

GERAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO EM POMARES DE MACIEIRAS COM BASE EM NDVI E PRODUTIVIDADE: UMA ANÁLISE EXPLORATÓRIA

Luciano Gebler¹; Renata Bulling Magro²; Andrea de Rossi¹; Eduardo Antonio Speranza³; Marcio da Silva Santos⁴

¹Eng. Agrônomo, Pesquisador - Embrapa Uva e Vinho, Vacaria, RS. luciano.gebler@embrapa.br / (54) 9 9127-9398; ²Eng° Ambiental e Sanitarista, Bolsista DTI - Embrapa Uva e Vinho, Vacaria, RS; ³Bacharel em Ciência da Computação, Analista - Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP; ⁴Eng. Agrônomo, Pesquisador - Agriexata, Vacaria, RS

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

RESUMO: Índices de vegetação, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), configuram ferramentas úteis para a geração de informações rápidas e precisas sobre as condições vegetativas de pomares, podendo contribuir para o aumento da produtividade. Neste trabalho, avaliou-se de maneira exploratória a aplicabilidade do NDVI para classificação de padrões temporais de velocidade de crescimento vegetativo de pomares de macieira, a fim de identificar os períodos capazes de fornecer dados mais relevantes a respeito do vigor do pomar e favorecer a definição de zonas de manejo. A área experimental corresponde a dois pomares de macieira da cultivar Gala, localizados na Embrapa em Vacaria (RS). Utilizou-se um sensor proximal para obtenção do NDVI a campo e gerando os mapas interpolados a seguir, calculando-se posteriormente a taxa de crescimento vegetativo. Realizou-se uma análise prospectiva para definição de zonas de manejo a partir do NDVI, considerando a produtividade como variável alvo. Os resultados preliminares sugerem ser possível identificar os períodos temporais mais relevantes para a aquisição de dados objetivando o manejo da produtividade. Assim, espera-se contribuir com um método de baixo custo e relativamente pouco dispendioso para a definição de zonas de manejo no pomar, visando aumento da produtividade.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento proximal; Fruticultura de precisão; Mapas de vigor

GENERATION OF MANAGEMENT ZONES IN APPLE ORCHARDS BASED ON NDVI AND PRODUCTIVITY: AN EXPLORATORY ANALYSIS

ABSTRACT: Vegetation indices, such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), are useful tools for generating fast and accurate information on the vegetative conditions of orchards which can contribute to increased productivity. In this paper, applicability of the NDVI was evaluated in an exploratory way for classifying temporal patterns of vegetative growth velocity in apple orchards, in order to identify the periods capable of providing the most relevant data regarding the vigor of the orchard and favoring the definition of management zones. The experimental area corresponds to two apple orchards of the cultivar Gala, located at Embrapa in Vacaria (RS). A proximal sensor was used to obtain the NDVI in the field, generating the following interpolated maps, subsequently calculating the rate of vegetative growth. A prospective analysis was carried out to define management zones based on the NDVI, considering productivity as the target variable. Preliminary results suggest that it is possible to identify the most relevant time periods for the acquisition of data aimed at managing productivity. Thus, it is expected to contribute with a low-cost and relatively inexpensive method for the definition of management zones in the orchard, aiming at increasing productivity.

KEYWORDS: Proximal sensing; Precision fruit growing; vigor maps

INTRODUÇÃO: A agricultura de precisão (AP) está diretamente relacionada à obtenção mais rápida e eficiente de informações sobre a variabilidade de parâmetros agrônômicos durante as diferentes fases de crescimento vegetativo, no sentido de auxiliar a gestão ambiental da área e a tomada de decisão por parte dos produtores (Sinha et al, 2021). Os atuais esforços de investigação com relação à variabilidade temporal e espacial da produção de espécies frutíferas perenes contribuem para um crescente interesse em técnicas de sensoriamento remoto, principalmente para estimar variáveis biofísicas de áreas produtivas, tais como forma

e tamanho do dossel das plantas, indicadores de qualidade, rendimento e vigor (HALL et al, 2003; SANTOS; GEBLER; SEBEM, 2022; ZARCO-TEJADA et al, 2022).

A partir de imagens obtidas por sensoriamento remoto pode-se gerar os índices de vegetação (IVs), que são transformações lineares da reflectância do dossel e utilizam faixas do espectro eletromagnético relacionadas às características vegetativas. Entre os IVs, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) vem sendo utilizado desde os anos 1970 para monitoramento de biomassa (ROUSE et al., 1974; GAMON et al., 1995), pois é um indicador sensível à quantidade e a condição da vegetação, cujos valores variam no intervalo de -1 a 1. O NDVI está diretamente relacionado aos marcadores biofísicos de rendimento e de crescimento das culturas (ASNER, 1998) e possui aplicações diretas para o monitoramento de perfis sazonais e temporais da atividade fotossintética de diferentes cultivos agrícolas.

