



## Análise da variabilidade espacial e zonas de produtividade em vinhedos, no Vale Central Gaúcho

Regiane Aparecida FERREIRA<sup>1\*</sup>, Luiz Felipe Diaz de CARVALHO<sup>1</sup>, Aline de Oliveira FOGAÇA<sup>2</sup>,  
Lúcio de Paula AMARAL<sup>1</sup>, Luciano GEBLER<sup>3</sup>, Telmo Jorge Carneiro AMADO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

<sup>2</sup> Vinícola Velho Amâncio, Itaara, RS, Brasil.

<sup>3</sup> Embrapa Uva e Vinho, Vacaria, RS, Brasil.

\*E-mail: [regiane.ferreira1891@gmail.com](mailto:regiane.ferreira1891@gmail.com)

Submetido em 07/06/2023; Aceito em 20/08/2023; Publicado em 15/09/2023.

**RESUMO:** O objetivo da pesquisa foi analisar a variabilidade espacial em *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) e propor zonas de produtividade (ZP) em vinhedo com 1,3 ha de 21 anos na Vinícola Velho Amâncio. A metodologia envolveu a obtenção em 2020 de ortomosaico com RPA e área em SIG, 2021/22 obteve-se contagens de plantas produtivas (PIP), improdutivo (PII), falhas/mortas (F/M) e cachos de uvas (NCu) em 50 pontos amostrais georreferenciados (PA - três videiras), índices de vegetação com sensores RGB e RedEdge-Mx em RPA e espectrorradiômetro, teor relativo de clorofila com clorofilômetro e estimou-se produtividade (NCu\*peso úmido médio [SH 87,51g; CS 44,11g]). Aplicou-se interpolação, estatística descritiva/box plot, teste de Mann-Whitney ( $p=0,05$ ), correlação de Spearman ( $p=0,05$ ), estatística zonal e áreas de influência dos PA em SIG e análise de cluster para propor ZP. Os resultados apresentaram heterogeneidade e alta variabilidade nos dados, altas taxas de PII, F/M, baixa produtividade em 2021/22. MPRI e RED/GREEN apresentaram correlações moderadas com produtividade acumulada, 0,67 e -0,66 ( $p<0,05$ ). Obteve-se três ZP (baixa, média e alta), respectivamente com 0,170; 0,740; 1,29 kg uva PA<sup>-1</sup> e 0,4166; 0,1723; 0,6239 ha. Os resultados sugerem declínio das videiras e intervenções serão necessárias para aumentar produtividade.

**Palavras-chave:** índices de vegetação; aeronave remotamente pilotada; viticultura de precisão.

## Analysis of spatial variability and zones of productivity in vineyards in the Gaúcho Central Valley

**ABSTRACT:** The objective of the research was to analyze the spatial variability in *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz (SH) and Cabernet Sauvignon (CS) propose productivity zones (ZP) in the vineyard with 1.3 ha of 21 years in the Old Amâncio Winery. The methodology involved obtaining in 2020 orthomosaic with RPA and area in GIS, 2021/22 was obtained counts of productive plants (plp), unproductive (Pli), faults/dead (F/M) and bunches of grapes (NCu) in 50 georeferenced sampling points (PA - three grapevines) vegetation indices with RGB and RedEdge-Mx sensors in RPA and spectroradiometer, relative chlorophyll content with chlorophyll meter and estimated productivity (NCu\*mean wet weight [SH 87.51g; CS 44.11g]). We applied interpolation, descriptive statistics/box Plot, Mann-Whitney test ( $p=0.05$ ), Spearman correlation ( $p=0.05$ ), zonal statistics and areas of influence of PA in GIS and cluster analysis to propose ZP. The results showed heterogeneity and high variability in the data, high rates of Pli, F/M, low productivity in 2021/22. MPRI and RED/GREEN showed moderate correlations with accumulated productivity, 0.67 and -0.66 ( $p<0.05$ ). It obtained three ZP (low, medium and high), respectively with 0.170; 0.740; 1.29 kg grape PA<sup>-1</sup> and 0.4166; 0.1723; 0.6239 ha. The results suggest a decline of the vines and interventions will be necessary to increase productivity.

**Keywords:** vegetation indexes; remotely piloted aircraft; precision viticulture.

### 1. INTRODUÇÃO

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. O Estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor nacional, tendo 122 municípios com áreas de cultivo de

videiras e produção estimada de  $\cong 950$  mil toneladas de uvas (56,05 % da produção nacional) em  $\cong 46.815$  ha (62,51 % da área cultivada no país), produção de 616.321.961 litros de vinho e de outros derivados de uva, com 50 % de aumento em relação a 2020, dos quais 43.474.998 litros foram de vinhos finos (7,05 %), elaborados com *Vitis vinifera* L., e em 2022 47.511.795 litros, aumento de 9,28 %, com produção de 683,8 toneladas de uvas (MELLO; MACHADO, 2022; SISDEVIN/SDA, 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 em diversas regiões do mundo (Braga, 2009; Jiménez-Brenes et al., 2019), a Vinícola Velho Amâncio também começou a experimentar tecnologias de Agricultura de Precisão (AP) por meio do uso de algumas geotecnologias, a exemplo de uso de RPA com sensores RGB e multiespectrais, sensores proximais, análises espaciais em SIG e geoestatística, para melhor conhecer a variabilidade espacial e temporal 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 (RPA) 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/zona de produtividade, sendo desenvolvidas duas dissertações até o momento (variabilidade espacial de atributos da vegetação – este artigo/variabilidade espacial de atributos do solo), em parceria com o Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão da UFSM – PPGAP/UFSM, EMBRAPA – Uva e Vinho/Estação Experimental de Fruticultura Temperada de Vacaria, RS.

As tecnologias de agricultura de precisão/ viticultura de precisão são adequadas para a coleta de dados, interpretação dos mesmos e geração de informação. 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, tanto para o cultivo de grãos

(BRAGA, 2009; MOLIN et al., 2015; AMARAL et al., 2021), quanto em vinhedos.

