o MPRI relacionado ao solo exposto também apresentou valores negativos. Estas manchas foram evidentes em todos os IV utilizados, e a princípio, representam regiões de baixa capacidade de retenção de água no solo, o que pode ocasionar menor vigor vegetativo e baixa produtividade.

O IV da razão simples Red/Green é uma medida de reflectância que indica a expressão relativa da vermelhidão foliar causada pela antocianina em relação à clorofila. Tem sido usado para estimar a evolução do desenvolvimento foliar nos dosséis da vegetação. É considerado um indicador de produção de folhas e estresse, podendo também indicar floração em algumas espécies. Suas aplicações incluem estudos do ciclo de crescimento de plantas (fenologia), detecção de estresse no dossel e previsão do rendimento da cultura (GAMON e SURFUS, 1999).

O valor desse índice varia de 0,1 a mais de 8, sendo que o mesmo é IV obtido por razão simples, sendo a faixa correspondente à vegetação verde variando de 0,7 a 3 (GAMON e SURFUS, 1999). Para videira, no projeto piloto em novembro de 2021, seus valores mínimo e máximo foram de, respectivamente, 0,17 a 1,27. Já no mosaico do IV obtido em 2021, contendo sombra, plantas espontâneas e solo exposto, seu valor valor de 0,12 a 2,01 (Figura 18.c). Já em 2022, quando determinado pelo espectrorradiômetro em folhas maduras das videiras, seu valor

variou de 0,28 a 0,41. Jiménez-Brenes et al. (2019) utilizaram este IV para a detecção automática de *Cynodon dactylon* (L.) Pers., um gramínea espontânea chamada *bermudagrass*, que ocorre em vinhedos na Espanha.

Em 2022, o IV foram obtidos com o espectrorradiômetro FieldSpec Hand Held 2 VNIR ASD, com o sensoriamento proximal de folhas maduras de videiras expostas ao sol, de maneira pontual, lateralmente aos dois lados da espaldeira. Os dados obtidos (Tabela 6) mostraram-se com diferentes amplitudes e variabilidade em relação aos obtidos em 2021 (sensor multiespectral embarcado em ARP), na amostras de videria que abrangiam a planta como um todo. Possivelmente esta seja uma das causas da diferença, uma vez que com o espectrorradiômetro os dados foram obtidos em posições específica na parte aérea, não recobrando as plantas como um todo, além da diferença entre os sensores (proximal e sub-orbital).

Tabela 6 – Estatística descritiva para os índices de vegetação (26 nov. 2022), obtidos com espectrorradiômetro, em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz e Cabernet Sauvignon, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – anos 2021 e 2022.

IV	M	EPM	Md	Mo	S	S ²	CV%	C	A	Mín	Máx	NC (95%)
NDVI	0.91	0.003	0.91	Amodal	0.02	0.0004	2.21	2.18	-1.21	0.83	0.94	0.01
NDRE	0.38	0.006	0.38	Amodal	0.04	0.0018	11.41	-0.12	-0.63	0.28	0.45	0.01
MPRI	0.49	0.005	0.49	Amodal	0.03	0.0011	6.83	-0.21	0.10	0.42	0.56	0.01
NDWI	-0.75	0.006	-0.76	Amodal	0.04	0.0018	-5.58	0.55	0.99	-0.81	-0.64	0.01
PSRI	-0.21	0.003	-0.20	Amodal	0.02	0.0004	-9.71	2.57	-1.19	-0.27	-0.17	0.01
R/G	0.34	0.004	0.35	Amodal	0.03	0.0009	8.75	-0.19	0.01	0.28	0.41	0.01

Legenda: IV – índices de vegetação; Mn – valor mínimo; Mx – valor máximo, M – média; Md – mediana; Mo – moda; S – desvio padrão; S² – variância amostral; CV% - coeficiente de variação; C – curtose; A – assimetria; Mn/Mín – valor mínimo; Mx/Máx – valor máximo; NC (95%) – nível de confiança.

A maior correlação observada entre produtividade de uva acumulada foi com o IV NDRE, com valor de 0,30, considerada fraca correlação (FERREIRA, 2014). Já para 2022 nenhum IV apresentou correlação significativa, e para 2021 as maiores correlações foram com os IV NDRE (0,29) e NDWI (-0,29) (Tabela 7).

Tabela 7 – Correlação de Spearman entre índices de vegetação (26 nov. 2022), obtidos com espectrorradiômetro, e produtividade de videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz e Cabernet Sauvignon, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – anos 2021 e 2022.

Variáveis	Prod_uva21	Prod_uva22	Prod Uva (kg) Ac
Prod_uva21	1		
Prod_uva22	0.26	1	
Prod Uva (kg) Ac	0.80	0.65	1
NDVI	0.27	0.10	0.26
NDRE	0.29	0.18	0.30
MPRI	0.04	0.19	0.18
NDWI	-0.29	-0.13	-0.28
PSRI	0.17	-0.07	0.07
R/G	-0.04	-0.19	-0.18

Legenda: Prod – produtividade em kg; Ac – acumulada; Correlações destacadas em vermelho foram significantes ($p < 0,05$); Correlações destacadas em azul e amarelo foram significativas e possuem relação com a produtividade

Estas correlações foram menores em relação as observadas com os IV gerados com as imagens multiespectrais do sensor embarcado na ARP, que mostraram-se mais eficientes para expressar a relação entre IV (vigor) e produtividade. Estes IV foram obtidos na planta como um todo, incluindo o crescimento de ramos e folhas do período atual como um todo, em diferentes estádios de evolução/crescimento, o que possivelmente explica a melhor resposta dos IV obtidos com sensor multiespectral embarcado em ARP.

Em comparação entre sensores proximais e sub-orbitais Carvalho (2019) obteve resultado semelhante, em estudo realizado na cultura do milho, no qual o sensor multiespectral Micasense Parrot Sequóia embarcado em ARP foi considerada a melhor opção para o monitoramento do estado nutricional da cultura (teor de N absorvido pela planta) expressos pelos IV, em relação ao sensor proximal Optrx ACS 430 (Ag Leader), sendo o diferencial a maior quantidade e melhor disposição de dados na cultura de interesse pela plataforma sub-orbital.