Os perfis temporais de NDVI podem ser utilizados para análise de variações fisiológicas, duração de períodos de senescência e de crescimento (PONZONI et al, 2012). Na produção de *Vitis vinifera* L., o NDVI vem sendo utilizado para a avaliação de crescimento de biomassa e classificação de vigor (VÉLEZ et al, 2022; BONILLA et al., 2015; OLDONI et al, 2019). Inclusive, é considerado como um indicador indireto de quantidade e qualidade da produção de vinhas (CANCELA et al.,2017; HALL et al., 2010). No entanto, para outras culturas perenes, por exemplo, a macieira (*Malus domestica* B.), o uso do NDVI como uma ferramenta para quantificação e caracterização temporal do crescimento vegetativo carece de mais análises.

Este é um estudo prospectivo com o objetivo de determinar a viabilidade de utilização do NDVI para quantificar as variações anuais de crescimento de macieira da cultivar Gala, conjuntamente como uma evidência do impacto da temporalidade do vigor do pomar na produtividade, buscando identificar períodos mais relevantes capazes de fornecer dados para posterior caracterização de zonas de manejo.

MATERIAIS E MÉTODOS: Área de estudo

A área experimental corresponde a dois pomares de macieira, nomeados Fitotecnia e Gestão, que contêm a cultivar Gala com 11 anos de idade, localizados na Estação Experimental de Fruticultura de Clima Temperado da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Uva e Vinho (28°30'58.2"S, 50°52'52.2"W) no município de Vacaria - RS.

O clima na região é considerado Cfb, do tipo subtropical úmido de acordo com a classificação de Köppen (PEEL et al, 2007). A característica do clima é de verões amenos e invernos frios, com média de temperatura máxima de 25°C e de temperatura mínima de 15°C. A precipitação ocorre de forma bem distribuída ao longo do ano, com média de 1.400 mm/ano, de acordo com dados da estação meteorológica do Inmet.

Obtenção do NDVI por sensor proximal

Para obtenção das respostas espectrais da cultura, foram realizadas leituras de NDVI com o sensor óptico ativo FLEXUM, de fabricação da empresa brasileira Falker. O sensor possui resolução de 50 cm e realiza uma leitura por segundo de forma contínua, isso garante a produção de mapas de pontos de alta densidade.

As leituras com o sensor foram realizadas dias após a superação da dormência (DASD) das plantas de ambos os pomares (Fitotecnia e Gestão), em intervalos semanais ou quinzenais aproximadamente, totalizando 7 leituras. As leituras de NDVI do ano de 2020 iniciaram no dia 15 de setembro e finalizaram no dia 27 de outubro. Para 2021, realizamos leituras entre os dias 13 de setembro e 29 de novembro, resultando em cerca de um mês a mais de dados. No entanto, observou-se pouca variação dos valores de NDVI a partir do início de novembro (dados não apresentados); dessa forma, optou-se por apresentar, para ambos os pomares, a evolução do NDVI nos períodos de leituras concomitantes para 2020 e 2021 (Tabela 1).

TABELA 1. Datas de leitura de NDVI em 2020 e 2021. NDVI measurement dates in 2020 and 2021.

Leitura N#	Ano 2020		Ano 2021	
	dd/mm	DASD*	dd/mm	DASD*

01	15/09	17	13/09	16
02	22/09	24	22/09	25
03	29/09	31	29/09	32
04	06/10	38	07/10	40
05	14/10	46	19/10	52
06	21/10	53	26/10	59
07	27/10	59	03/11	66

*DASD= dias após a superação da dormência das plantas.

Processamento dos dados

O processamento dos dados foi realizado no software Qgis 3.16. A primeira etapa do processamento consistiu em uma análise exploratória com a finalidade de identificar valores anômalos (outliers) de NDVI. Para remoção destes, realizou-se a limpeza e filtragem dos dados por análise estatística (Boxplot) e análise da distribuição espacial dos pontos - verificação dos valores em relação à sua vizinhança.

Para geração de mapas do tipo raster, contendo as informações de NDVI para a totalidade das áreas de interesse, os dados foram interpolados a partir do método do inverso de potência das distâncias, utilizando parâmetro de potência 2 (IDW²).

Obtenção da taxa de crescimento vegetativo (TCV)

A partir da série temporal de mapas de NDVI interpolado, calculou-se a derivada pela álgebra de mapas no SIG (Equação 1) para cada um dos pomares avaliados. O cálculo da derivada permitiu a obtenção da taxa de variação de crescimento vegetativo (TCV) ao longo do tempo.