No entanto, a Fruticultura de Precisão possui 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 casos exitosos de VP para estimular a adoção da AP no setor, o que justifica a implantação do projeto piloto na Vinícola Velho Amâncio e a realização desta pesquisa exploratória. O objetivo do trabalho foi implantar um projeto piloto de Viticultura de Precisão (VP) na vinícola Velho Amâncio, aplicar tecnologias de AP/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 produtividade, considerando que na área de estudo (vinhedo), a produtividade não é uniforme, ou seja, apresenta alta variabilidade, o que torna difícil o manejo e o entendimento das relações com os fatores que condicionam a produção.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Projeto piloto de viticultura de precisão

O projeto piloto de Viticultura de Precisão foi implantado na Vinícola Velho Amâncio no ano de 2020, em um pomar de videiras com ≈1,3 ha com 21 anos de idade, localizado no município de Itaara, Região Central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1).

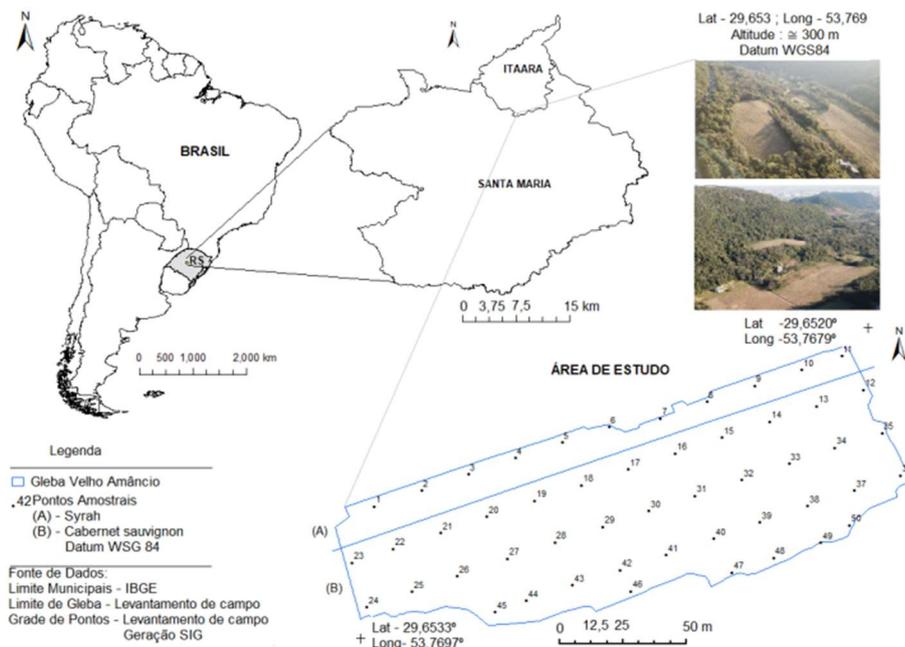


Figura 1. Área de implantação do projeto piloto de viticultura de precisão, com videiras finas (*Vitis vinifera* L.) Cabernet Sauvignon e Shiraz na Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2020.

Figure 1. Implementation area of the precision viticulture pilot project, with fine vines (*Vitis vinifera* L.) Cabernet Sauvignon and Shiraz at Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brazil – 2020.

As videiras são enxertadas, na parte aérea utilizam material genético de origem italiana (*Vivai Cooperativi Rauscedo*

- VCR), mudas 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.

## 2.2. Coleta de dados

No projeto foram preconizadas duas abordagens, caracterização da variabilidade espacial dos atributos do solo e das videiras, esta última apresentada neste artigo. A caracterização da variabilidade espacial das videiras iniciou em 20 de novembro de 2020, a partir de voos com RPA e delimitação da área de estudo com o aplicativo de navegação por satélites GNSS CR7 GPS Dados – Campeiro em *smartphone*. A RPA utilizada foi do tipo multirrotor ou asa rotativa (Castro Jorge; Inamasu, 2014), sendo um quadricóptero modelo *Phantom 4 Advanced Plus – DJI*, que possui autonomia para até 20 minutos de voo em condições de campo, com adaptação de câmera multispectral 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 este voo foram utilizados pontos de controle georreferenciados (GCPs) para geração de mosaico RGB de altíssima resolução espacial (<10 cm) com precisão posicional e ajuste do limite da gleba do projeto piloto obtida a campo, com vetorização no sistema de informação geográfica (SIG) *Arc Map 10*, para procedimentos de geoprocessamento, como geração de *grid* de pontos e 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 na pesquisa. Foram utilizadas coordenadas geográficas (Latitude; Longitude) com a referência geodésica *WGS 84*, sendo também este formato utilizado na coleta de dados com RPA, navegação a campo e processamento das imagens, por ser a configuração padrão utilizada em agricultura de precisão.

Posteriormente no SIG, com a ferramenta *fishnet*, foi gerado um *grid* com 50 pontos amostrais (PA) para a área do projeto, para ser utilizado tanto no levantamento dos atributos de solo quanto das videiras. Para coleta de dados a campo nas videiras, foi utilizado este *grid* de pontos em arquivo de extensão *.kml*, com a navegação realizada pelo aplicativo *Google Earth* em *smartphone*. Em cada PA foram realizadas contagens de plantas produtivas (PIP), improdutivas (PII), falhas/mortas (F/M), número de cachos de uva (Ncu) por plantas. Em cada ponto amostral poderia haver até três plantas (planta central alinhada ao ponto, com ambas as plantas dos lados esquerdo e direito), sendo os dados registrados em fichas de campo. A produtividade de uva foi obtida pela multiplicação do número de cachos contados a campo em 2021 e 2022, pelo peso fresco médio dos cachos, sendo de 87,51g e 41,11g, respectivamente, para as cultivares Shiraz e Cabernet Sauvignon. Este peso médio dos cachos foi obtido no final do ciclo produtivo 2022/2023, nos pontos amostrais do *grid*, dados fornecidos pela VVA em 2023.