O índice de vegetação da borda do vermelho (NDRE), ou do vermelho limítrofe, é muito utilizado na agricultura de precisão pois é um substituto ao NDVI, quando este estiver saturado. A saturação do NDVI é relacionada a alta absorção e baixa reflexão da banda do vermelho, tendo como consequência a perda da capacidade de diferenciar o vigor da cultura. Isso ocorre em função da quantidade

de biomassa, do alto índice de área foliar, da relativa homogeneidade do dossel das culturas ao longo da área de cultivo. A maior parte dessa absorção da banda do vermelho ocorre no dossel, fazendo com que os valores de NDVI se elevem e se aproximem de 1, estagnando nesta faixa de valores, logo não capturando a variabilidade de vigor ainda existente na vegetação/cultura (FORMAGGIO e SANCHES, 2017; AMARAL et al., 2021).

O NDRE utiliza a banda da borda do vermelho (em torno de 700 nm), que se relaciona ao teor de clorofila nas plantas e não sofre alta absorção no dossel vegetativo, interagindo com o estratos de vegetação abaixo do dossel, sendo adequado para monitorar vegetação/cultivos em estágios de maturação (FORMAGGIO e SANCHES, 2017; AMARAL et al., 2021). É utilizado para detectar a presença de cobertura vegetal, vigor vegetativo das culturas, monitoramento da evolução das culturas ao longo do ciclo produtivo e do estatus nutricional de plantas, possibilita também associar o acúmulo de biomassa com a produtividade das culturas (BARNES et al., 2000; LIMA et al., 2013; KLERING et al., 2016).

Em vinhedo irrigado Perreira (2022) observou que o NDRE suborbital variou de 0,24 a 0,39, sendo este o IV que obteve as melhores correlações com parâmetros hídricos de videiras (Teor Relativo de Água – TRA% e Condutância Estomática) e com a Clorofila Total. As correlações foram de magnitudes positivas, assim, à medida em que aumenta o vigor do NDRE há uma ampliação do conteúdo hídrico absorvido pelas raízes e transportado pelo xilema. Os autores observaram correlação positiva entre NDRE e TRA%, com valor de 0,66. Desta forma, ocorre maior hidratação foliar e, conforme decorre a redução do NDRE, há diminuição na disponibilidade hídrica. Esta constatação pode auxiliar no entendimento do comportamento do NDRE e na queda de produtividade frente à restrição hídrica observada no período de 2020 a 2022, devido o efeito da *La ninha*.

Neste sentido, o Índice de Diferença Normalizada para Água (NDWI) também pode ter sido sensível a esta condição. O NDWI foi desenvolvido por McFeeters (1996) para realçar as massas de água presentes na paisagem, sendo utilizado atualmente para detectar mudanças no teor de água, sendo sensível às estruturas construídas. Faz uso das bandas do verde e do infravermelho próximo e seus valores variam de -1 a 1. As massas de água correspondem aos valores de 0 a 1, e a vegetação de -1 a 0, sendo a vegetação

menos densa, com plantas gramíneas, solo exposto e úmido valores de -0,55 a 0, e a variação vegetação mais adensadas à a vegetação florestal de -1 a -0,55 (BRENNER e GUASSELLI, 2015). Em 2021, com o NDWI obtido como o sensor multiespectral embarcado em ARP, as videiras apresentaram valores variando de -0,52 a 0,21. Houve correlação significativa com a produção acumulada de uva, com valor de 0,31 ($p < 0,05$). Já em 2022, com o espectrorradiômetro, houve correlação significativa do NDWI com a produtividade do ano de 2021, com valor de -0,29 ($p < 0,05$).