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

$TCV = \frac{(L_i - L_{i-1})}{\Delta t}$ = Taxa de crescimento vegetativo (adimensional); $L_i = \frac{L_i}{1}$ = Mapa NDVI da leitura atual; $L_{i-1} = \frac{L_{i-1}}{1}$ = Mapa NDVI da leitura anterior; $\Delta t = \frac{t_i - t_{i-1}}{1}$ = Intervalo de tempo entre as leituras.

Em seguida, para elaboração dos mapas temáticos, realizou-se a reclassificação dos mapas da TCV em 5 classes. Para fins de comparação temporal da TCV, definiu-se classes com base na TCV do ano de 2020, sendo utilizadas as mesmas classes para a categorização dos resultados do ano de 2021 (Tabela 2).

TABELA 2. Descrição das classes para classificação da taxa de crescimento vegetativo (TCV). Description of classes for classifying vegetative growth rate (VGR).

Classe	Interpretação	Intervalo de valores
1	Muito baixa	(0 – 0,0014)
2	Baixa	(0,0014 – 0,0124)
3	Média	(0,0124 – 0,0234)
4	Alta	(0,0234 – 0,0345)
5	Muito alta	(0,0345 – 0,0455)

Análise do NDVI versus produtividade para geração de zonas de manejo (ZM)

Para uma análise preliminar referente a geração de zonas de manejo (ZM) no pomar, os dados de NDVI foram cruzados com os dados de produtividade. Devido a problemas de colheita em 2020, apenas os dados do pomar Gestão puderam ser avaliados. Para essa análise, utilizando a metodologia descrita em Gavioli et al. (2016), foram utilizados: a) algoritmos de agrupamento de dados; b) diferentes combinações de atributos de entrada compreendendo o NDVI nos diferentes estádios fenológicos da cultura; c) verificação da redução da variância da produtividade dos mapas de ZM produzidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Variações temporais do NDVI

A Figura 1 apresenta a variação dos índices NDVI dos pomares de macieira Fitotecnia e Gestão para a safra 2020/2021 e para a safra 2021/2022.

Para ambos os pomares, foram identificados maiores valores de NDVI a partir de 46 DASD no ano de 2021 em comparação ao ano anterior, onde estão associados à maior presença de vegetação. Diversos fatores contribuem para variações temporais de NDVI em pomares de espécies frutíferas perenes, como a quantidade de horas-frio, acumulado de precipitação e variações de temperatura máxima e mínima, que podem impactar de forma positiva ou negativa o desenvolvimento vegetativo da planta para o ano seguinte (PETRI et al, 2012).

Além disso, os resultados demonstraram uma tendência temporal de crescimento dos valores de NDVI (Figura 1). Para o pomar Fitotecnia em 2020, os valores médios de NDVI variaram entre 0,115 nos 17 DASD e 0,355 em 59 DASD. Em 2021, foram encontrados entre 0,175 (16 DASD) e 0,420 (66 DASD). Essa tendência foi identificada também no pomar Gestão, em 2020 os valores variaram entre 0,115 e 0,350; para 2021, obteve-se NDVI variando entre 0,100 e 0,395. É natural que exista uma evolução da área foliar das plantas a partir da superação da dormência, fato evidenciado pelos resultados obtidos neste trabalho.

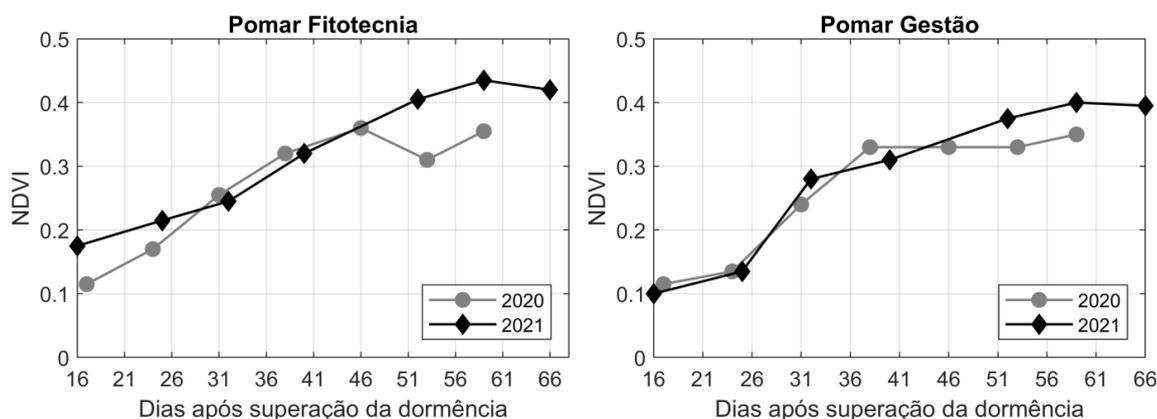


Figura 1. Valores médios do índice de vegetação (NDVI) das leituras realizadas nos pomares Fitotecnia e Gestão em 2020 e 2021. Average values of vegetation index (NDVI) from Fitotecnia and Gestão orchards in 2020 and 2021.

