

Diferentes métodos de sensoriamento proximal do dossel de videiras promovem divergências no mapeamento de índices de vegetação

Larissa Godarelli Farinassi²; Henrique Oldoni³; Luis Henrique Bassoi⁴; Bruno Ricardo Silva Costa¹

¹Eng^o Agrônomo, Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem) - FCA, UNESP, Botucatu - SP. larissa_godarelli@hotmail.com / ; ²Eng^a Agrônoma, Doutoranda em Agronomia (Irrigação e Drenagem) - Depto. de Engenharia Rural e Socioeconomia, FCA, UNESP, Botucatu - SP; ³Eng^o Agrícola, Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem) - FCA, UNESP, Botucatu - SP; ⁴Eng^o Agrônomo, Pesquisador - Embrapa, Embrapa Instrumentação, São Carlos - SP

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2022
Campinas, SP, 09 a 11 de agosto de 2022

RESUMO: A estimativa de índices de vegetação (IV) viabiliza o monitoramento da variabilidade espacial do vigor vegetativo em vinhedos, porém faz-se necessário questionar se diferentes práticas de sensoriamento podem interferir nos resultados obtidos. Este estudo demonstra a discrepância no mapeamento dos IV NDRE e NDVI estimados a partir de duas metodologias de coleta de dados de reflectância (ρ) do dossel de videiras, obtidos via sensoriamento proximal. Medidas georreferenciadas de ρ correspondentes aos comprimentos de onda (λ) de 670, 730 e 780 nm foram tomadas conforme duas disposições distintas do sensor ativo ACS-430 em relação a copa das plantas. Após a estimativa dos IV a sua predição espacial foi realizada por análise geoestatística e krigagem ordinária. Os valores interpolados foram normalizados e classificados para delimitação de zonas homogêneas (ZH) do vigor vegetativo no vinhedo avaliado. Determinou-se a variabilidade relativa quanto à estimativa dos IV por cada metodologia a partir do cálculo e da predição espacial do coeficiente de variação (CV). A comparação entre as regionalizações de ambos os IV foi realizada por medidas estatísticas de concordância entre os métodos de coleta de dados. Ambos os procedimentos de medida de ρ produziram estimativas dos IV com uma reduzida dispersão relativa em torno da média. Entretanto, a disposição espacial das ZH do NDRE e NDVI correspondentes a cada metodologia apresenta discrepâncias, dada a concordância “moderada” e “fraca” entre si, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Vigor vegetativo; *Vitis vinifera* L.; Viticultura de precisão

DIFFERENT PROXIMAL SENSING METHODS OF GRAPEVINES CANOPY PROMOTE DIVERGENCES IN VEGETATION INDICES MAPPING

ABSTRACT: The vegetation indices (VI) estimation supports the identification of spatial variability regarding vegetative growth within vineyards. However, it is necessary to ask whether different sensing practices can interfere with the results. This study shows the discrepancy in VI mapping through NDRE and NDVI estimated from two data collection methodologies adopted to measure the canopy reflectance (ρ) of grapevines via proximal sensing. Georeferenced measurements of ρ at 670, 730 e 780 nm wavelengths (λ) were taken through two sensor arrangements. The VI were calculated from these ρ measurements, and their spatial prediction was performed by geostatistics and ordinary kriging. The interpolated values were standardized and categorized to delineate homogeneous zones (HZ) of vegetative growth within the vineyard. The coefficient of variation was calculated (CV) and interpolated to represent the spatial variability concerning the comparison between the sampling methodologies applied to the estimation of each VI. Inter-rater reliability statistics were accounted to compute the agreement between the ZH of each VI and sampling methods. Both procedures produce VI estimates with low variability in relation to the mean. However, the spatial arrangement of ZH defined by the NDRE and NDVI through each sampling method is divergent due to the “moderate” and “weak” agreement between them, respectively.

KEYWORDS: Plant vigor; *Vitis vinifera* L.; Precision viticulture

INTRODUÇÃO: Medidas de propriedades ópticas das folhas têm sido utilizadas para fins de identificação e caracterização de coberturas vegetais, uma vez que se correlacionam com parâmetros biofísicos associados à condição vegetativa das plantas (Atherton et al., 2017; Féret et al., 2019; Kattenborn et al., 2019). Neste