Também foram obtidos índices de vegetação (IV), a partir de dados gerados com sensores embarcados em RPA e espectrorradiômetro, bem como a determinação indireta do teor relativo de clorofila (TRC %). As coletas foram realizadas nos anos 2021 e 2022, utilizadas para a geração de mapas de variabilidade espacial das videiras (vegetação). No voo de RPA realizado no segundo ano do projeto, em 15 de novembro de 2021, foi utilizada a câmera multispectral *RedEdge-MX (Micasense)* embarcada de forma adaptada ao *Phantom 4*. Este sensor possui cinco bandas espectrais, sendo *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 conectada a um dispositivo móvel carrega seu aplicativo de configuração e operação no navegador de *internet* do dispositivo. O sensor foi configurado 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 RPA foi utilizada a altura de voo (100 m) e velocidade (10 m s<sup>-1</sup>) para obtenção do tempo de disparo, conforme recomendação do fabricante (MICASENSE, 2015).

Ainda em 2021, foi determinado o teor relativo de clorofila – TRC (%), com uso do clorofilômetro SPAD-502 KONICA MINOLTA (valor SPAD). Foram realizadas cinco leituras em folhas por plantas, na face adaxial de folhas maduras fisiologicamente expostas ao sol, em cada planta associada aos pontos amostrais. O dado foi gerado a campo e anotado em fichas de campo. O Valor SPAD é dado conforme equação 1 (KONICA MINOLTA, 2009):

$$\text{Valor SPAD} = \left( \left( \frac{I_{650}}{I_{940}} \right)_{\text{sem folha}} - \left( \frac{I_{650}}{I_{940}} \right)_{\text{com folha}} \right) \quad (01)$$

em que: Valor SPAD = Teor relativo de clorofila %; I<sub>650</sub>= comprimento de onda do vermelho; I<sub>940</sub>= comprimento de onda do infravermelho próximo.

No terceiro ano do projeto, em 26 novembro de 2022, foi utilizada no voo a RPA *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 de 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 cinco 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.

**2.3. Processamento e análises 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, 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*. A obtenção dos semivariogramas (equação 2 e 3) 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; MIRANDA, 2015):

$$\gamma_h = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z_{(x_i)} - Z_{(x_i+h)}]^2 \tag{02}$$

$$\hat{Z}_{(x_0)} = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{(x_i)} \tag{03}$$

$$\hat{Z}_{(x_0)} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i} Z_{(x_i)} / \sum_{i=1}^n w_i ; w_i = \frac{1}{d_i} \tag{04}$$

em que:  $\lambda_h$  = 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*;  $\hat{Z}_{(x_0)}$  = 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;  $\lambda_i$  = vetor de pesos oriundo do ajuste do semivariograma teórico ao experimental;  $d_i$  = distância entre os pontos amostrais e o local a serem estimados por idw.

O resultado da interpolação por krigagem foi salvo em arquivo de extensão *.grd*, para ser adicionado como camada no SIG. 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 RPA foi realizado no *software Metashape Agisoft*, com média a 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, ou os pontos notáveis conforme o caso. 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 (otimização das posições das 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 RPA *Phantom 4* do ano de 2020, primeiro voo realizado no projeto. 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 (5, 6, 7, 8, 9 e 10) abaixo citadas por Formaggio; Sanches (2017):

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \tag{05}$$

$$NDRE = \frac{(NIR - )}{(NIR+RE)} \tag{06}$$

$$MPRI = \frac{(RED-GREEN)}{(RED+GREEN)} \quad (07)$$

$$NDWI = \frac{(GREEN-NIR)}{(GREEN+NIR)} \quad (08)$$

$$PSRI = \frac{(RED-GREEN)}{(RE)} \quad (09)$$

$$R/G = \frac{RED}{GREEN} \quad (10)$$

em que: 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 Simples 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 2 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 2 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 teste 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, dados com forte heterogeneidade e alta variabilidade presentes nas videiras, foi utilizado a Análise de Agrupamentos Hierárquicos – *Cluster*, com método de ligação *Ward's* e medida de distância entre objetos (similaridade) 1-r Pearson. Foi determinada em SIG, a área de influência de cada ponto amostral do *grid*, com uso de Polígonos de Voronói ou de Thiesen (MIRANDA, 2015). 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*. Na análise de *cluster* os dados foram padronizados, sendo obtida a padronização 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; ALBERTO, 2019). Desta forma foi obtida a proposta de zonas de produtividade para o vinhedo em estudo.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Atributos e produtividade das plantas de videiras

Nos anos de 2021 e 2022 foi possível avaliar as taxas (%) de ocorrência por ponto amostral de plantas produtivas (PIP), improdutivas (PII) e falhas/mortas (F/M) de videiras (*V. vinifera* L.) cv. 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. Segundo a estatística descritiva, 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%.

Não houve diferença estatística, segundo o teste de Mann-Whitney, 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%, refletem queda de produtividade de uva, enquanto a mediana da taxa de plantas produtivas foi de 33,33%. No ano de 2021 esta diferença com significância estatística não foi observada, para a contagem de cachos por ponto amostral houve diferença estatística entre os anos 2021 e 2022. 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 (Cavalcanti et al., 2013; Garrido et al., 2013) do vinhedo.

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 foi baixa, 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).

#### 3.2. Variabilidade espacial de índice de vegetação, clorofila e produtividade de videira

A variabilidade espacial dos índices de vegetação obtidos com os sensores *RGB Phantom 4* (Figura 2), multispectral *RedEdge-MX* (Figura 3 e 4) e *Mavic Pro1* (Figura 5), ao longo dos três anos de projeto, 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, além da variabilidade dos índices de vegetação.