Nesse sentido, espera-se que menores valores de NDVI sejam identificados no período de dormência da planta, e maiores valores identificados ao longo do ciclo vegetativo até sua estabilização, com enfolhamento máximo das plantas. No caso deste experimento, a quebra de dormência foi realizada no dia 28/ago/2020 e, no ano seguinte, em 27/ago/2021, sendo perceptível a tendência de incremento do NDVI ao longo do mês de setembro e outubro, que corresponde ao período entre 16 a 40 dias após a superação da dormência (DASD) (Tabela 1). Dessa forma, a avaliação dos padrões de NDVI dos anos de 2020 e 2021 reflete o comportamento natural dos estádios de desenvolvimento fenológico da macieira, considerando o período de realização das leituras. Evolução similar de NDVI foi encontrada por Pauletto et al (2019) para pomares de maçã na mesma região, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho.

Os valores de NDVI obtidos a partir de 59 DASD apresentaram tendência à estabilidade (Figura 1), o que pode indicar suspensão do crescimento vegetativo dos pomares. Isso pode ser explicado pelo fato de que a partir de

um dado momento a energia da planta que estava sendo utilizada para o aumento de área foliar passa a ser direcionada para o desenvolvimento dos frutos (PALLARDY, 2010). Na fenologia da macieira, os 59 DASD correspondem a fase de crescimento reprodutivo, quando os fotoassimilados produzidos pela planta são direcionados prioritariamente aos frutos em detrimento ao crescimento vegetativo (folhas, ramos, etc.) (NACHTIGALL; DECHEN, 2006). Assim, ocorre um período contínuo de evolução dos valores de NDVI seguido por um período de estabilidade ou, até mesmo, de redução. Dessa forma, os resultados das leituras de NDVI indicaram que o período de 24 até 59 DASD foi o ideal para avaliação da evolução da biomassa e, consequentemente, da velocidade de crescimento vegetativo nos pomares Fitotecnia e Gestão.

Tendências da taxa de crescimento vegetativo (TCV)

A partir do cálculo da derivada do NDVI, obteve-se TCV da cultura ao longo do tempo com o objetivo de determinar a velocidade de evolução da biomassa ao longo da série temporal de estudo, assim como identificar os períodos de maior ou menor crescimento vegetativo. Caracterizou-se a TCV em diferentes classes, sendo a classe igual a 1 correspondente a uma taxa de crescimento muito baixa, e a classe igual a 5 indica taxa de crescimento muito alta (Tabela 2).

Verificou-se presença de TCV média no período de 24 a 38 DASD (meados de setembro até meados de outubro) para o pomar Fitotecnia em 2020 (Figura 2). De forma semelhante, os resultados obtidos para 2021 indicaram TCV média e alta a partir de 25 a 40 DASD (Figura 3). Isto é, o pico de velocidade de crescimento vegetativo foi identificado no período supracitado, que corresponde ao final de setembro e início de outubro.