sentido, o sensoriamento de cultivos agrícolas torna-se possível graças a identificação da assinatura espectral característica das folhas, em especial da reflectância (ρ) de parte da radiação solar incidente sobre estas. Por essa razão, os índices espectrais de vegetação (IV) são calculados a partir da relação entre a ρ correspondente a determinados comprimentos de onda (λ) (especialmente nas bandas do vermelho visível e infravermelho próximo), de forma a ressaltar a distinção das propriedades referentes à vegetação em oposição àquelas pertinentes a outros alvos. Particularmente no que se refere a cultivares de videiras (*Vitis vinifera* L.), a associação entre IV e características do dossel das plantas foi reportada por Drissi et al. (2009), Caruso et al. (2017) e Junges et al. (2019). Adicionalmente, os IV podem ser utilizados para fins de detecção da variabilidade espacial do desenvolvimento vegetativo das videiras, como demonstrado por Costa et al., 2019, Ferrer et al., 2020 e Darra et al., 2021. Nesta perspectiva, o monitoramento intensivo dos IV no âmbito da agricultura de precisão (AP) aplicada a viticultura é justificado, em razão da necessidade de avaliação contínua de atributos de interesse agrônomico, dentre eles o vigor vegetativo que, de forma análoga à produtividade, constitui-se de um indicativo do potencial produtivo dos vinhedos. Assim, a partir da predição da variabilidade espacial desse atributo, em associação com a avaliação de demais variáveis regionalizadas, têm-se a identificação de zonas homogêneas (ZH) e a delimitação de zonas de manejo (ZM), respectivamente, que podem orientar a implementação de atividades sítio-específico na produção de videiras. Neste contexto, a regionalização do vigor vegetativo em vinhedos pode ser adotada para fins de colheita seletiva (Oldoni et al., 2021), uma vez que essa característica se correlaciona com atributos de produção e composição de bagas. Assim, em razão da utilidade do mapeamento do vigor vegetativo por meio da estimativa de IV, o sensoriamento proximal pode ser utilizado para o monitoramento de vinhedos de pequena extensão pois, nessas condições, essa técnica apresenta vantagens em comparação com o sensoriamento remoto, dada a sua elevada precisão e resolução espectral (Gholizadeh and Kopařková, 2019). Contudo, devido as diversas possibilidades de utilização de sensores proximais, em especial no que se refere ao seu posicionamento em relação ao dossel das videiras, e do grande número de IV disponíveis, a estimativa do vigor vegetativo pode apresentar diferentes padrões de distribuição e variabilidade espacial em um mesmo vinhedo (Costa et al., 2019). Logo, o presente estudo teve como objetivo avaliar se existe discrepâncias quanto à sobreposição de ZH correspondentes a dois diferentes IV (NDRE e NDVI), estimados por meio sensoriamento proximal do dossel de videiras, adotando-se dois procedimentos distintos para coleta de dados de ρ .

MATERIAIS E MÉTODOS: O monitoramento da ρ do dossel de videiras cv. Syrah foi realizado em um vinhedo comercial de 1,08 ha, situado a 726 m de altitude, nas coordenadas 21°17'24,63"S e 47°50'46,86"O. As videiras foram cultivadas no espaçamento de 2,80 x 1,00 m entre fileiras e plantas, respectivamente, conduzidas em sistema de espaldeira vertical, irrigadas por gotejamento, com poda de formação do tipo cordão Royat bilateral, e submetidas a sistema de dupla poda anual. As medidas de ρ do dossel foram obtidas por sensoriamento proximal, em uma única ocasião, utilizando-se o sistema portátil *Crop Circle* integrado com o sensor ativo ACS-430 (*Holland Scientific*, Lincoln, NE, EUA), além do *datalogger* GeoSCOUT GLS-400 (*Holland Scientific*, Lincoln, NE, EUA), para armazenamento de dados. Os dados foram georrefenciadas no momento de sua coleta, utilizando-se o receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System*) HiPer GGD (TOPCON, Pleasanton, CA, EUA). O sensor utilizado forneceu valores simultâneos de ρ equivalentes a 670 (ρ_R , vermelho), 730 (ρ_{RE} , vermelho limítrofe) e 780 nm (ρ_{NIR} , infravermelho próximo). Durante a coleta de dados, o equipamento foi programado para aquisição de 10 medidas por segundo e foi deslocado por caminhamento, ao longo de todas as fileiras de plantas do vinhedo.

