

CARACTERIZAÇÃO DA TENDÊNCIA ESPAÇO-TEMPORAL DO VIGOR VEGETATIVO DE VIDEIRAS (*Vitis vinifera* L.) A PARTIR DA ESTIMATIVA DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

BRUNO RICARDO SILVA COSTA¹, HENRIQUE OLDONI², THASSIO MONTEIRO MENEZES DA SILVA³, LARISSA GODARELLI FARINASSI⁴, LUÍS HENRIQUE BASSOI⁵

¹ Eng. Agrônomo, Dr. em Agronomia (Irrigação e Drenagem), FCA/Unesp, Botucatu – SP, bruno.ricardo@unesp.br.

² Eng. Agrícola, Dr. em Agronomia (Irrigação e Drenagem), FCA/Unesp, Botucatu – SP.

³ Eng. Agrônomo, Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), FCA/Unesp, Botucatu – SP.

⁴ Eng. Agrônoma, Dra. em Agronomia (Irrigação e Drenagem), FCA/Unesp, Botucatu – SP.

⁵ Eng. Agrônomo, Pesquisador, Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP.

Apresentado no
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: O vigor das videiras exerce influência sobre a composição de bagas e, portanto, deve ser monitorado regularmente para avaliação do balanço entre o crescimento reprodutivo e vegetativo ao longo dos vinhedos, no decorrer dos ciclos de produção. O presente trabalho objetivou caracterizar a tendência espaço-temporal do vigor vegetativo de videiras por meio de índices de vegetação (IV) distintos. Medidas da reflectância do dossel foram feitas em três vinhedos comerciais via sensoriamento proximal em três ocasiões de monitoramento, antes e após o início da maturação de bagas, em dois ciclos de produção consecutivos. Os IV NDRE e NDVI foram estimados a partir dessas medidas, e mapeados via análise geoestatística e interpolação por krigagem. O teste de Mann-Kendall, em conjunto com o método de Theil-Sen, foi aplicado para identificação de tendências monotônicas nas séries temporais das estimativas dos IV, conforme a significância da inclinação de funções de regressão linear ajustadas a relação da variação do vigor em função do tempo. Demonstramos que a variabilidade espaço-temporal do vigor vegetativo de videiras pode ser descrita pelo método adotado e que diferentes IV promovem divergências na sua caracterização.

PALAVRAS-CHAVE: vitivinicultura, sensoriamento proximal, variabilidade espacial.

DESCRIBING SPATIOTEMPORAL TRENDS IN GRAPEVINE (*Vitis vinifera* L.) VIGOR USING VEGETATION INDICES ESTIMATES

ABSTRACT: Regular monitoring of grapevine vigor is essential as it directly impacts the composition of the berries. This assessment enables the evaluation of the balance between reproductive and vegetative growth within vineyards and over the growing seasons. This work aimed to characterize the spatiotemporal trend of the grapevines' vigor through different vegetation indices (VI). Canopy reflectance measurements were made within three commercial vineyards via proximal sensing on three monitoring occasions, before and after the onset of berry ripening, throughout two consecutive growing seasons. We estimated the VI NDRE and NDVI from these measurements and mapped them through geostatistical analysis and kriging interpolation. The Mann-Kendall test and the Theil-Sen method were adopted to detect monotonic trends in the time series of VI estimates, according to the significance of the slope of linear regression functions fitted to describe the vigor variation

over time. We demonstrate that the spatiotemporal variability of the grapevines' vigor can be described by the method we applied here, but different VI promote divergences in this characterization.

KEYWORDS: vitiviniculture, proximal sensing, spatial variability.