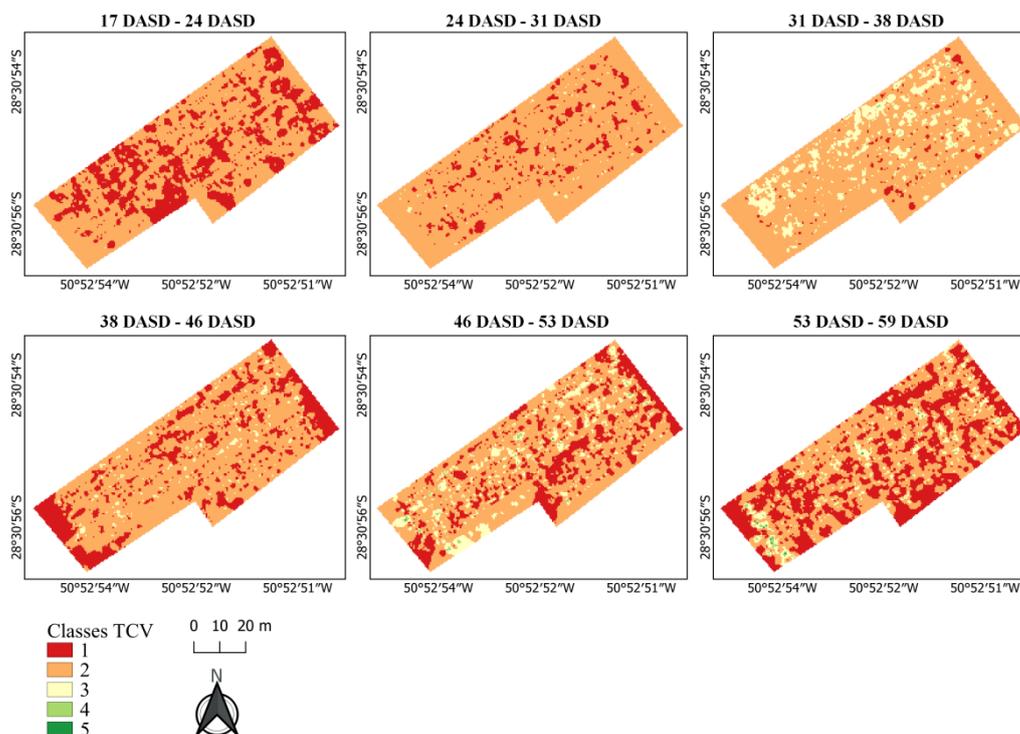


FIGURA 2. Mapas da taxa de crescimento vegetativo (TCV) no pomar Fitotecnia em 2020. Classified vegetative growth rate (VGR) maps at Fitotecnia orchard in 2020.

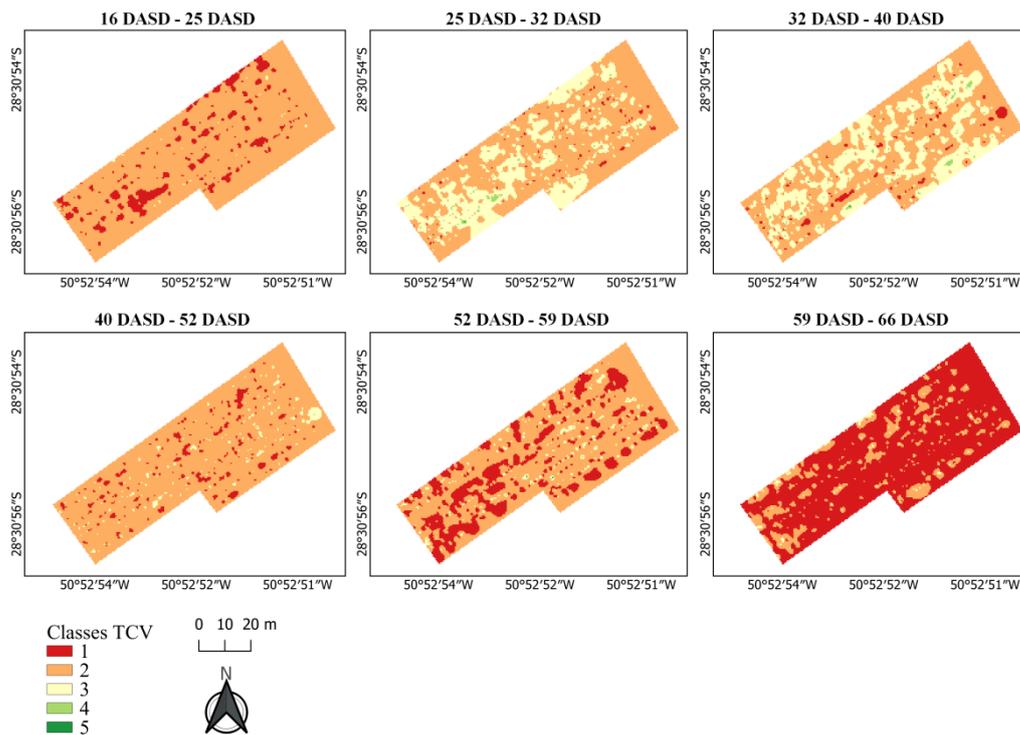


FIGURA 3. Mapas da taxa de crescimento vegetativo (TCV) no pomar Fitotecnia em 2021. Classified vegetative growth rate (VGR) maps at Fitotecnia orchard in 2021.

A TCV de uma planta ao longo do tempo pode ser relacionada como vigor. Dessa forma, pode-se inferir que entre 25 e 40 DASD representou o período de maior velocidade de desenvolvimento de biomassa, caracterizando o período ideal para captura de imagens de sensoriamento remoto com o intuito de avaliação do vigor do pomar.

A partir de 52-53 DASD, observou-se predominância de TCV baixa e muito baixa (Figuras 2 e 3), o que pode indicar que a cultura está dando sinais de estabilização de crescimento. Os resultados desta etapa estão em consonância com a tendência observada na avaliação temporal do NDVI, que apresentou aumento significativo no período de setembro a início de outubro e estabilização da taxa de crescimento ao final de outubro.

A tendência de comportamento da TCV observado no pomar Fitotecnia é semelhante entre os anos de 2020 e 2021. A partir da avaliação temporal, identificou-se um padrão de crescimento vegetativo nessa área relacionado com as estádios fenológicos da macieira, porém na média, os resultados da taxa de crescimento para o ano de 2021 são mais significativos, sendo que a maior taxa para 2020 foi de 0,014, enquanto para 2021 foi de 0,018 (Figura 4).