Duas metodologias de coleta de dados foram adotadas, posicionado o ACS-430 em duas disposições distintas em relação ao dossel das videiras, assumindo-se dois diferentes ângulos de observação em relação ao zênite (θ_v). A metodologia M1 resultou do posicionamento do sensor no topo do dossel das plantas, distanciado a 0,30 m deste, a qual proporcionou um ângulo θ_v correspondente à 0° (*nadir*) e um sentido paralelo às fileiras de plantio quanto a projeção do feixe de luz emitido pelo equipamento. Por sua vez, na metodologia M2, o sensor foi posicionado na lateral do dossel a uma distância de 0,80 m, o que resultou em ângulo θ_v de 90° (*off-nadir*) e proporcionou um posicionamento perpendicular do feixe luminoso em relação ao dossel das videiras. A partir da razão entre os dados de ρ em determinados λ , foram calculados dois IV: o NDVI (*normalized difference vegetation index*) e o NDRE (*normalized difference red edge*), conforme as Equações 1 e 2, nesta ordem.

$$\text{NDVI} = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R) \quad (1)$$

$$\text{NDRE} = (\rho\text{NIR} - \rho\text{RE}) / (\rho\text{NIR} + \rho\text{RE}) \quad (2)$$

A análise dos dados de ρ e dos IV consistiu, inicialmente, em uma etapa de pré-processamento, durante a qual foram calculadas medidas numéricas descritivas representativas da tendência central (média) e variabilidade dos dados (desvio padrão e coeficiente de variação). Essa análise orientou a remoção das observações discrepantes, segundo o protocolo descrito por Córdoba et al. (2016). Assim, os valores localizados fora do intervalo entre a média ± 3 vezes o desvio padrão ($x \pm 3s$), denominados *outliers*, foram removidos. Em seguida, excluiu-se os valores considerados significativamente diferentes daqueles localizados em uma determinada vizinhança definida pela distância euclidiana, denominados *inliers*, identificados conforme o índice local de Moran, calculado para estimativa de autocorrelação espacial (Anselin, 1995). Uma amostra de 100 observações foi selecionada aleatoriamente para fins de cálculo de estatísticas descritivas (média, desvio padrão e coeficiente de variação) do dados de ρ e dos IV correspondentes à cada metodologia de coleta de dados.

A caracterização espacial baseada na variação e distribuição dos dois IV estimados (NDVI e NDRE), foi realizada por análise geoestatística, utilizando o *software* Vesper versão 1.6 (Minasny et al., 2005). A análise geoestatística foi realizada em duas etapas. Primeiramente, semivariogramas teóricos foram ajustados aos empíricos, predefinindo-se o modelo exponencial para este fim, conforme a Equação 3. Foi utilizado o modo de ajuste local disponibilizado no *software* mencionado, uma vez que a quantidade de observações de ρ e dos IV ultrapassou 5.000 pontos.

$$\gamma(h) = C0 + C1[1 - \exp(-3 h/a)], \text{ para: } 0 < h < d \quad (3)$$

onde: C0: efeito pepita; C1: patamar; a: alcance; h: distância e d: máxima distância na qual o semivariograma é definido.

A segunda etapa da análise geoestatística consistiu na predição espacial dos IV por meio de krigagem ordinária, utilizando-se a técnica de variogramas delimitados por uma janela móvel (Haas, 1990). Adotou-se o método de krigagem em blocos, com dimensões espaciais de 5 x 5 m e definiu-se os contornos dos vinhedos como limites para geração da grade regular para interpolação, a partir de uma resolução espacial de 0,50 m. Os resultados interpolados dos IV, organizados em formato matricial, constituíram mapas temáticos que foram importados em SIG (Sistema de Informações Geográficas) para pós-processamento dos dados, utilizando-se o *software* QGIS versão 3.10.0 (*QGIS Development Team*, 2019) para este fim. Estes valores interpolados foram submetidos a normalização pela média, o que resultou no cálculo de escores padrões conforme a Equação 4.

$$z_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_{.j}) / s_j \quad (4)$$

onde: z_{ij} e x_{ij} : escore padrão e valor correspondente ao i -ésimo ponto, respectivamente, do IV estimado conforme a j -ésima metodologia; $\bar{x}_{.j}$: valor médio do IV pertinente a j -ésima metodologia; s_j : desvio padrão do IV referente a j -ésima metodologia.

As ZH dos IV foram delimitadas com base na classificação dos valores normalizados em duas categorias definidas de acordo com os valores negativos ($z_i < 0$) e positivos ($z_i > 0$) do escore padrão. Desta forma, valores inferiores e superiores à média de cada IV representaram categorias de plantas de menor e maior vigor vegetativo, respectivamente.