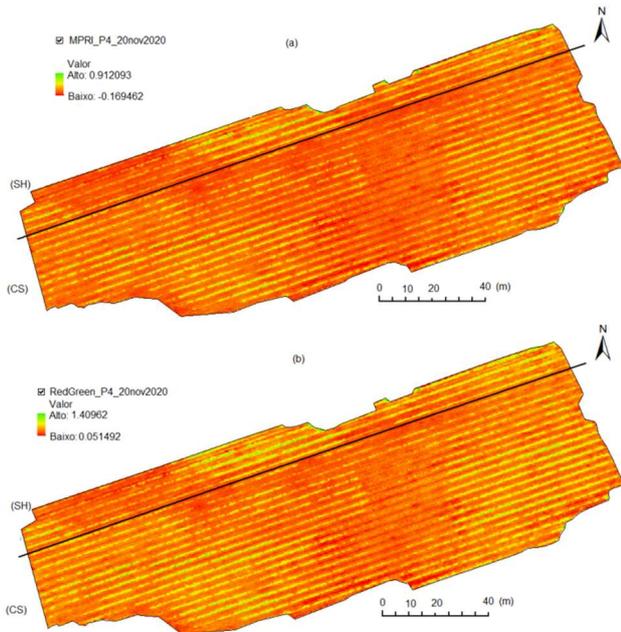


Figura 2. Variabilidade dos índices de vegetação MPRI (a) e Red/Green (b) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos como o sensor RGB da RPA *Phantom 4*, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2020.

Figure 2. Variability of MPRI (a) and Red/Green (b) vegetation indices in grapevines (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) and Cabernet Sauvignon (CS) obtained with the RGB sensor of the RPA *Phantom 4*, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brazil – 2020.

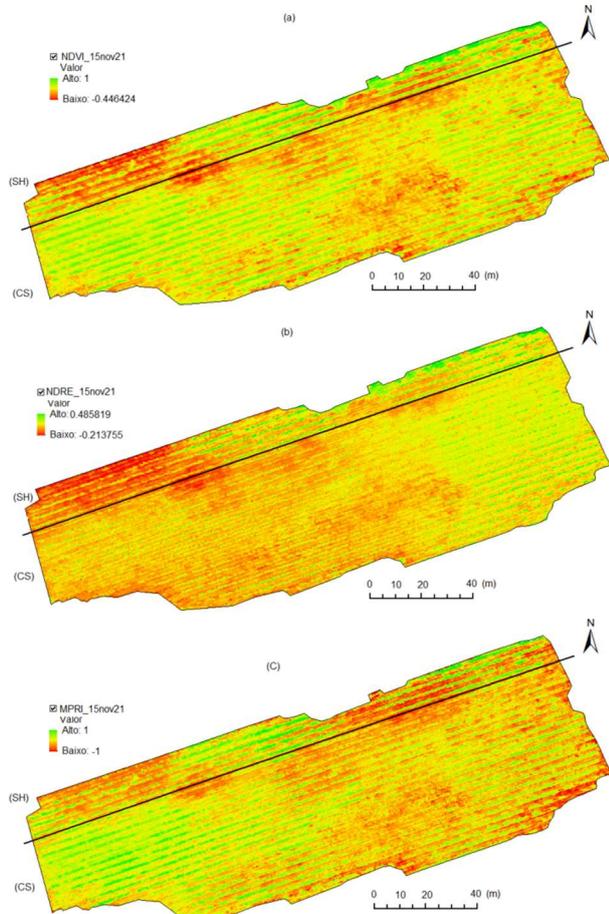


Figura 3. Variabilidade dos índices de vegetação NDVI (a), NDRE (b) e MPRI (c) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos como o sensor *RedEdge-MX* embarcado em RPA *Phantom 4*, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – 2021.

Figure 3. Variability of NDVI (a), NDRE (b) and MPRI (c) vegetation indices in grapevines (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) and Cabernet Sauvignon (CS) obtained with the *RedEdge-MX* sensor embedded in RPA *Phantom 4*, Velho Amâncio Winery, Itaara-RS, Brazil – 2021.

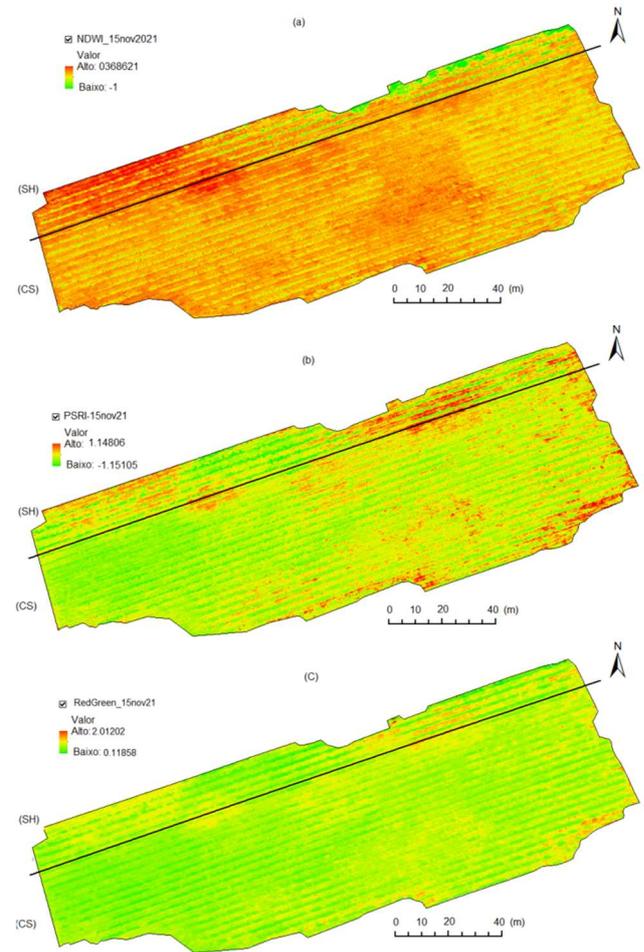


Figura 4. Variabilidade dos índices de vegetação NDWI (a), PSRI (b) e Red/Green (c) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos como o sensor *RedEdge-MX* embarcado em RPA *Phantom 4*, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2021.