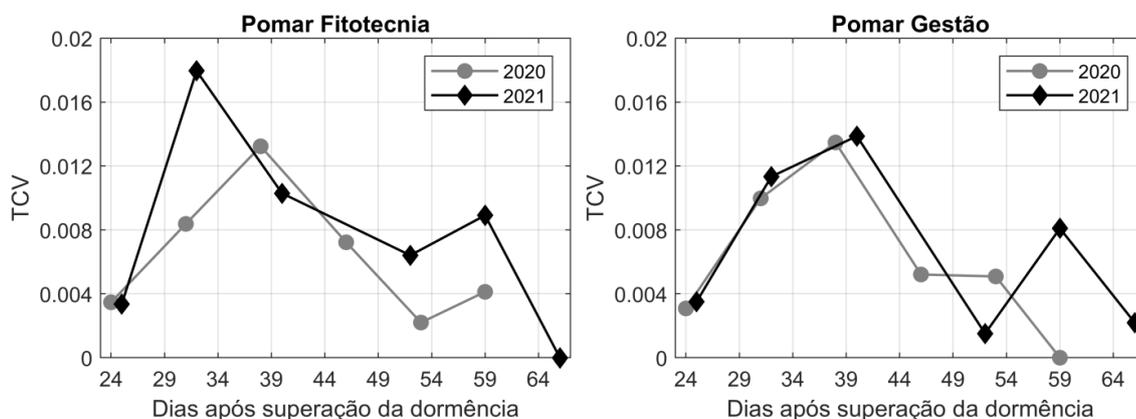


FIGURA 4. Taxa de crescimento vegetativo (TCV) média nos pomares Fitotecnia e Gestão ao longo do tempo. Time-series average vegetative growth rate (VGR) in Fitotecnia and Gestão orchards.

Para o pomar Gestão, os resultados da TCV são semelhantes nos anos de 2020 e 2021 (Figura 4). No entanto, em 2021, notou-se uma redução drástica na taxa de crescimento aos 52 DASD, o que não ocorreu no ano anterior. Sugere-se que isso pode ser um indicativo da variabilidade intrínseca ao desenvolvimento vegetativo da macieira na região dos Campos de Cima da Serra quando comparamos diferentes safras, mas também, principalmente, pela baixa precipitação pluviométrica nesse ano comparado ao ano anterior no período do estudo; em 2020 a precipitação acumulada de julho a novembro foi de 1.471,2 mm enquanto, em 2021, a precipitação acumulada de julho a novembro foi de 577,0 mm (Inmet, 2022). Além disso, em média, a TCV para a última semana de leitura de NDVI realizada no pomar em 2020, que corresponde a 59 dias ASD, é igual a zero (Figura 4), o que corrobora com a estabilidade do desenvolvimento de biomassa constatada na análise temporal do NDVI.

Apesar da tendência de velocidade de crescimento de biomassa para o pomar Gestão ter sido semelhante nos anos analisados, para 2020 a TCV entre 24 e 38 DASD foi, em grande parte, considerada como baixa (Figura 5), enquanto que para 2021, a TCV no mesmo período deu-se, principalmente como média (Figura 6). Após esse período, para ambos os anos de análise, observamos aumento de área correspondente à TCV baixa e muito baixa, sinalizando redução na velocidade de desenvolvimento de biomassa e, conseqüente estabilidade no crescimento vegetativo.

A totalidade de área classificada com TCV média e alta foi mais significativa em 2021 (Figura 6). O que é um indicativo de que uma maior área do pomar se desenvolveu com maior velocidade em 2021 quando comparado ao ano anterior. Resultados significativos de trabalhos que correlacionam diferentes parâmetros agrônômicos com a estimativa de vigor de pomares podem ser encontrados na literatura (VIAU, 2005; BEST, 2008; TRANBAQUINI, 2021), dentre eles o NDVI, que pode ser relacionado com a velocidade de desenvolvimento de biomassa, que por sua vez pode ser considerada como um indicador do vigor da cultura. Isso corrobora os resultados obtidos que demonstraram haver períodos de maior TCV relacionado com NDVI mais alto reforçando o uso desse índice como uma ferramenta válida e eficiente para correlacionar a formação de biomassa com o vigor do pomar.