INTRODUÇÃO: O monitoramento da variabilidade espaço-temporal do vigor das videiras é fundamental para o estabelecimento de práticas de manejo sitio específico, visando um balanço adequado entre a produção e o crescimento vegetativo, para garantir uma maturação de bagas apropriada. Neste contexto, o vigor vegetativo pode ser caracterizado por meio de sensoriamento proximal conforme a estimativa de índices de vegetação (IV), calculados a partir da reflectância (ρ) do dossel das plantas. Dada a possibilidade de monitoramento contínuo motivada pelas tecnologias de sensoriamento atuais, torna-se importante uma análise de tendência quanto a disposição do vigor vegetativo na área de abrangência dos vinhedos no decorrer dos ciclos de produção. Neste sentido, o teste não paramétrico de Mann-Kendall (KENDALL, 1938; KENDALL, 1975; MANN, 1945) tem sido utilizado para detectar tendências ou mudanças monotônicas em dados de séries temporais. Quando combinado com o método de Theil-Sem (THEIL 1950; SEN 1968), permite estimar a inclinação de funções de regressão linear ajustadas para representar a relação entre a variação de uma característica de interesse em função do tempo. Assim, o objetivo do estudo foi descrever a tendência espaço-temporal do vigor vegetativo de videiras (*Vitis vinifera* L.) durante o período anterior e posterior ao início da maturação, a partir da estimativa de dois IV distintos conforme medidas de ρ obtidas via sensoriamento proximal.

MATERIAL E MÉTODOS: A variabilidade espacial do vigor vegetativo foi monitorada durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 em três vinhedos comerciais (A1, A2 e A3), conduzidos sob o manejo da dupla poda anual (Regina et al., 2011), irrigados por gotejamento e localizados no município de Espírito Santo do Pinhal – SP, Brasil (22°11'27"S, 46°44'27"O). Em cada ciclo de produção, a coleta de dados foi feita em três ocasiões: durante o estágio fenológico de cacho fechado (T1), no início da maturação (T2) e em um último momento antes da colheita (T3), em diferentes dias após a poda de produção (DAP). Em cada monitoramento, medidas georreferenciadas da ρ correspondentes aos comprimentos de onda (λ) de 670 (ρ_R , vermelho), 730 (ρ_{RE} , vermelho limítrofe) e 780 nm (ρ_{NIR} , infravermelho próximo) foram obtidas utilizando-se o sensor óptico ativo ACS-430 (Holland Scientific, Lincoln, NE, EUA). Com base na razão entre as medidas de ρ , calculamos o índice de vegetação por diferença normalizada no vermelho limítrofe (NDRE) e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), de acordo com as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$NDRE = (\rho_{NIR} - \rho_{RE}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RE}) \quad (1)$$

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R) \quad (2)$$

Com base nas medidas dos IV obtidas *in situ*, mapas interpolados foram renderizados a partir de análise geoestatística e krigagem, para compor as séries temporais de estimativas obtidas nos dois ciclos consecutivos (seis ocasiões). Na sequência, a disposição espaço-temporal dos valores interpolados dos IV foi avaliada por meio da análise de tendência monotônica, segundo o cálculo da estatística S do teste não paramétrico de Mann-Kendall (τ). Esta estatística foi utilizada para definir a significância quanto a estimativa do coeficiente angular ou inclinação (β_1) das funções de regressão linear obtidas por meio do método de Theil-Sen. A tendência de variação das séries temporais de cada IV foi classificada conforme o valor de β_1 e da sua significância (p-valor), como se segue: P3: tendência positiva significativa ($\beta_1 > 0$

e p-valor < 0,05); P2: tendência positiva significativa ($\beta_1 > 0$ e p-valor < 0,10); P1: tendência positiva não significativa ($\beta_1 > 0$ e p-valor > 0,10); N1: tendência negativa não significativa ($\beta_1 < 0$ e p-valor > 0,10); N2: tendência negativa significativa ($\beta_1 < 0$ e p-valor < 0,10); e N3: tendência negativa significativa ($\beta_1 < 0$ e p-valor < 0,05).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A maior parte da área de abrangência dos vinhedos apresentou um decréscimo nas estimativas de ambos os IV ($\beta_1 < 0$) no decorrer dos dois ciclos subsequentes, porém esta tendência não foi considerada significativa (p-valor > 0,10) (FIGURA 1). Assim, as videiras demonstraram uma estabilidade no que se referiu ao seu vigor vegetativo durante os estádios de crescimento e maturação de bagas no decorrer dos anos avaliados. Esses resultados sugerem que, em dois anos consecutivos, os vinhedos foram submetidos a condições regulares quanto ao ambiente e aos tratos culturais, que propiciaram uma uniformidade da densidade do dossel das videiras nos períodos avançados dos ciclos de produção.