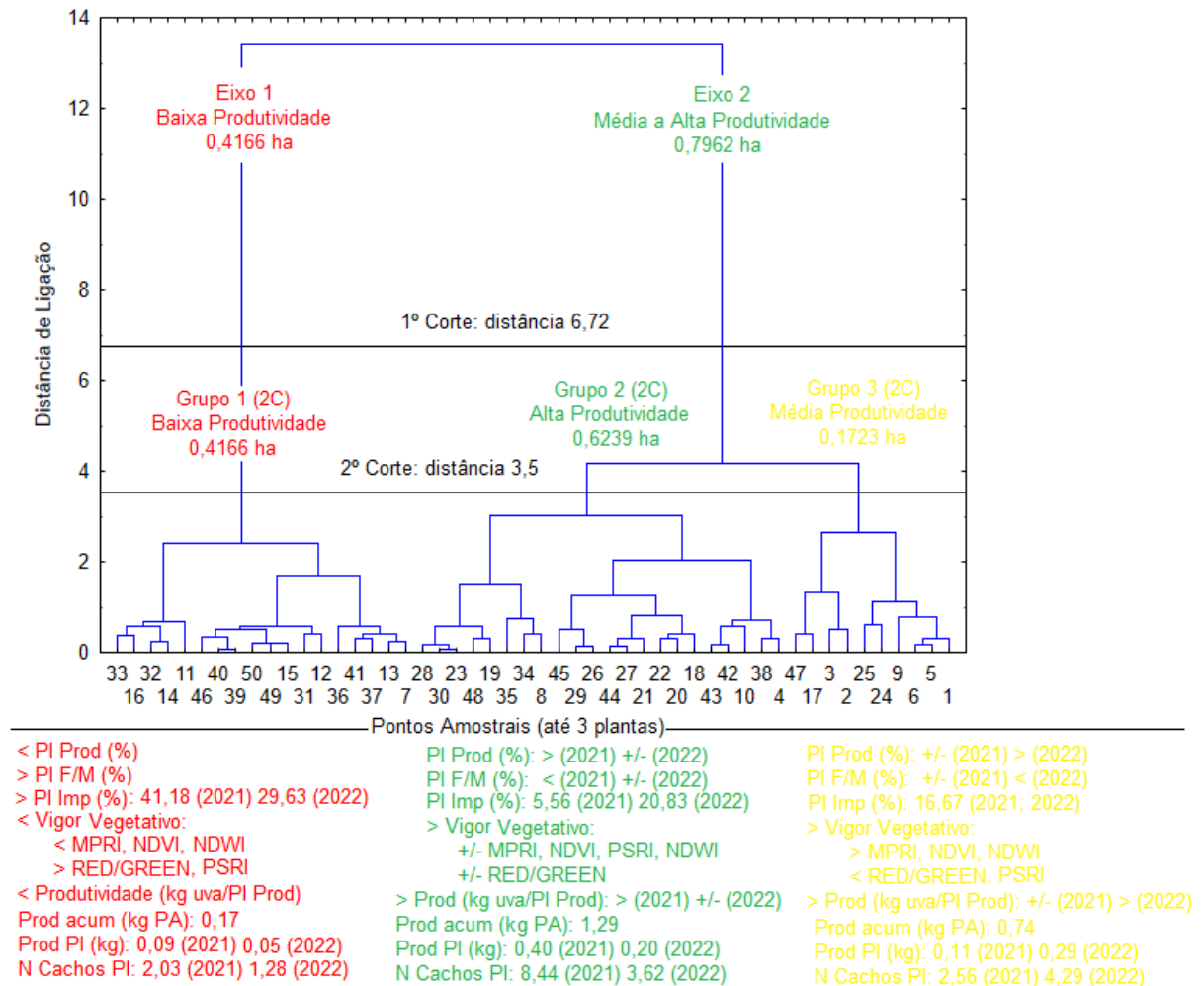
4.3 MAPAS DE ZONAS DE PRODUTIVIDADE COM BASE EM ANÁLISE MULTIVARIADA

A grande heterogeneidade e alta variabilidade obtidas nos atributos de videira e sua correlação moderada a baixa com os IV dificultou a análise isolada da variáveis e a obtenção de maior entendimento sobre o comportamento dos dados, do ponto de vista espacial, pois do ponto de vista agrônômico prevalece o cenário de perda de vigor e queda de produtividade do vinhedo, processo este, possivelmente, mais intensificado em períodos de adversidades climáticas.

Para isso auxiliar na busca por ambientes mais similares dentro do vinho foi empregada a Análise de Agrupamentos Hierárquicos – *Cluster* (VICINI et al., 2018; MANLEY e ALBERTO, 2019), que agrupa objetos similares entre si, formando grupos grupos homogêneos internamente e distintos entre si. Os objetos, em nosso caso, foram os 50 pontos amostrais, o agrupamento é formado a partir da variabilidade presente em cada atributo que descreve e qualifica os mesmos, em nosso caso os descritores foram as taxas de ocorrência de plantas, a produtividade, os IV, dentre outros variáveis obtidas entre 2021 e 2022 na área do projeto piloto de implantação de viticultura de precisão na Vinícola Velho Amâncio.

O dendrograma obtido (Figura 24) apresentou 3 grupos formados após o segundo corte, que é realizado a critério do pesquisador, sendo o primeiro corte realizado na distância de 6,72, uma vez que é realizado na metade da distância que separa os dois objetos mais dissimilares. Estes objetos foram os pontos amostrais 1 e 33, separados por uma distância de ligação de 13,43. Já os pontos amostrais mais similares foram 39 e 40, com uma distância de ligação de 0,07.

Figura 24 - Análise de Cluster para pontos amostrais com base em atributos de plantas, índices de vegetação e produtividade de videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) na Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – (2021/2022).



Legenda: PL Prod (%) – taxa de ocorrência de plantas produtivas; PL F/M (%) - taxa de ocorrência de plantas improdutivoas, falhas/mortas; Prod acum (kg) – produção de uva acumulada (2021/2022) em kg; PA – ponto amostral; N – número; PI – planta (videira)

Segundo a formação dos grupos após o segundo corte, o grupo 1 reuniu os pontos amostrais de menor produtividade e vigor vegetativo. Já o grupo 2 e 3 reuniram os pontos amostrais com as maiores produtividade e menor vigor vegetativo em relação ao pontos do grupo 1 (Tabela 8).

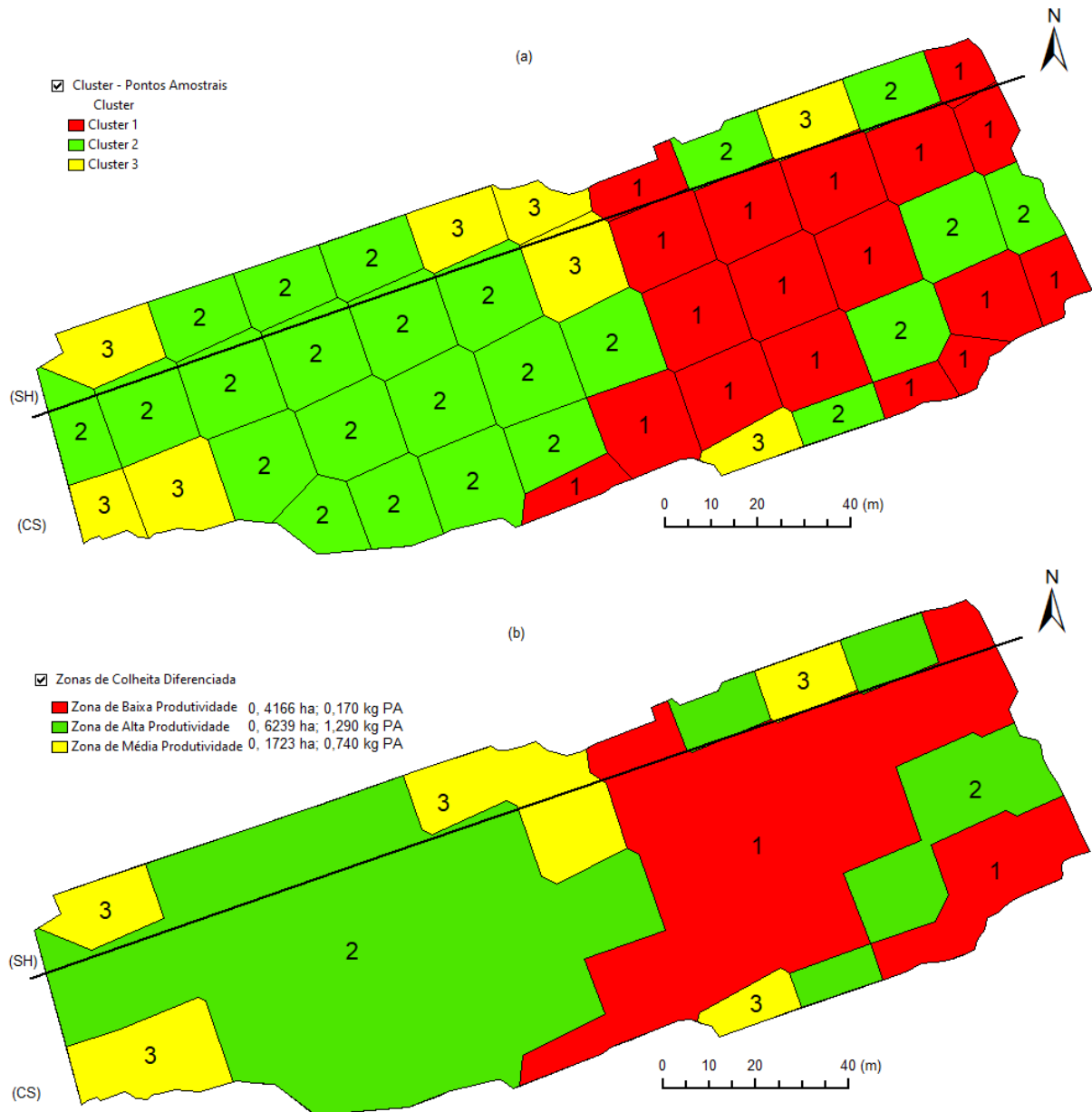
Tabela 8 – Características das zonas de produtividade (clusters) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) na Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – (2021/2022).