A variabilidade relativa dos IV ao longo da área foi inferida por meio do cálculo do coeficiente de variação (CV) referente à comparação entre a predição espacial de ambos os IV estimados segundo os dados de ρ obtidos por cada metodologia de coleta. Neste sentido, procedeu-se de forma idêntica àquela descrita por Suszek et al. (2011), que descreveram um procedimento para o cálculo do CV a partir de dados normalizados dos escores padronizados. Os valores da predição espacial do CV foram posteriormente classificados em três níveis para fins de delimitação de classes de variabilidade comuns a ambos os IV. A definição dos limites entre classes do CV foi realizada conforme o método de otimização de Jenks, também denominado de quebras naturais, o qual minimizou as diferenças intrínsecas às classes e maximizou as diferenças entre as mesmas.

Por fim, foi avaliada a concordância entre os valores classificados dos IV estimados a partir de cada metodologia, que foram consideradas os avaliadores a serem contrapostos. Deste modo, a partir da elaboração de matrizes de contingência, calculou-se o coeficiente kappa (k) (Cohen, 1960) e o índice de Bangdiwala (B)

(Bangdiwala, 1985), que serviram de medidas estatísticas para avaliação da confiabilidade interavaliadores. A magnitude da concordância determinada de acordo com o índice k foi classificada segundo McHugh (2012), conforme as seguintes designações e intervalos de valores: ausente ($0 < k \leq 0,20$); mínima ($0,21 \leq k \leq 0,39$); fraca ($0,40 \leq k \leq 0,59$); moderada ($0,60 \leq k \leq 0,79$); forte ($0,80 \leq k \leq 0,90$); quase perfeita ($0,90 < k$). A confiabilidade interavaliadores descrita pelo índice B , o qual apresenta uma amplitude de 0 (ausência de concordância) a 1 (concordância perfeita), foi representada em gráficos propostos por Bangdiwala e Shankar (2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Figura 1 estão representadas as medidas descritivas quanto à ρ correspondente aos três λ mensurados pelo sensor ativo ASC 430, bem como aos IV estimados a partir desses. Conforme a amostra de 100 observações retiradas dos conjuntos de dados coletados em campo, a ρ medida a partir da metodologia M1 e M2, respectivamente, apresentou valores médios e desvios padrões iguais a $3,01 \pm 0,70$ e $3,40 \pm 0,51$ (ρ_R); $19,63 \pm 0,49$ e $19,52 \pm 0,39$ (ρ_{RE}); e $37,07 \pm 2,41$ e $37,67 \pm 1,73$ (ρ_{NIR}). O padrão de ρ_R observado pode ser explicado pela elevada absorção da luz no espectro do vermelho visível (≈ 660 nm), característica dos pigmentos fotossintetizantes (clorofilas) (Taiz et al., 2014). Por sua vez, a elevada ρ_{NIR} , relacionada a interação da luz com as propriedades estruturais do mesófilo foliar (Huete, 2004), decorre do espalhamento múltiplo da radiação incidente, o qual é diretamente proporcional a quantidade de folhas (Kumar et al., 2001). Assumindo-se a mesma sequência de métodos mencionados anteriormente (M1 e M2), a dispersão relativa dos dados em torno da média (CV) da ρ foi equivalente à 23,26 e 15,00% (ρ_R); 2,50 e 2,00% (ρ_{RE}); e 6,50 e 4,59% (ρ_{NIR}), nesta ordem. Logo, as medidas de ρ obtidas pelo método M2 apresentaram uma menor variabilidade em comparação àquelas obtidas pelo método M1. A ρ_R apresentou uma maior dispersão relativa quando comparada àquela correspondente aos demais λ , em especial quanto às medidas obtidas por meio da metodologia M1. Contudo, independentemente do método de coleta de dados, valores reduzidos de ρ_R e elevados de ρ_{NIR} , associados a uma baixa variabilidade dos mesmos, revelaram uma condição de vigor vegetativo elevado e uniforme na ocasião da medida de ρ das videiras.