Figure 4. Variability of NDWI (a), PSRI (b) and Red/Green (c) vegetation indices in grapevines (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) and Cabernet Sauvignon (CS) obtained with the *RedEdge-MX* sensor shipped in RPA *Phantom 4*, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brazil – 2021.

Segundo a estatística descritiva, aplicada sobre os valores mínimos, médios e máximos dos IV extraídos das videiras nos pontos amostrais pela estatística zonal no SIG, os índices 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 dos 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.

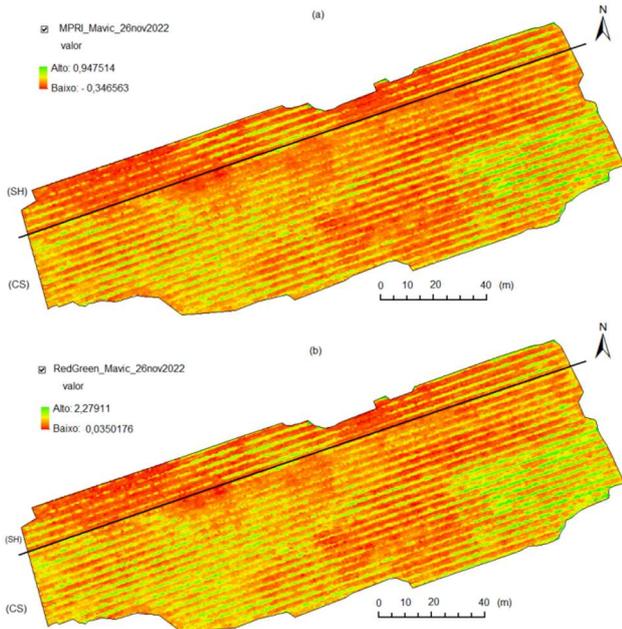


Figura 5. Variabilidade dos índices de vegetação MPRI (a) e Red/Green (b) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtidos como o sensor RGB da RPA Mavic Pro 1, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2022.

Figure 5. Variability of MPRI (a) and Red/Green (b) vegetation indices in grapevines (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) and Cabernet Sauvignon (CS) obtained with the RGB sensor of the RPA Mavic Pro 1, Winery Velho Amâncio, Itaara-RS, Brazil - 2022.

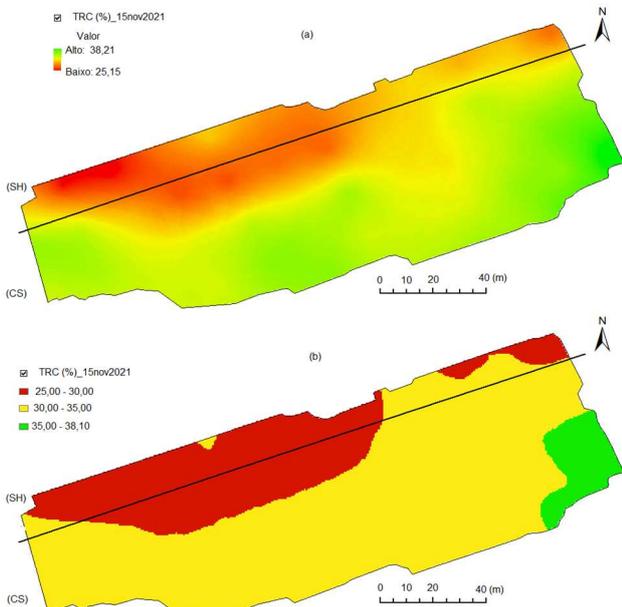


Figura 6. Variabilidade do teor relativo de clorofila (absoluto [a] e classificado [b]) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS), Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2021.

Figure 6. Variability of relative chlorophyll content (absolute [a] and classified [b]) in grapevines (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) and Cabernet Sauvignon (CS), Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brazil - 2021.

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. NDRE médio apresentou alto CV% (114,65), sendo o menor

CV% (15,80) 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 na distribuição de valores deste IV nas videiras, resultando em um CV% totalmente anormal (7249,61 %).

Para 2021, também foi obtida a variabilidade espacial do teor relativo de clorofila (%) ou índice SPAD (Figura 6.a e 6.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 (C0) 2,040; patamar (C0+C) 11,720; alcance (A) 57,30 m; soma dos quadrados dos resíduos (SQR) 1,44; coeficiente de determinação (R2) 0,943; forte dependência espacial (C/C0+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 (R2) 0,383; intercepto no eixo y 2,44; erro padrão de estimativa de 2,715.

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 (parte superior). Com dados de produtividade obtidos (anos 2021 e 2022) foi possível verificar a variabilidade espacial da produtividade acumuladas nestes dois anos. Foi observada uma ampla área na qual a produtividade não ultrapassou 1 kg de frutas por ponto amostral neste período (Figura 7).

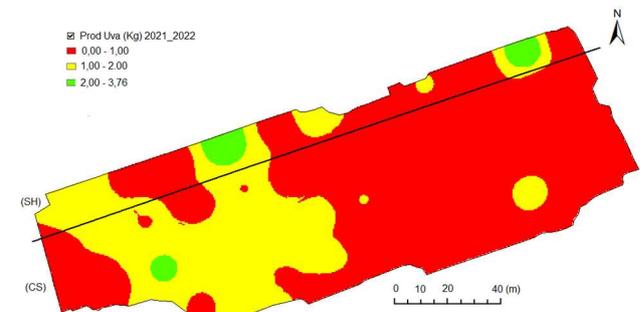


Figura 7. Variabilidade da produtividade acumulada (2021/2022) para videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) obtido pela ponderação do inverso da distância ao quadrado, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil - 2022.