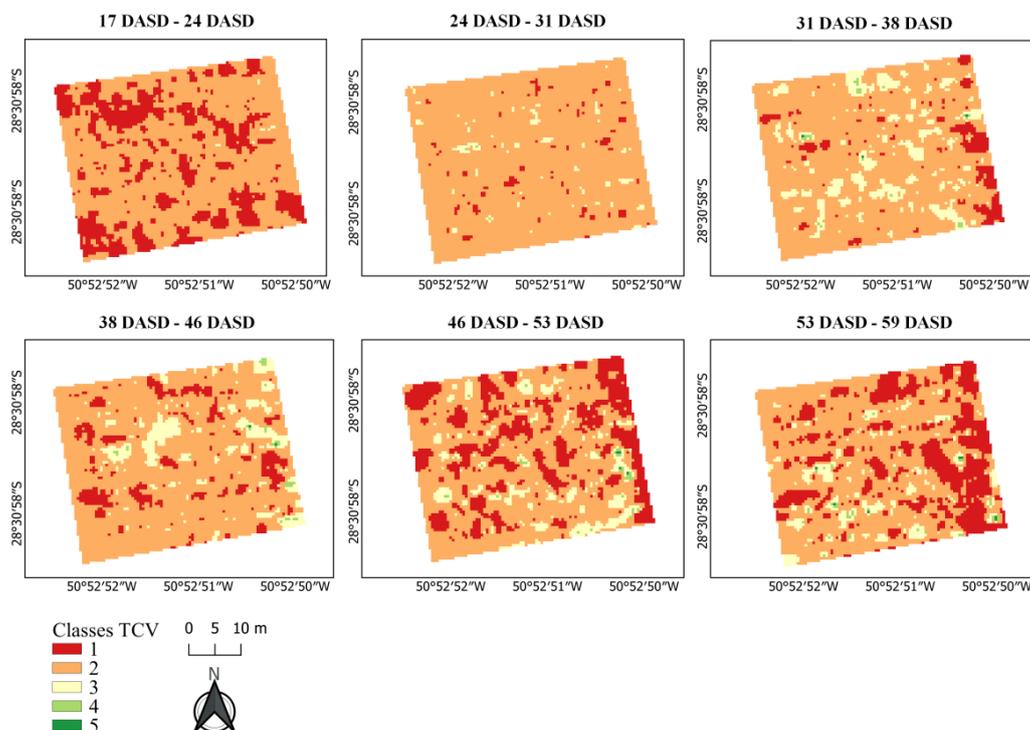


FIGURA 5. Mapas da taxa de crescimento vegetativo (TCV) no pomar Gestão em 2020. Classified vegetative growth rate (VGR) maps at Gestão orchard in 2020.

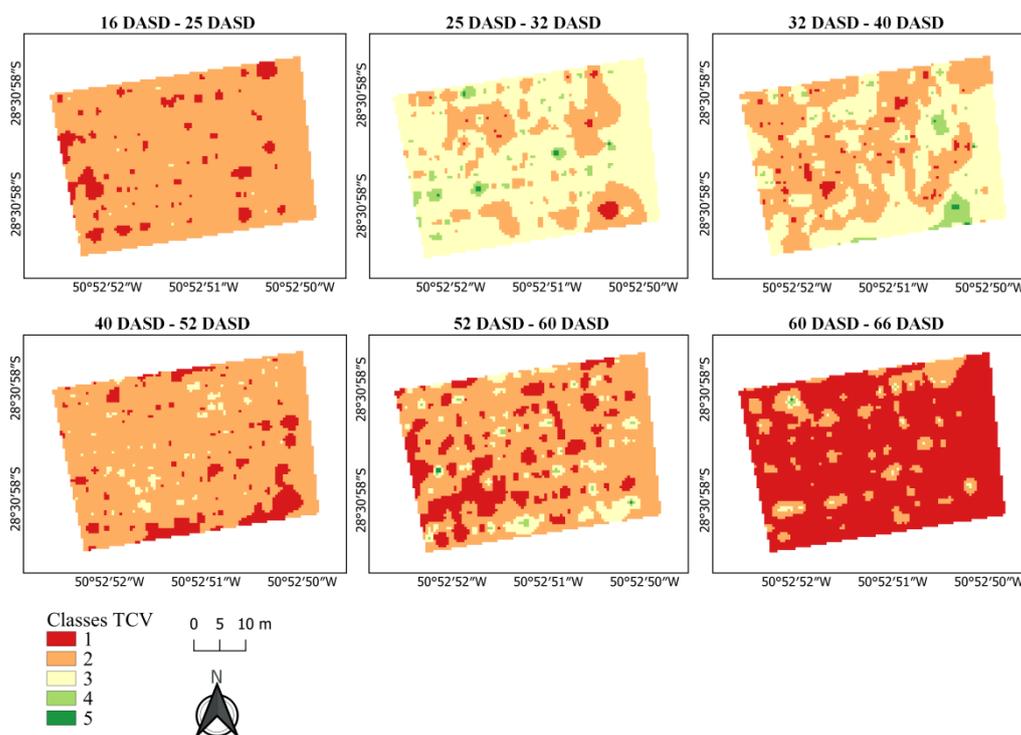


FIGURA 6. Mapas da taxa de crescimento vegetativo (TCV) para o pomar Gestão em 2021. Classified vegetative growth rate (VGR) maps at Gestão orchard in 2021.