O NDVI estimado a partir das metodologias M1 e M2, respectivamente, apresentou valores médios equivalentes à $0,85 \pm 0,03$ e $0,84 \pm 0,03$, o que resultou em CV igual a 3,53 e 3,57%, nesta ordem. Por sua vez, os valores médios correspondentes ao NDRE foram iguais a $0,31 \pm 0,03$ (M1) e $0,32 \pm 0,03$ (M2), enquanto o CV foi equivalente à 9,68 (M1) e 9,38% (M2). Deste modo, as medidas de ρ tomadas pelo método M2 proporcionaram estimativas menos dispersas dos IV em estudo. Ambos os métodos de coleta de dados de ρ resultaram em uma dispersão relativa igualmente reduzida quanto à estimativa do NDVI quando comparada àquela associada ao NDRE. Além disso, este último IV apresentou uma maior variabilidade quando estimado a partir de dados de ρ coletados pelo método M1. Independente do método de coleta de dados adotado, os valores médios elevados associados a uma reduzida variabilidade do NDVI corroboraram a afirmação sobre o vigor acentuado das videiras observado no momento da coleta de dados, pois indicaram a saturação do índice mencionado. A saturação do NDVI é comumente observada em condições de monitoramento de coberturas vegetais vigorosas, e pode ser atribuída ao desbalanço entre o decréscimo da ρ_R e o incremento da ρ_{NIR} como resposta a um elevado índice da área foliar (IAF) (Tesfaye e Awoke, 2020). Além disso, as videiras cv. Syrah apresentam caracteristicamente um maior vigor vegetativo (Robinson et al., 2012).

Na Figura 2 estão representados os mapas de ZH correspondentes aos IV estimados por ambas as metodologias de coleta de dados de ρ e a predição espacial do CV associado a cada índice. Após a classificação dos valores interpolados normalizados, o NDRE estimado pelos os métodos M1 e o M2 delimitou uma maior porção da área total ocupada por plantas de alto vigor ($z_i > 0$), que foi equivalente à 52,87 (0,57 ha) e 52,37% (0,56 ha), respectivamente. O mesmo ocorreu para o NDVI apenas ao se considerar o método M1, o que resultou em 55,45% (0,60 ha) da área total ocupada por valores acima da média. Portanto, a estimativa do NDVI realizada a com base em dados de ρ coletados a partir da metodologia M2 foi menos sensível para a detecção de valores acima da média no que diz respeito ao índice em questão.

A variabilidade relativa do vigor vegetativo produzida pelas estimativas dos IV por ambos os métodos de coleta de dados foi baixa, uma vez que a amplitude de variação entre valores mínimos e máximos foi igual a 8,69%. Desta forma, as categorias do CV correspondentes à variabilidade baixa, intermediária e alta, nesta ordem, assumiram os seguintes intervalos de valores: 0,00 a 1,25% (CV 01), 1,25 a 3,11% (CV 02) e 3,11 a 8,69% (CV 03). Apesar da reduzida dispersão relativa, a proporção da área do vinhedo classificada em cada categoria e os padrões espaciais do CV foram variáveis ao longo da extensão da área, conforme os diferentes

IV e métodos de coleta de dados. Contudo, o NDRE indicou que uma menor porção da área foi caracterizada com uma variabilidade alta (CV 03) em comparação ao NDVI. Por essa razão, a dispersão em torno de valores médios foi menor ao se estimar o índice NDRE, em detrimento do NDVI, no que se refere a inferência sobre a distribuição espacial do vigor vegetativo do vinhedo.

Na Figura 3 são apresentadas as medidas estatísticas e os gráficos de concordância interavaliadores utilizados na comparação entre os mapas categóricos dos IV. As ZH delimitadas a partir da estimativa do NDRE obtidas conforme as duas metodologias de coleta de dados de ρ apresentaram a melhor concordância espacial entre si. Entretanto, segundo a interpretação do coeficiente k, essa concordância foi considerada “moderada” ($0,60 \leq k \leq 0,79$). Por sua vez, a conformidade entre a distribuição espacial de ZH correspondentes aos métodos de coleta de dados utilizados para estimativa do NDVI foi classificada como “mínima” ($0,21 \leq k \leq 0,39$). Este resultado indicou que o posicionamento do sensor ativo ACS-430 em relação ao dossel das videiras promoveu discrepâncias quanto à delimitação de ZH a partir da classificação da predição espacial do vigor vegetativo conforme os IV adotados. Ressalta-se que, a comparação entre os padrões de ZH delimitadas para o NDRE e NDVI estimados a partir da metodologia M1 (Figura 3C) apresentou a maior concordância ($k = 0,67$) dentre todas as paralelas estabelecidas entre os IV e avaliadores em questão. Logo, medidas de ρ obtidas por sensoriamento proximal a partir do método M1 (topo do dossel) resultaram em padrões de distribuição espacial de ZH semelhantes entre si, assumindo-se ambos os IV.