Figure 7. Variability of accumulated productivity (2021/2022) for grapevines (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) and Cabernet Sauvignon (CS) obtained by weighting the inverse of distance squared, Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brazil - 2022.

Esta região despertou atenção por sua expressividade, 0,8484 ha correspondentes 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 hormomais nas videiras.

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 (Figura 6) mostraram-se com diferentes amplitudes e variabilidade em relação aos obtidos em 2021 (sensor multiespectral embarcado em RPA), nas amostras de videira que abrangeram 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 específicas, lateralmente, na parte aérea, não recobrando as plantas como um todo, além da diferença entre os sensores (proximal e sub-orbital).

3.3. Mapas de zonas de potencial produtivo 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 agrônomo prevalece o cenário de perda de vigor e queda de produtividade do vinhedo, processo este, possivelmente, mais intensificado em períodos de adversidades climáticas.

Para auxiliar na busca por ambientes mais similares dentro do vinho, zonas de produtividade, foi empregada a Análise de Agrupamentos Hierárquicos – Cluster (VICINI et al., 2018; MANLEY e ALBERTO, 2019), que agrupa objetos similares entre si, formando grupos homogêneos internamente e distintos entre si. Os objetos, em nosso caso, foram os 50 pontos amostrais, o agrupamento foi formado a partir da variabilidade presente em cada atributo que descreve e qualificam os mesmos, em nosso caso os descritores foram as taxas de ocorrência de plantas, a produtividade, os IV, dentre outras 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 8) 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.

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 produtividades e menor vigor vegetativo em relação ao pontos do grupo 1. No SIG as áreas de influências dos pontos amostrais foram utilizadas para constituir as zonas de produtividade – baixa produtividade (grupo 1), média produtividade (grupo 3) e alta produtividade (grupo 2), com áreas, respectivamente, de 0,4166; 0,1723 e 0,6239 ha (Figura 9). Nestas zonas a produtividade acumulada (2021/2022) foi respectivamente de 0,170; 0,740 e 1,29 kg de uva por ponto amostral (com até 3 plantas). 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 de 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.

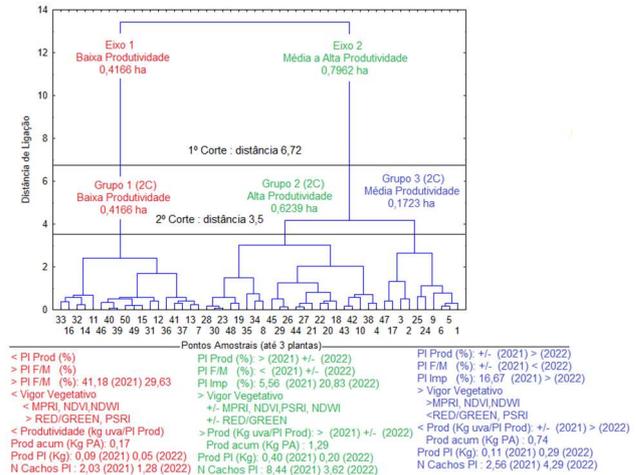


Figura 8. Análise de Cluster para pontos amostrais com base em atributos de plantas, índices de vegetação e produtividade de videiras (*V. vinifera* L.) Syrah (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) na Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – (2020 a 2022).

Figure 8. Cluster analysis for sampling points based on plant attributes, vegetation indices and grapevine productivity (*V. vinifera* L.) Syrah (SH) and Cabernet Sauvignon (CS) at Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brazil – (2020 to 2022).

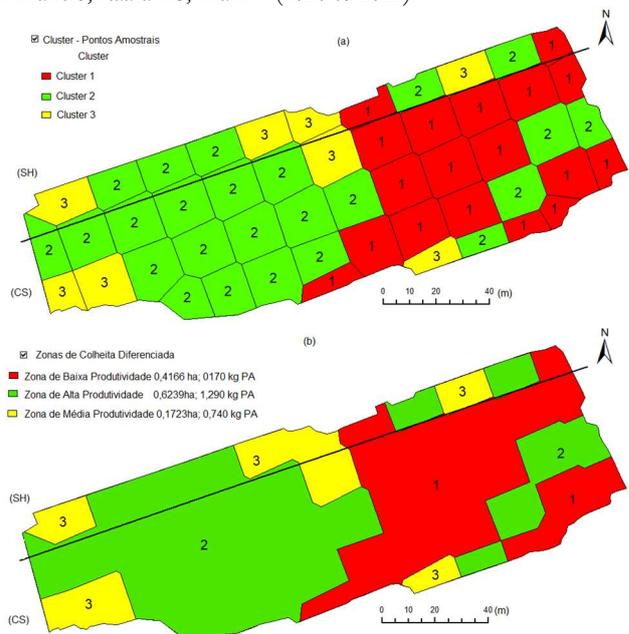


Figura 9. Agrupamentos dos pontos amostrais - clusters (a) e proposta de zonas de produtividade (b) em videiras (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) e Cabernet Sauvignon (CS) na Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brasil – (2021/2022).

Figure 9. Grouping of sampling points - clusters (a) and proposed productivity zones (b) in grapevines (*V. vinifera* L.) Shiraz (SH) and Cabernet Sauvignon (CS) at Vinícola Velho Amâncio, Itaara-RS, Brazil – (2021/2022).

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 (média produtividade).

A ANOVA por ranqueamento mostrou que a produtividade acumulada de uvas (2021/2022) possui diferença estatística significativa entre os postos para as três zonas de produtividade. O teste de Kruskal-Wallis apresentou H de 29,474 (2 gl;  $p < 0,001$ ). A comparação de postos pelo teste de Dunn mostrou que a mediana da produtividade acumulada de uva das zonas de produtividade média e alta, respectivamente de 1,007 e 0,550 kg uva PA<sup>-1</sup>, foram semelhantes entre si e superiores à de baixa, 0,062 kg uva PA<sup>-1</sup>.