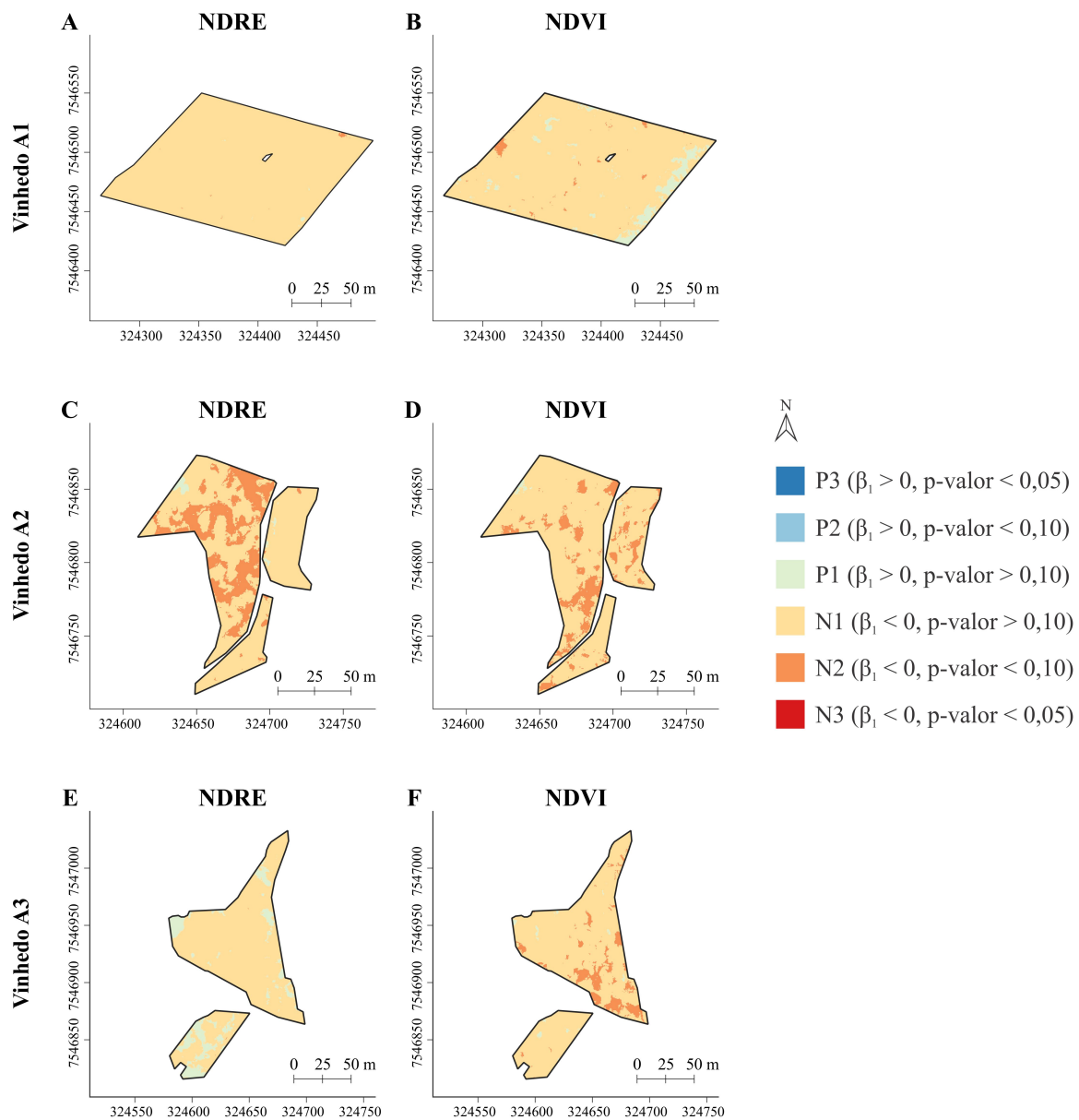


FIGURA 3. Tendência espaço-temporal do vigor vegetativo, representado pelos os índices de vegetação NDRE e NDVI, no decorrer de dois ciclos de produção consecutivos.