Variáveis	ZONAS (Valores Médios)		
	1	2	3
Prod Uva (kg PA) Ac	0.17	1.29	0.74
Prod Uva PA (Kg) 2021	0.11	0.99	0.14
Prod Uva PA (Kg) 2022	0.06	0.30	0.60
PI Prod (%) 2021	22.22	84.72	25.00
PI Imp (%) 2021	41.18	5.56	16.67
Falha/Morta (%) 2021	37.04	11.11	58.33
Cachos PI 2021	2.03	8.44	2.56
Prod uva PI (kg) 2021	0.09	0.40	0.11
PI F/M (%) 2021	77.78	15.28	75.00
MPRI _M	0.30	0.46	0.48
RED/GREEN _M	0.56	0.38	0.37
NDVI _M	0.43	0.53	0.54
PSRI _M	-0.38	-0.53	-0.55
NDWI _{Mx}	-0.06	0.02	0.05
TRC(%)	30.87	31.88	22.29
PI Prod (%) 2022	16.67	54.17	70.83
PI Imp (%) 2022	29.63	20.83	16.67
Falha/Morta (%) 2022	53.70	25.00	12.50
Cachos PI 2022	1.28	3.62	4.29
Prod uva PI (kg) 2022	0.05	0.20	0.29
PI F/M (%) 2022	83.33	45.83	29.17
NDRE	0.37	0.38	0.38

Legenda: PL Prod (%) – taxa de ocorrência de plantas produtivas; PL F/M (%) - taxa de ocorrência de plantas improdutivas, falhas/mortas; Prod acum (kg) – produção de uva acumulada (2021/2022) em kg; PA – ponto amostral; N – número; PI – planta (videira)

No SIG as áreas de influências dos pontos amostrais foram utilizadas para constituir as zonas de produtividade 1 – baixa produtividade (grupo 1), 2 – alta produtividade (grupo 2) e 3 – média produtividade (grupo 3), com áreas, respectivamente, de 0,4166; 0,6239 e 0,1723 ha (Figura 25). Nestas zonas a produtividade acumulada (2021/2022) foi respectivamente de 0, 170; 1,29 e 0,740 kg por ponto amostral (com até 3 plantas).

Figura 25 - Agrupamentos dos pontos amostrais - clusters (a) e proposta de zonas de produtividade (b) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) na Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – (2021/2022).



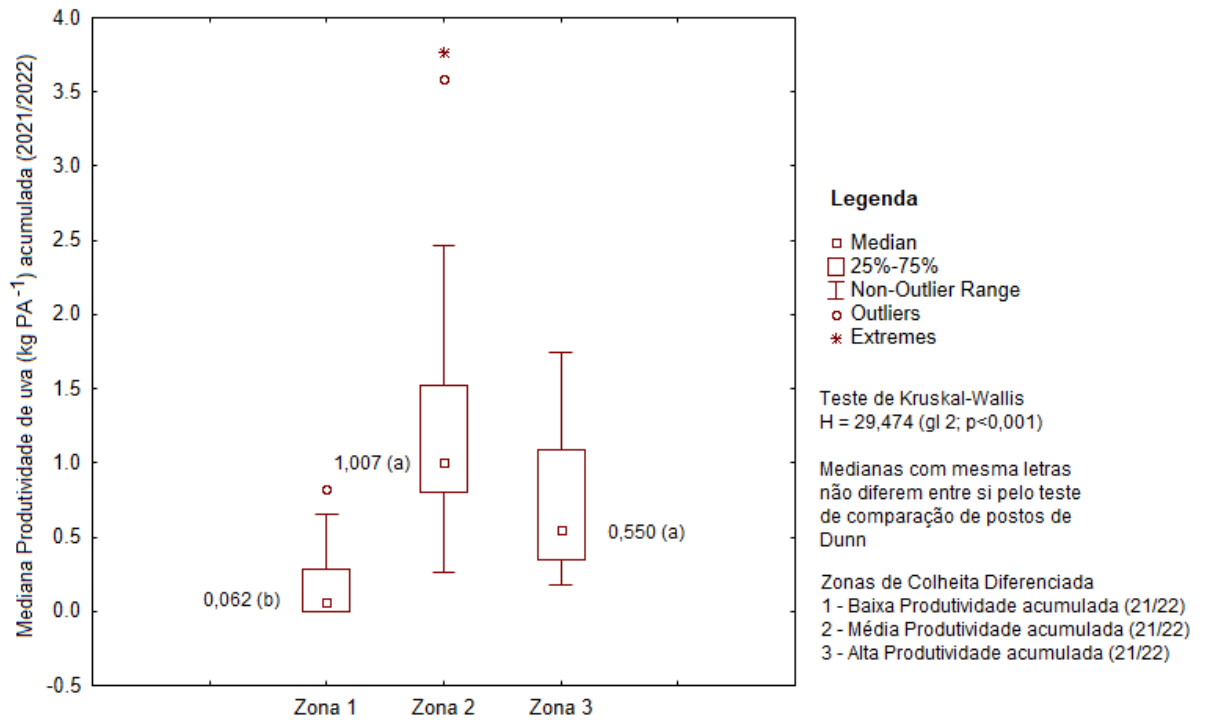
Na zona 1, a de baixa produtividade, houve diminuição da taxa de plantas improdutivas de 41,18% em 2021 para 29,63% em 2022. Contudo, isso não foi suficiente para elevar a produtividade por planta, que também caiu de 0,09 kg de uva por planta para 0,05 kg de uva por planta, 55,56% de redução, muito por conta do aumento da taxa de plantas falhas/mortas e diminuição das plantas produtivas.