Conforme a interpretação do índice B, a comparação entre o NDRE estimado com base nas diferentes metodologias de coleta de dados (Figura 3A), revelou uma concordância moderada ($B = 0,68$), porém associada a um viés reduzido. Logo, a delimitação de ZH referentes ao NDRE foi menos influenciada pelos métodos de coleta de dados de ρ utilizados para a sua estimativa. De modo contrário, o NDVI apresentou a menor concordância ($B = 0,43$) e o maior viés associado a comparação entre as ZH delimitadas conforme as diferentes metodologias adotadas (Figura 3B). Contudo, observou-se um viés reduzido quanto a concordância entre as ZH delimitadas para os diferentes IV estimados a partir dos dados obtidos pelo método M1 (Figura 3C). O mesmo ocorreu na comparação entre as ZH correspondentes ao NDRE e NDVI, delimitadas segundo os dados originados dos métodos M2 e M1, nesta ordem (Figura 3E). Por sua vez, o viés referente à concordância entre as ZH foi mais acentuado e os resultados de k e B apresentaram valores reduzidos no que se referiu a comparação entre os IV e métodos distintos (Figura 3D) e entre as regionalizações do NDRE e NDVI feitas a partir da adoção do método M2 (Figura 3F).

FIGURA 1. Valores médios e respectivos desvios padrão referentes à reflectância do dossel de videiras a 670 (ρ_R , vermelho), 730 (ρ_{RE} , vermelho limítrofe) e 780 nm (ρ_{NIR} , infravermelho próximo) e aos índices de vegetação (IV) NDRE e NDVI obtidos pela adoção de duas metodologias de coleta de dados de ρ do dossel de videiras. **Mean and standard deviation of the grapevines canopy reflectance at 670 (ρ_R , red), 730 (ρ_{RE} , red edge) and 780 nm (ρ_{NIR} , near infrared) and the NDRE and NDVI vegetation indices according to two sampling methods of grapevines canopy reflectance.**

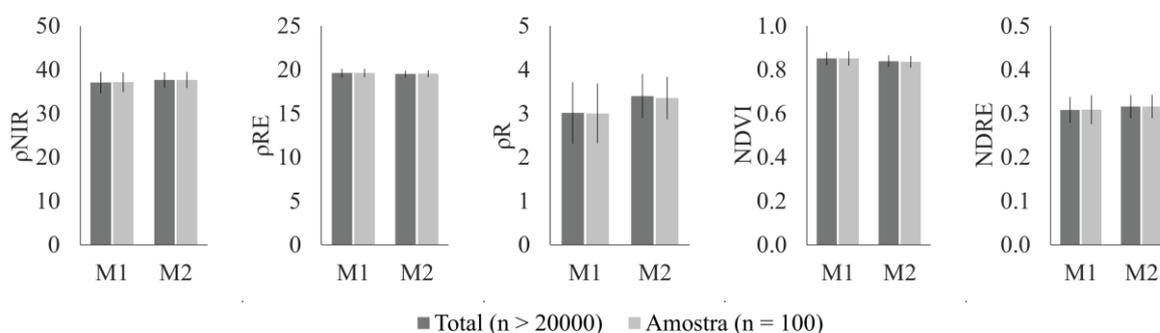


FIGURA 2. Mapas temáticos representativos da categorização de valores interpolados normalizados correspondentes ao NDVI e NDRE e do coeficiente de variação (CV), obtidos pela adoção de duas metodologias de coleta de dados de ρ do dossel de videiras. **Thematic maps of the categorized standardized interpolated values of NDVI and NDRE and the relative standard deviation (CV) according to two sampling methods of grapevines canopy reflectance.**