No vinhedo A1, a tendência negativa e não significativa (N1) da variabilidade do vigor vegetativo ao longo do tempo foi mais prevalente em comparação aos demais vinhedos e mais evidente conforme as estimativas do NDRE (99,76% da área). Entretanto, neste mesmo vinhedo, uma tendência de variação positiva e não significativa (P1) do vigor vegetativo foi identificada em 5,84% da área total, segundo as estimativas do NDVI. No vinhedo A2, apesar da tendência negativa e não significativa predominante (N1, em 72,12 e 84,74% da área conforme o NDRE e NDVI, respectivamente), foi observada uma tendência negativa e significativa (N2) quanto à variação espaço-temporal do vigor vegetativo em algumas regiões do seu território. Esta tendência foi evidenciada de forma distinta por cada IV, uma vez que se apresentou em 23,55 e 11,98% da área total do vinhedo, segundo as estimativas do NDRE e NDVI, respectivamente. Por sua vez, no vinhedo A3, a semelhança dos demais vinhedos, a tendência negativa e não significativa (N1) da variação do vigor vegetativo também prevaleceu (em 86,67 e 88,73% da área conforme o NDRE e NDVI, respectivamente). Porém, uma tendência de variação negativa e significativa (N2) foi identificada em 9,26% da sua área total, conforme o NDVI, além de uma tendência positiva significativa em 13,30% do vinhedo, segundo o NDRE. Estes resultados indicaram que a caracterização do vigor vegetativo feita por diferentes IV promoveu discrepâncias na análise de tendência espaço-temporal. A eventual tendência negativa observada em alguns casos indicou um declínio consistente no vigor vegetativo das videiras localizadas em algumas regiões dos vinhedos no decorrer do período observado. A significância desta tendência negativa sugeriu que o declínio no vigor não ocorreu de forma aleatória, mas sim por uma variação sistemática ao longo do tempo. Isso sugeriu que alguns fatores subjacentes, e.g. o estresse ambiental, a ocorrência de pragas ou doenças, a deficiência nutricional ou as práticas de manejo, afetaram o crescimento das videiras. Os resultados justificam o manejo do vinhedo a partir do monitoramento de IV para identificação das causas específicas e possíveis intervenções sobre os fatores que contribuem para a alteração do vigor vegetativo em locais específicos.

CONCLUSÕES: Embora diferentes índices de vegetação obtidos via sensoriamento proximal possam ser adotados para a caracterização da tendência espaço-temporal do vigor vegetativo de videiras, estes podem promover divergências nesta análise.

AGRADECIMENTOS: À Vinícola Guaspari pela concessão das áreas de estudo, à CAPES e ao CNPq pela concessão de bolsas de estudo aos autores, à FAPESP pelo apoio financeiro ao projeto, à Embrapa Instrumentação pela disponibilização de equipamentos e infraestrutura.

REFERÊNCIAS:

KENDALL, M.G. A New Measure of Rank Correlation. **Biometrika**, v.30, p.81-93, 1938.

KENDALL, M.G. **Rank Correlation Methods**. London: Charles Griffin, 1975.

MANN, H.B. Nonparametric Tests Against Trend. **Econometrica**, v.13, n.3, p.245-259, 1945.

REGINA, M. A.; MOTA, R. V.; SOUZA, C. R.; FAVERO, A. C. Viticulture for fine wines in Brazilian southeast. **Acta Horticulturae**, v.910, p.113–120, 2011.

SEN, P.K. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. **Journal of the American Statistical Association** v.63, p.1379-1389, 1968.

THEIL, H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. I - III. **Proceedings van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen** 53: p.386–392, p.521–525, p.1397–1412, 1950.