Na zona 2, a de alta produtividade, houve queda nas taxas de plantas produtivas, de 84,72% em 2021 para 54,17% em 2022 e aumento das taxas de plantas improdutivas e falhas/mortas. Houve redução de 50% na produtividade por plantas de 2021 para 2022, de 0,40 para 0,20 kg uva por planta.

Já na zona 3, a média produtividade, houve um aumento da taxa de plantas produtivas de 25% em 2021 para 70,83% em 2022, a taxa de plantas improdutivas foi estável em 16,67% e houve redução na taxa de plantas falhas/mortas de 58,33% em 2021 para 12,50% em 2022. A produtividade por planta aumentou de 0,110 kg uva por planta em 2021 para 0,290 kg uva por planta em 2022. Com isso, mantendo-se um cenário de restrição hídrica, há maior possibilidade de pontos da zona de alta produtividade migrarem para a zona de baixa, pois o comportamento das plantas desta duas zonas é o de redução de produtividade, divergindo do comportamento das plantas contidas na zona 3.

A ANOVA por ranqueamento mostrou que a produtividade acumulada de uvas (2021/2022) possui diferença estatística significativa entre os pontos. O teste de Kruskal-Wallis apresentou H de 29,474 (2 gl; $p < 0,001$). A comparação de postos pelo método de Dunn mostrou que a mediana da produtividade acumulada de uva (2021/2022) das zonas de produtividade 2, 3 foram semelhantes entre si e superiores à da zona 1 (Figura 26). Aparentemente esta sugestão de zoneamento é atrativa para a continuidade dos trabalhos no projeto de implantação de viticultura de precisão. Porém, a mesma deve ser correlacionada com os mapas de variabilidade de fertilidade do solo gerados por Silva (2023), e ainda com dados de colheita de ciclos fora do período de influência da La Nina, acrescido de parâmetros de qualidade da fruta e do vinho.

Figura 26 – Comparação de pontos para a produtividade acumulada de uva nas zonas de produtividade em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) na Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – (2021/2022).



5 CONCLUSÕES

Os dados obtidos para o projeto piloto de viticultura de precisão na Vinícola Velho Amâncio demonstraram haver grande variabilidade e heterogeneidade no pomar de videiras *Shiraz* e *Cabernet Sauvignon*. Nos anos de 2021 e 2022 foi observada uma significativa redução de produtividade, associada à altas taxas de ocorrência de plantas improdutivas e falhas/mortas, mediana de 66,67%.

Aproximadamente 66% da área do pomar apresentou produtividade acumulada que obteve valores de até apenas 1 kg de uva por ponto amostral (com ocorrência de até 3 plantas produtivas por ponto). Foi possível gerar a variabilidade espacial desta variável, sendo obtidas três zonas de produtividade.

MPRI (0,67) e Red/Green (-0,66), obtidos com o sensor multiespectral RedEdge-MX embarcado na ARP Phantom 4 em 2021, foram os IV que apresentaram as maiores correlações com a produtividade de uva acumulada (2021 e 2022), com seus valores médios. Já para os IV obtidos com o espectrorradiômetro FieldSpec Hand Held 2 VNIR ASD em 2022, a maior correlação foi obtida com o NDRE (0,30) para a produtividade acumulada de uvas.

A análise de cluster permitiu a geração das zonas de produtividade, através da análise conjunta das principais variáveis observadas na pesquisa. Esta é uma proposta, que deve ser avaliada pelos gestores da Vinícola Velho Amâncio para ser utilizada como referência para manejos futuros do vinhedo do projeto piloto.

Os dados sugerem que o vinhedo está em declínio. Recomenda-se a reposição de plantas, considerando a possibilidade de utilizar outro porta-enxerto, que suporte período de restrição hídrica e alta temperaturas. O manejo deve verificar a diferenciação de gemas reprodutivas e vegetativas, a fim de reduzir o número de plantas improdutivas. Recomenda-se também que a pesquisa continue sendo realizada, a fim de obter estabilidade na variabilidade dos dados e capturar respostas das ações futuras de intervenções no vinhedo.

Os objetivos desta dissertação foram atendidos, ao descrever a variabilidade espacial das videiras (vegetação) de maneira exploratória e gerar algumas propostas de delimitação de zonas de produtividade ou de ambientes para fases futuras do projeto de implantação da viticultura de precisão na Vinícola Velho Amâncio.

REFERÊNCIAS

AASEN, H. et al. **Generating 3D hyperspectral information with lightweight UAV snapshot cameras for vegetation monitoring**: From camera calibration to quality assurance. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 108, p. 245–259, 2015.

ALBERT, A. Z. **Syrah/Shiraz**: uma mesma uva no velho e no novo mundo. 2004. Disponível em: <<http://winexperts.terra.com.br/arquivos/varietais04.html>>. Acesso em: 14 fev. 2022.

ÁLVARES CA, STAPE JL, SENTELHAS PC, DE MORAES GONÇALVES JL, SPAROVEK G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*.2013, 22 (6), 711-728.

AMARAL, A. M.; MUNIZ, J. A.; SOUZA, M. **Avaliação do coeficiente de variação como medida da precisão na Experimentação com citros**. EMBRAPA DIGITAL. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/47155/1/AVALIACAO-DO-COEFICIENTE-DE-VARIACAO-COMO-MEDIDA-DA-PRECISAO.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2023.

AMARAL, L. P. et al. Índice de reflectância de senescência de plantas em videira. 2022. **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO**, Anais do ..., 2022.

AMARAL, L. R. et al. Aplicações de drones na agricultura. 2021, p.80-96. In: QUEIROZ, D. M. et al. (Org.). **Agricultura Digital**. 2 ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2021, 223p.

AMARANTE, C. V. T. et al. Quantificação da área foliar e do teor de clorofilas em folhas de plantas jovens de videira 'Cabernet Sauvignon' mediante métodos não destrutivos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 680-686, 2009.