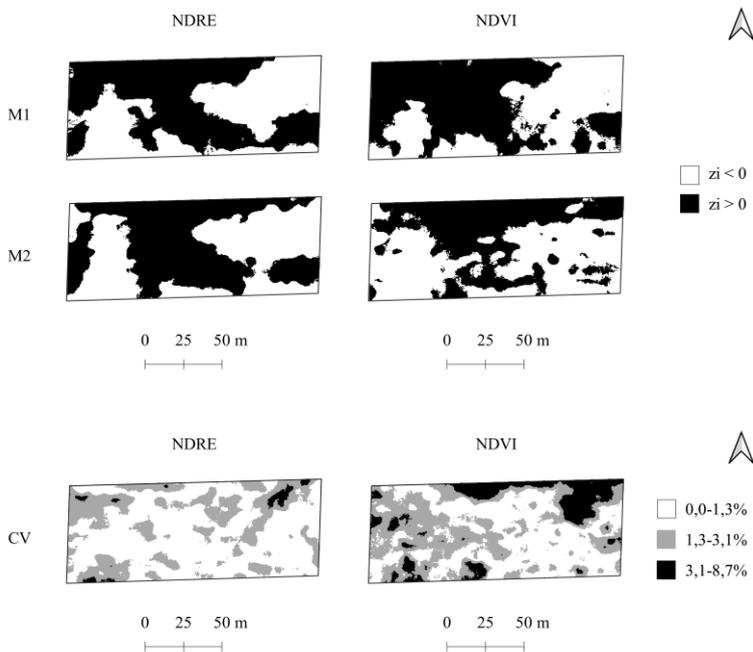
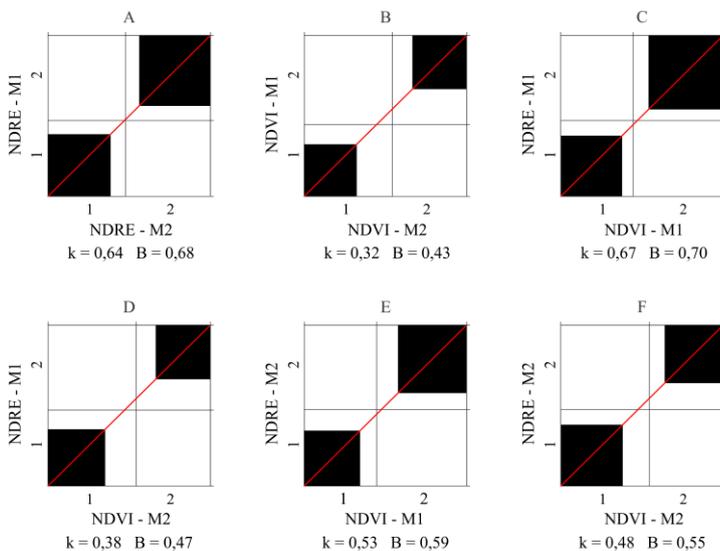


FIGURA 3. Gráficos de concordância referentes à comparação entre as zonas homogêneas dos índices NDRE e NDVI, estimados com base em medidas de reflectância do dossel de videiras obtidas pela adoção de duas metodologias de coleta de dados. **Agreement charts for comparison between categorized homogeneous zones of NDRE and NDVI estimated according to two sampling methods of grapevines canopy reflectance.**



CONCLUSÃO: Diferentes métodos de coleta de dados de ρ do dossel via sensoriamento proximal proporcionam padrões de distribuição de ZH espacialmente distintos para representação do vigor vegetativo de videiras vigorosas conduzidas em espaldeira, conforme os IV NDRE e NDVI. Apesar disso, o NDRE demonstra uma maior concordância quanto à sobreposição de ZH do vigor vegetativo, delimitadas pela medida de ρ em diferentes disposições do sensor proximal ACS-430 em relação à copa das videiras. Contudo, medidas de ρ realizadas a partir do topo do dossel das plantas resultam em maior semelhança no mapeamento e delimitação de ZH do NDRE e NDVI em vinhedos.

AGRADECIMENTOS:

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas de estudo. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro. À Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa, pelo suporte técnico. À Vinícola Terras Altas, pela concessão da área experimental.