#### 4. DISCUSSÃO

Quanto a taxas de ocorrência de plantas, número de cachos de uva e produtividade, segundo a estatística descritiva, a maior parte das variáveis apresentaram assimetria positiva, e apenas as taxas de plantas produtivas em 2021 e a somas das taxas de plantas improdutivoas 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. Quanto ao peso dos cachos de uva, para a cultivar 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 niña, 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, em comparação aos 26,2 cachos por planta observados por Silveira (2021).

Os dados obtidos sugerem que o vinhedo está em declínio (Cavalcanti et al., 2013; Garrido et al., 2013), pelo aumento de plantas improdutivoas 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 niña 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 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). Ocorre frequente em vinhedos no Brasil e na Região Sul, sendo a principal causa da morte de plantas em vinhedos da Serra Gaúcha, com 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, que contém fungos ascomicetos, associadas a morte descendentes de videiras, podendo ocorrer também espécies de outros famílias. Esta doença ocorre tanto em mudas como em plantas adultas, os sintomas de declínio surgem entre dois a quatro anos após a infecção de plantas adultas, o que leva ao desinteresse pelo seu controle em muitos vinhedos, o que também é 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 (GARRIDO et al., 2017). Quanto às correlações obtidas entre as taxas de plantas, número de cachos de uva e produtividade, as mesmas demonstraram haver um grande problema referente à ocorrência de plantas improdutivoas, falhas/mortas, por apresentar altas correlações negativas (Ferreira, 2014) com vários dos indicadores de produtividade, por exemplo -0,86 ( $p < 0,05$ ) entre taxas de plantas improdutivoas e falhas/mortas com kg de uva por ponto amostral em 2021 e -1,0 ( $p < 0,05$ ) entre as taxas de plantas produtivas em relação a taxa de plantas improdutivoas e falhas/mortas em 2022.

Quanto aos IV, Pereira (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 Vinícola 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 estádio do início da maturação para avaliar o vigor vegetativo, e Pereira (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.

O MPRI nas videiras Shiraz e Cabernet Sauvignon do projeto piloto apresentou valores que variaram para 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, 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; 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; 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 de 0,12 a 2,01. 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., uma gramínea espontânea chamada bermudagrass, que ocorre em vinhedos na Espanha.

Quanto ao teor relativo de clorofila - TRC (%), o mesmo 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 6), 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 (Figura 7), 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 et al., 2015; SILVA et al., 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. Segundo Bramley; Proffitt (1999), com base em mapas da variação de produtividade é possível perceber diferenças entre parcelas dentro de um vinhedo, como demonstrado neste estudo.

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). 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, sub-orbital e proximal (JUNGES et al., 2017; FORMAGGIO; SANCHES, 2017; PEREIRA, 2022). Para os IV obtidos com o espectrorradiômetro, a maior correlação observada foi entre produtividade de uva acumulada com o IV NDRE, com valor de 0,30 ( $p < 0,05$ ), 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) ( $p < 0,05$ ). Estas correlações foram menores em relação as observadas com os IV gerados com as imagens multiespectrais do sensor embarcado na RPA, que se mostraram 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 RPA, algo similar ao relatado por Carvalho (2019), ao comparar IV obtidos por diferentes sensores na cultura do milho.

As correlações moderadas foram observadas em outros estudos. 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. Desta forma, os IV MPRI e Red/Green se apresentam como alternativas interessantes para aplicação em agricultura de Precisão.

Quanto a análise de cluster e a obtenção da proposta das zonas de produtividade o resultado foi consistente, retrata as condições do vinhedo em estudo no projeto piloto e atenderam aos critérios descritos por Vicini et al. (2018) e Manley; Alberto (2019). Aparentemente esta sugestão de zoneamento é atrativa para a continuidade dos trabalhos no projeto de implantação de vitivinicultura de precisão na vinícola Velho Amâncio. 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 uva em ciclos fora do período de influência da *La Niña*, acrescido de parâmetros de qualidade da fruta e do vinho.

## 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, associadas às 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 RPA *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 de todas as variáveis obtidas 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 altas 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 pesquisa foram atendidos, ao descrever a variabilidade espacial das videiras de maneira exploratória e gerar proposta de delimitação de zonas de produtividade ou de ambientes para fases futuras do projeto de implantação da viticultura de precisão na Vinícola Velho Amâncio.