ANDERSON, K.; GASTON, K. J. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 11, n. 3, p. 138-146, 2013.

ANDRADE, R. C. et al. **Uso de veículo aéreo não tripulado como plataforma para monitoramento da produção agropecuária**: estudo de caso para o milho forrageiro. Documentos 233. EMBRAPA GADO DE LEITE: Juiz de Fora, 2019, 20 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENOLOGIA, ABE. Safra 2021 – **Colheita de uva deve passar de 800 mil toneladas no RS**. Disponível em: < <https://www.enologia.org.br/noticia/safra-2021-colheita-da-uva-deve-passar-de-800-mil-toneladas-no-rs> >. Acesso em 25 jan. 2022.

AUBERT, B.; SCHROEDER, A.; GRIMAUDO, J. It as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. **Decision Support Systems**, v. 54, p.510-520, 2011.

BERNARDI, A. C. C. et al. **Agricultura de Precisão** – Resultados de um novo olhar. Brasília: EMBRAPA, 2014, 596 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/instrumentacao/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1002959/agricultura-de-precisao-resultados-de-um-novo-olhar>. Acesso em 10 set. 2022.

BOMBÍN, J. Y. Viticultura de precisión: Introducción y objetivos. Viticultura de precisión, 8., Encuentro Técnico, Madrid, 2013. p.17-25. **Anais**, Madrid: Fundación para la cultura del vino. 2013. Disponível em: <http://www.culturadelvino.org/mobile/actividades/pdf/encuentros/encuentro_2013.pdf>. Acesso em 10 nov. 2022.

BONILLA, I.; MARTÍNEZ, T. F.; MARTÍNEZ-CASANOVAS, J. A. Vine vigor, yield and grape quality assessment by airboe remote sensing over three years: analysis of unexpected relationships in cv. Tempranillo. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 13, n. 2, p.1-8, 2015. DOI: 10.5424/sjar/2015132-7809.

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.

BRAGA, R. **Viticultura de Precisão**. Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola. Associação de Jovens Agricultores de Portugal: Lisboa, 2009, 84 p.

BRASIL. **Agricultura de Precisão**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Brasília: Mapa/ACS, 2014, 21 p. (Agenda Estratégica 2014-2030). Disponível em: < http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agricultura-Precisao/Agenda%20Estrat%C3%A9gica%20do%20setor%20de%20Agricultura%20de%20Precis%C3%A3o.pdf >. Acesso 23 nov. 2022.

BREDEMEIER, C.; VIAN, A. L.; PIRES, J. L. F. Aplicação de nitrogênio em tempo real: modelos de e aplicações. In: SANTI, A. L.; GIOTTO, E.; SEBEM, E.; AMADO, T. J. C. **Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul**. CESPOL Publicações: Santa Maria, 2016, 309 p.

BUCCI, G.; BENTIVOGLIO, D.; FINCO, A. Factors affecting ICT adoption in Agriculture: a case study in Italy. **Quality - Access to Success**. v. 20, n S2, p.122-129, 2019.

CASS, A. Viticultura de precisión: Introducción y objetivos Viticultura de Precisión. In: Viticultura de precisión, 8. Madrid. **Anais ...**. Madrid: Fundación para la Cultura del Vino, 2013. Disponível em: http://culturadelvino.org/fcv/wp-content/uploads/pdf/encuentros/encuentro_2013.pdf. Acesso em: 14 fev. 2021.

CASTLE, M. H.; LUBBEN, B. D.; LUCK, J. D. Factors Influencing the Adoption of Precision Agriculture Technologies by Nebraska Producers. **Presentations, Working Papers, and Gray Literature: Agricultural Economics**. 49. 2016. <http://digitalcommons.unl.edu/ageconworkpap/49>

CASTRO JORGE, L. A.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.;

RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de Precisão: resultado de um novo olhar**. Brasília: EMBRAPA, 2014. 596 p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114264/1/CAP-8.pdf>>. Acesso em: 05 fev 2022.

CARVALHO, L. F. D. **Índices de vegetação de dossel obtidos por sensoriamento proximal e embarcado em aeronave remotamente pilotada e sua relação com a produtividade**. 2019. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019, 91p.

CHAMPAGNOL, F. **Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture général**. Montpellier: Dehan, 1984. 351p.

COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 92, p. 79–97, 2014.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 3, n. 1, p. 39-45, 1991.

ERTHAL, G. M. S. **Adoção da Viticultura de Precisão no Vale dos Vinhedos – Rio Grande do Sul**. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018, 104 p.

ERTHAL, G. M. S. Diagnóstico da adoção da viticultura de precisão no Vale dos Vinhedos – Rio Grande do Sul. **Tecno-lógica**, v. 22, n. 2, p. 174-186, 2018.

ESSER, A. A. **Aplicaciones de la viticultura de precisión en Chile**. Trabajo de finalización del curso (Graduación en Agronomía) - Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. 2002. 26 p.

De CASTRO, A. I.; SHI, Y.; MAJA, J. M.; PEÑA, J. M.; UAVs for vegetation monitoring: Overview and recent scientific contributions. **Remote Sensing**, v. 13, p. 2139, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13112139>

DIAS, F. A. N. et al. Videira 'Syrah' sobre diferentes porta-enxertos em ciclo de inverno no sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 47, n. 2, p. 208-215, 2012.

DUSSEUX, P. et al. Evaluation of SPOT imagery for the estimation of grassland biomass. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 38, p. 72-77, 2015.

FARIAS, E. V. S. et al. Efeito da carga de gemas no índice SPAD da videira Sauvignon Blanc (*Vitis vinifera* L.) em região de altitude de Santa Catarina. SIMPÓSIO DE FRUTICULTURA DA REGIÃO SUL, 3, 2022. **Anais do ...**, 2022.

FARINASSI, L. G. et al. Diferentes métodos de sensoriamento proximal do dossel de videiras promovem divergências no mapeamento do índices de vegetação. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2022. **Anais do ...**, Campinas, 2022.

FRAGALLE, E. **Diferenças na taça motivam produtores a expandir o uso da Agricultura de Precisão nos vinhedos de inverno**. 2022. EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO. Disponível em: <>. Acesso 03 jan 2023.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento Remoto em Agricultura**. São José dos Campos: Oficina de Textos, 2017.