REFERÊNCIAS

- ANSELIN, L. Local indicators of spatial association – LISA. **Geographical Analysis**, v.27, p.93-115, 1995.
- ATHERTON J.; OLASCOAGA, B; ALONSO, L.; PORCAR-CASTELL, A. Spatial Variation of Leaf Optical Properties in a Boreal Forest Is Influenced by Species and Light Environment. **Frontiers in Plant Science**, v.8, 2017.
- BANGDIWALA, S.I. A Graphical Test for Observer Agreement. **International Statistical Institute**, p.307-308, 1985.
- BANGDIWALA, S.I., SHANKAR, V. The agreement chart. **Medical Research Methodology**, v.13, n.97, 2013.
- CARUSO, G.; TOZZINI, L.; RALLO, G.; PRIMICERIO, J.; MORIONDO, M.; PALAI, G.; GUCCI, R. Estimating biophysical and geometrical parameters of grapevine canopies ('Sangiovese') by an unmanned aerial vehicle (UAV) and VIS-NIR cameras. **Vitis**, v.56, n.2, p.63-70, 2017.
- COHEN, J. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. **Educational and Psychological Measurement**, v.20, n.1, p.37-46, 1960.
- CÓRDOBA, M.A., BRUNO, C.I., COSTA, J.L., PERALTA, N.R., BALZARINI, M.G. Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. **Biosystem Engineering**, v.143, p.95-107, 2016.
- COSTA, B.R.S.; OLDONI, H.; ROCHA JUNIOR, R.; BASSOI, L.H. Delimitation of homogeneous zones in vineyards using geostatistics and multivariate analysis of different vegetation indices. **Engenharia Agrícola**, v.39, p.13–22, 2019.
- DARRA, N.; PSOMIADIS, E.; KASIMATI, A.; ANASTASIOU, A.; ANASTASIOU, E.; FOUNTAS, S. Remote and proximal sensing-derived spectral indices and biophysical variables for spatial variation determination in vineyards. **Agronomy**, v.11, n.4:741, 2021.
- DRISSI, R.; GOUTOULY, J.P.; FORGET, D.; GAUDILLERE, J.P. Nondestructive measurement of grapevine leaf area by ground Normalized Difference Vegetation Index. **Agronomy Journal**, v.101, p.226–231, 2009.
- FÉRET, J.-B.; LE MAIRE, G.; JAY, S.; BERVEILLER, D.; BENDOULA, R.; HMIMINA, G.; CHERAIETF, A.; OLIVEIRA, J.C.; PONZONI, F.J.; SOLANKI, T.; DE BOISSIEUA, F.; CHAVEK, J.; NOUVELLON, Y.; LEFÈVRE-FONOLLOSA, PORCAR-CASTELLJ, A.; PROISYM, C.; SOUDANIF, K.; GASTELLU-ETCHEGORRY, J.-P.; LEFÈVRE-FONOLLOSA, M.-J. Estimating leaf mass per area and equivalent water thickness based on leaf optical properties: Potential and limitations of physical modeling and machine learning. **Remote Sensing of Environment**, v.231, 2019.
- FERRER, M.; ECHEVERRÍA, G.; PEREYRA, G.; GONZALEZ-NEVES, G.; PAN, D.; MIRÁS-AVALOS, M. Mapping vineyard vigor using airborne remote sensing: relations with yield, berry composition and sanitary status under humid climate conditions. **Precision Agriculture**, v.21, p.178–197, 2020.

- GHOLIZADEH, A.; KOPAŇKOVÁ, V. Detecting vegetation stress as a soil contamination proxy: a review of optical proximal and remote sensing techniques. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v.16, p.2511–2524, 2019.
- HAAS, T.C. Kriging and automated variogram modeling within a moving window. **Atmospheric Environment. Part A. General Topics**, v.24, n.7, p.1759-1769, 1990.
- HUETE, A.R. Remote sensing for environmental monitoring. In ARTIOLA, J.F.; PEPPER, I.L.; BRUSSEAL, M. (Eds.), **Environmental Monitoring and Characterization**, Elsevier Science & Technology Books, 2004, p.183-206.
- JUNGES, A.H.; FONTANA, D.C.; LAMPUGNANI, C.S. Relationship between the normalized difference vegetation index and leaf area in vineyards. **Bragantia**, v.78, n.2, p.297-305, 2019.
- KATTENBORN, T.; FASSNACHT, F.E.; SCHMIDTLEIN, S. Differentiating plant functional types using reflectance: which traits make the difference?. **Remote Sensing in Ecology and Conservation**, v.5, n.1, p.5-19, 2019.
- KUMAR, L.; SCHMIDT, K.; DURY, S.; SKIDMORE, A. Imaging spectrometry and vegetation science. In F. D. van der Meer & S. M. de Jong (Eds.), **Imaging spectrometry**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001, p.111–155.
- McHUGH M. Interrater Reliability: The Kappa Statistic. **Biochemia Medica**, v.2, n.3, p.276-282, 2012.
- OLDONI, H.; COSTA, B.R.S.; BOGNOLA, I.A.; SOUZA, C.R.; BASSOI, L.H. Homogeneous zones of vegetation index for characterizing variability and site-specific management in vineyards. **Scientia Agricola**, v.78, n.4, 2021.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. 2019. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org/>.
- ROBINSON, J.; HARDING, J.; VOUILLAMOZ, J. **Wine Grapes: complete guide to 1,368 vine varieties, including their origins and flavours**. London: Ecco Press, 2012, 394p.
- SUSZEK, G.; SOUZA, E.G.; URIBE-OPAZO, M.A.; NOBREGA, L.H.P. Determination of management zones from normalized and standardized equivalent productivity maps in the soybean culture. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.5, p.895-905, 2011.
- TAIZ L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Photosynthesis: the light reactions. In. SINAUER, A. D. (Ed.), **Plant Physiology and Development**. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., 2014, p.171-202.