## 6. REFERÊNCIAS

- ÁLVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- AMARANTE, C. V. T.; ZANARDI, O. Z.; MIQUELOTO, A.; STEFFENS, C. A.; ERHART, J.; ALMEIDA, J. A. 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. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452009000300009>
- AMARAL, L. R.; FREITAS, R. G.; BARBOSA JÚNIOR, M. R.; SIMÕES, I. O. P. S. Aplicações de drones na agricultura. In: BORÉN, A.; QUEIROZ, D. M.; VALENTE, D. S. M.; PINTO, F. A. C. (Org.). **Agricultura Digital**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021. p. 80-96.
- 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.
- 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. 91p. Tese [Doutorado em Ciência do Solo] - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.
- CAVALCANTI, F. R.; BUENO, C. J.; ALMANÇA, M. A. K. **Declínio e morte de plantas de videira**. Embrapa. 2013. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/859270/declinio-e-morte-de-plantas-de-videira>>. Acesso 17 ago 2023.
- 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. <https://doi.org/10.17058/tecnolog.v22i2.12059>
- FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento Remoto em Agricultura**. São José dos Campos: Oficina de Textos, 2017. 49p.
- GARRIDO, L. da R.; MELO, G. W. B. de; BOTTON, M.; GROHS, D. S. **Dez medidas recomendadas para áreas com declínio e morte de videiras**. Embrapa. 2013. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1139929/dez-medidas-recomendadas-para-areas-com-declinio-e-morte-de-videiras>>. Acesso 17 ago 2023.
- GARRIDO, L. R.; GAVA, R.; CAROLLO L. A. **Podridão-descendente da videira na região sul do Brasil**. Bento Gonçalves: Embrapa, 2017. 10p. (Circular Técnica, 135)
- GAMON, J.; SURFUS, J. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. **New Phytologist**, v. 143, p. 105-117, 1999. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1999.00424.x>
- GONÇALVES, L. M.; BARBOSA, B. D. S.; FERRAZ, G. A. e S.; MACIEL, D. T.; SANTOS, H. F. D. Variabilidade especial 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. <https://doi.org/10.18011/bioeng2017v11n4p340-349>
- IBGE\_Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PPP: **Serviço on-line para pós-processamento de dados GNSS**. Manual de usuário. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 62p.
- JIMÉNEZ-BRENES, F. M.; LÓPEZ-GRANADOS, F.; RORES-SÁNCHEZ, J.; PEÑA, J. M.; RAMÍREZ, P.; CASTILLEJO-GONZÁLEZ, I. L.; CASTRO, A. I. Automatic UAV-based detection of *Cynodon dactylon* for site-specific vineyard management. **Plos One**, v. 14, n. 6, p. 1-21, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218132>
- 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. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017415049016>
- KONICA MINOLTA, INC. **Chlorophyll Meter SPAD-502Plus**. Instruction Manual. BDEDPP: JAPAN, 2009. 22p.
- LONGLEY, P. A, GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da informação geográfica**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 540p.
- MANLEY, B. F. J.; ALBERTO, J. A. N. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução**. 4 ed., Porto Alegre: Bookman, 2019. 254p.

- MELLO, L. M. R. de; MACHADO, C. A. E. **Vitivinicultura Brasileira: Panorama 2022**. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1149674/1/Com-Tec-226.pdf> >. Acesso em 7 jun.2023. (Comunicado Técnico, 226)
- MICASENSE. **Micasense RedEdge Multispectral Camera TM3**. User Manual. Seattle: Micasense, 2015. 33p.
- MIELE, A.; LAZZAROTTO, M.; FLORES, C. A.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. Viticultura de Precisão: uma ferramenta tecnológica para melhorar a qualidade e a competitividade do vinho brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2010. **Anais...** Ribeirão Preto, 2010. 3p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/203956/1/12713-2010.pdf>
- MIRANDA, J. I. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. 4 ed. Brasília: Embrapa Informática Agropecuária, 2015. 399p.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 238p.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Editora da UNESP, 2008. 475p.
- PEREIRA, A. J. **Relação entre índices de vegetação e atributos biofísicos do solo e da planta em vinhedo irrigado**. 134p. Dissertação [Mestrado em Agronomia – Irrigação e drenagem] – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2022.
- RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no Excel**. Guia prático. Viçosa: Editora UFV, 2004. 251p.
- ROBERTSON, G. P. **GS+: geostatistics for the environmental sciences**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.
- 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. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20201037>
- SILVA, J. R. **Metodologia para implantação da viticultura de precisão na região de Santa Maria: fase de prospecção de campo**. 76 p. Dissertação [Mestrado em Agricultura de Precisão] – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023.
- 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.
- 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**. 90 f. Tese [Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos] – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2021.
- SISTEMA DE CADASTRO VINÍCOLA/SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA, PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E IRRIGAÇÃO/ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Dados de uva e vinhos – SISDEVIN 2022**. Safra da uva e produção vitivinícola resumo. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/dados-uvas-vinhos>. Acesso 17 ago 2023.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; GIASSON, E.; SPINELLI PINTO, L. F.; FLORES, C. A.; SCHNEIDER, P. **Solos do RS**. 3. ed., rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS, 2018. 252p.
- TECCHIO, M. A.; MOURA, M. F.; PAIOLI-PIRES, E. J.; TERRA, M. M.; TEIXEIRA, L. A. J.; SMARSI, R. C. 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. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011005000058>
- VICINI, L.; SOUZA, A. M.; MORALES, F. E. C.; SOUZA, F. M. **Técnicas Multivariadas Exploratórias: teorias e aplicações no software Statistica®**. Santa Maria: UFSM, 2018. 240p.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo (v. 1)**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54.
- VINÍCOLA VELHO AMÂNCIO. **Velho Amâncio**. Quem somos. 2022. Disponível em: <https://velhoamancio.com.br/quem-somos> >. Acesso em 10 dez 2022.
- YAMAMOTO, J. K.; LAMDIN, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215p.

**Agradecimentos:** A Universidade Federal de Santa Maria, ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão/Colégio Politécnico da UFSM, ao Projeto Aquarius/UFSM e a Vinícola Velho Amâncio.

**Contribuição dos autores:** R.A.F. – Coleta e análise de dados, redação de texto (esboço original, revisão e edição); L.F.D.C. – Metodologia, revisão de texto e orientação; A.O.F. – Financiamento (disponibilidade da área de estudo), coleta de dados, revisão de texto especializada em videiras; L.P.A. – Conceituação, metodologia, coleta e análise de dados, revisão de texto, disponibilidade da RPA; L.G. - Conceituação, revisão de texto especializada em fruticultura/videira, revisão final do texto; T.J.C.A. – Disponibilidade do sensor multiespectral RedEdge-Mx e clorofilômetro, revisão de texto e ajustes metodológicos.

**Financiamento:** Apoio do Projeto de Pesquisa n. 048066 - “Uso de Geotecnologias em Floresta de Precisão, Agricultura de Precisão, Novas Áreas de Precisão e Análises Espaciais”.

**Revisão por comitê institucional:** Não se aplica.

**Comitê de Ética:** Não se aplica.

**Disponibilização de dados:** Os dados do estudo podem ser obtidos mediante solicitação, via e-mail, ao autor correspondente, mediante análise e concordância da Vinícola Velho Amâncio.

**Conflito de Interesse:** Os autores declaram que não existem conflitos de interesse com outros pesquisadores ou instituições.