GARRIDO, L. R.; GAVA, R.; CAROLLO L. A. **Podridão-descendente da videira na região sul do Brasil**. Circular Técnica 135. Bento Gonçalves: EMBRAPA, 2017, 10p.

GAMON, J.; J. SURFUS. Assessing Leaf Pigment Content and Activity With a Reflectometer. **New Phytologist**, v. 143, p. 105-117, 1999.

GEBLER, L. et al. Variabilidade espacial do teor relativo de clorofila em videiras na vinícola Velho Amâncio. CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA. **Anais do ...** Florianópolis, p.1125-1128, 2022.

GIOVANNINI, E. **Manual de Viticultura**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

GITELSON, A. A. et al. Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. **Photochemistry and photobiology**, v.74, n.1, 2001, p.38-45. Disponível em: <[https://doi.org/10.1562/0031-8655\(2001\)0740038OPANEO2.0.CO2](https://doi.org/10.1562/0031-8655(2001)0740038OPANEO2.0.CO2)>. Acesso: 29 nov. 2022. DOI: 10.1562/0031-8655(2001)0740038OPANEO2.0.CO2.

GOOVAERTS, P. Geostatistical modeling of uncertainty in soil science. **Geoderma**, v.103, n.1-2, p.3-36, 2001.

GONÇALVES, L. M. et al. Variabilidade espacial e temporal de índice de vegetação MPRI aplicado às imagens de grama São Carlos obtidas por aeronave remotamente pilotada. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 11, n. 4, p. 340-349, 2017.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P.; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de Precisão**: resultado de um novo olhar. Brasília: EMBRAPA, 2014. 596 p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114264/1/CAP-8.pdf>>. Acesso em: 05 fev 2022.

GUIMARÃES, N. et al. Forestry remote sensing from unmanned aerial vehicles: A review focusing on the data, processing and potentialities. **Remote Sensing**, v. 12, n. 6, p. 1046, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. IBGE PPP: Serviço on-line para pós-processamento de dados GNSS. **Manual de usuário**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020, 62 p.

JIMÉNEZ-BRENES et al. Automatic UAV-based detection of *Cynodon dactylon* for site-specific vineyard management. **PLOS ONE**, v. 14, n. 6, p. 1-21, 2019.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parênteses. 2010, p. 598.

JUNGES, A. H.; FONTANA, D. C.; ANZANELLO, R.; BREMM, C. Normalized difference vegetation index obtained by ground-based remote sensing to characterize vine cycle in Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 5, p. 543-553, 2017.

KAGAMI, F.; COSTA, G.; SOUZA H.; THAME, P. **Ciclo da Agricultura de Precisão**. 2013. [online]. Disponível em: <<http://fatecap.blogspot.pt/2013/03/ciclo-da-agricultura-deprecisao.html>>. Acesso em 20 mar. 2022.

KONICA MINOLTA, INC. **Chlorophyll Meter SPAD-502Plus**. Instruction Manual. BDEDPP: JAPAN, 2009. 22p.

LI, S.; LI, M. Yield estimation of winter wheat in early growth periods by vehicleborne ground-based remote sensing system. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 30, n.3, p. 120-127, 2014.

LOPES, C. M. **Influência do sistema de condução no microclima do coberto, vigor e produtividade da videira (*Vitis vinifera* L.)**. 1994. 205 f. Tese (Doutorado) - Instituto Superior de Agronomia, UTL, Lisboa, 1994. 205p.

LONGLEY, P. A, GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da informação geográfica**. 3 ed., Porto Alegre: Bookman, 2013, 540 p.

LORD, D.; DESJARDINS, R. L.; DUBÉ, P. A. Sun-angle effects on the red and near infrared reflectances of five different crop canopies. **Canadian Journal of Remote Sensing**, Ottawa, v.14, p.46-55, 1988. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1080/07038992.1988.10855118>>. Acesso 12 dez. 2022. doi: 10.1080/07038992.1988.10855118.

MACHADO, J. et al. Agricultura de Precisão e abertura de novas fronteiras no Brasil. **GEAMA Scientific Journal of Environmental Sciences**, v. 4, n. 1, p. 049-053, 2018.

MANLEY, B. F. J.; ALBERTO, J. A. N. **Métodos estatísticos multivariados**: uma introdução. 4 ed., Porto Alegre: Bookman, 2019, 254 p.;

MARQUES DA SILVA, J. R. et al. Viticultura de Precisão. Gestão ótima de fatores de produção em vinha. **Voz do Campo**, p.42-43, 2014.

MATESE, A; Di GENNARIO, S. F. Technology in precision viticulture: a state-of-the-art review. **International Journal of Wine Research**, v. 7, p. 69-81, 2015. DOI: 10.2147/IJWR.S69405

MELLO, I. M. R. de; MACHADO, C. E. **Dados da Vitivinicultura**. Produção 2021. Disponível em: <http://vitibrasil.cnpuv.embrapa.br/index.php?opcao=opt_02&interno=1>. Acesso em 7 jun.2023.

MERZLYAN, M. N et al. Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. **Physiologi Plantarum**, Lund, v. 106, n. 1, p.135-141, 1999.

MICASENSE. **Micasense RedEdge Multispectral Camera TM3**. User Manual. Seattle: Micasense, 2015, 33p.

McFeetrs, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. University of Nebraska-Lincoln, U.S.A, fonte: (<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431169608948714>), 2007.

MIELE, A.; FLORES, C. A.; ALBA, J. M. F. Status atual da pesquisa de viticultura de precisão no Rio Grande do Sul: primeiros resultados da UP uva para vinho. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de Precisão**: resultado de um novo olhar. Brasília: EMBRAPA, 2014. 596 p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114264/1/CAP-8.pdf>>. Acesso em: 05 fev 2022.

MILLER, N et al. Farmers' Adoption Path of Precision Agriculture Technology. **Advances in Animal Biosciences**. V. 8, p.708-712. 2017. DOI: 10.1017/S2040470017000528.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações. 2 ed., São Paulo: Editora da UNESP, 2008, 475 p. MORAES, E. C. **Fundamentos Do Sensoriamento Remoto**. Apostila. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/MCTI). 2015

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. Ed., Viçosa: UFV, 2007. 320 p.

MURISIER, F. M. **Optimisation du rapport feuille-fruit de la vigne pour favoriser la qualité du raisin et l'accumulation des glucides de réserve**. 1996. 132 f. Thèse (doctorat) - École Pol. Fédérale de Zurich, Zurich, 1996.

NEILSEN, D.; HOGUE, E. J.; NEILSEN, G. H.; PARCHOMCHUK, P. Using SPAD-502 values to assess the nitrogen status of apple trees. **HortScience**, Alexandria, v.30, n.3 p.508-512, 1995.

OLDONI, H. **Zonas homogêneas de atributos de planta e do solo em vinhedo irrigado**. 2019. Tese (Doutorado em Agronomia – Irrigação e drenagem), FCA/UNESP, Botucatu, 2019.

PEREIRA, A. J. **Relação entre índices de vegetação e atributos biofísicos do solo e da planta em vinhedo irrigado**. 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Irrigação e drenagem) FCA/UNESP, BOTUCATU, 2022.

POMMER, C. V. **Edição Uva**: tecnologia de produção, pós-colheita, mercado. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003.

PORRO, D.; DORIGATTI, C.; STEFANINI, M.; CESCHINI, A. Use of SPAD meter in diagnosis of nutritional status in apple and grapevine. **Acta Horticulturae**, Leven, n.564, p.243-252, 2001a.

PORRO, D.; BERTAMINI, M.; DORIGATTI, C.; STEFANINI, M.; CESCHINI, A. Lo SPAD nella diagnosi dello stato nutrizionale della vite. **Informatore Agrario**, Verona, v.57, n.26, p.49-55, 2001b.

PROFFITT, T.; BRAMLEY, R.; LAMB, D.; WINTER, E. **Precision viticulture**: a new era in vineyard management and wine production. Ashford: Winetitles, 2006. 90 p.

REGINA, M. de A.; AUDEGUIN, L. Avaliação ecofisiológica de clones de videira cv. *Syrah*. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, p.875-879, 2005.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no Excel**. Guia prático. Viçosa: Editora UFV, 2004. 251 p.

RIZZON, L. A.; MIELE, A. Avaliação da cv. Cabernet Sauvignon para elaboração de vinho tinto. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, p.192-198, 2002.

ROBERTSON, G. P. **GS+**: geostatistics for the environmental sciences. Plainwell: Gamma Design Software, 1998, 152 p..

RUPP, D.; TRANKLE, L.; FOX, R. Non-destructive measurement of chlorophyll in grapes - evaluation of varietal influences and effects of sampling methods.

Mitteilungen Klosterneuburg, Rebe und Wein, Obstbau und Fruechteverwertung, v.49, n.3, p.86-92, 1999.

SAARINEN, N. et al. UAV-based photogrammetric point clouds and hyperspectral imaging for mapping biodiversity indicators in boreal forests. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, v. 42, n. 3W3, p. 171–175, 2017.

SANTOS, M. 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, n.2, p.1-11; 2022. DOI:

SILVA, S. A.; SOUZA LIMA, J. S.; SANTOS, N. T. Análise da variabilidade espacial e temporal. In: QUEIROZ, D. M. et al. (Org.). **Agricultura digital**. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2021, cap. 3, p. 29-41.

SILVA, J. R. **Metodologia para implantação da viticultura de precisão na região de Santa Maria**: fase de prospecção de campo. 2023. 76 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023.

SILVA, L. L. et al. **Utilização de índices de vegetação para gestão da vinha**. 1, Evora: RITECA - Universidade de Evora, 2013, p. 9-12.

SILVEIRA, J. M. **Altura do dossel vegetativo 'Cabernet Sauvignon' no Município de Dom Pedrito – Rio Grande do Sul (RS)**: impacto na produtividade e na qualidade do vinho. 2021. 90 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2021.

SISDEVIN/SDA – Sistema de Cadastro Vinícola - Secretaria Estadual da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural. **Produção de uvas e produtos vinícolas elaborados na safra 2022**, no Estado do Rio Grande do Sul – disponível em :- file:///C:/Users/PC/Downloads/26113534-sisdevin-2022-safra-da-uva-e-producao-vitivinicola-resumo-1-2.pdf. Acesso em 06 jun.2023.

SMART, R. E. Principales of grapewine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality: a review. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.36, n.3, p. 230-239, 1985.

SOARES, A. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006. 214 p.

STEFFEN, C. A. et. al. Técnicas radiométricas com o Spectron SE-590. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v.8, 1996, p.9-14. **Anais do ...**, 1996.

Disponível

em:<<http://marte.sid.inpe.br/attachment.cgi/sid.inpe.br/deise/1999/02.01.11.01/doc/T177.pdf>>. Acesso 20 nov. 2022.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; GIASSON, E. & PINTO, L.F.S. **Solos do RS**. Porto Alegre, Emater/RS, 2008. 222p.

TECCHIO, M . A. et al. Teores foliares de nutrientes, índice relativo de clorofila e teores de nitrato e de potássio na seiva do pecíolo na videira 'Niagara rosada'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 2, p. 649-659, 2011.

TORRES-SÁNCHEZ, J. et al. Configuration and Specifications of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Early Site Specific Weed Management. **PLOS ONE**, v. 8, n. 3, 2013.

VICINI, L.; SOUZA, A. M.; MORALES, F. E. C.; SOUZA, F. M. **Técnicas multivariadas exploratórias**: Teoria e aplicações no software Statística. Santa Maria: Editora UFSM, 2018, 240 p.

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

VINÍCOLA VELHO AMÂNCIO. **Velho Amâncio**. Quem somos. 2022. Disponível em: <<https://velhoamancio.com.br/quem-somos>>. Acesso em 10 dez 2022.

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. **Proceedings...** Minneapolis: University of Minnesota, 1999. p. 897-905.

WINKLER, A. J. et al. **General Viticulture**. 4 ed., Berkley: University of California Press, 1974, 740 p.

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

YANG, Z.; WILLIS, P.; MUELLER, R. Impact of Band-Ratio Enhanced AWIFS Image to Crop Classification Accuracy. In: Pecora - The Future of Land Imaging... Going Operational, 17. 2008, Colorado, USA. **Proceedings**. Maryland: (ASPRS), 2008. Disponível em: <<http://www.asprs.org/a/publications/proceedings/pecora17/0041.pdf>>. Acesso em: 24 de abril de 2022.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência) - Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2001.