Partindo-se do princípio de que o vigor assegura o equilíbrio entre as fases vegetativa e reprodutiva da planta, seu manejo é de grande interesse para os produtores. Nesse sentido, identificar a variabilidade espacial e temporal do vigor utilizando o NDVI pode beneficiar a gestão da cultura e tornar homogênea a qualidade e a quantidade da produção (OLDONI et al, 2021; BRAMLEY et al., 2011); o que, a partir dos resultados preliminares obtidos neste trabalho, pode vir a ser mais bem explorado para a gestão da cultura de macieiras. Os resultados desta pesquisa indicam a relação entre o NDVI e o vigor, mas também apontam ser possível identificar padrões temporais de velocidade de crescimento vegetativo ao longo do ciclo de desenvolvimento de biomassa em pomares de maçã a partir da TCV.

Geração de zonas de manejo (ZM) com base no NDVI e na produtividade

Para avaliação da relação entre o NDVI e a produtividade, foram considerados mapas contendo de 2 a 5 ZM. Os resultados indicaram que os dados de NDVI obtidos nos estádios de Brotação (BT), Queda de pétalas (QP) e Crescimento na leitura 07 (C3), que correspondem a 24, 38 e 59 DASD respectivamente, são os mais importantes e correlacionados com a produtividade (Tabela 3). Isso sugere que esses são os períodos temporais que mais contribuem para geração de mapas de ZM com alta redução da variância da produtividade. Assim, a coleta de dados de NDVI nos demais estádios fenológicos tem pouco impacto na obtenção de ZM com o intuito de gestão da produtividade.

TABELA 3. Porcentagem de redução de variância considerando a produtividade como variável alvo, para o agrupamento gerado por dados de NDVI em cada estágio fenológico ou combinação deles. Percentage of variance reduction considering yield as the target variable, for clustering generated by NDVI data at each phenological stage or combination of them.

#ZM	Redução percentual da variância da produtividade									
	PV	BT	FL	QP	C1	C2	C3	CT	Todas	BT-QP-C3
DASD	17	24	31	38	46	53	59	-	-	-

2	0,00	24,02	7,09	26,12	-0,02	0,43	31,29	1,04	-0,02	19,84
3	9,00	25,16	22,64	26,06	21,80	3,60	32,09	19,56	12,73	27,58
4	27,01	33,42	24,29	0,00	21,79	16,97	34,53	19,76	14,91	32,29
5	8,28	18,47	11,12	0,00	5,52	13,48	20,02	15,05	30,39	9,24

ZM=Número de zonas de manejo; PV=Ponta Verde; BT=Brotação; FL=Início da Floração (leitura 03); QP=Queda de Pétalas (leitura 04); C1=Crescimento (leitura 05); C2=Crescimento (leitura 06); C3=Crescimento (leitura 07); CT=combinação de C1, C2 e C3; Todas=combinação de todos os estádios; BT-QP-C3 (combinação dos estádios de Brotação, Queda de Pétalas e Crescimento na leitura 07).

CONCLUSÃO: Este trabalho define um método rápido e relativamente pouco dispendioso para a identificação dos períodos de maior ou menor velocidade de crescimento vegetativo em pomares de macieira por meio da avaliação da TCV, obtida a partir do NDVI, e pode auxiliar no processo de definição de ZM considerando a produtividade como variável alvo. Os resultados indicaram que existe um padrão temporal de crescimento vegetativo nos pomares avaliados, com maior crescimento vegetativo entre 24 e 40 dias após a superação da dormência. Os padrões de velocidade de crescimento vegetativo podem ser relacionados com a caracterização temporal do vigor da cultura. A metodologia apresentada pode ser útil para a identificação dos períodos mais relevantes de aquisição de dados sobre o desenvolvimento vegetativo do pomar e, conseqüentemente, dos períodos que mais contribuem para análises com o objetivo de aumento da produtividade, como a definição de ZM, auxiliando na melhoria do desempenho das práticas de gestão do pomar e proporcionando maior eficiência nos processos de tomada de decisão.

REFERÊNCIAS

ASNER, G. P. Biophysical and Biochemical Sources of Variability in Canopy Reflectance. *Remote Sensing Environmental*, v. 64, p. 234-253, 1998.

BADJANA, H. M.; OLOFSSON, P.; WOODCOCK, C. E.; HELMSCHROT, J.; WALA, K.; AKPAGANA, K.. Mapping and estimating land change between 2001 and 2013 in a heterogeneous landscape in West Africa: Loss of forestlands and capacity building opportunities. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 63, n. 63, p. 15–23, 2017.

BARROS, P. P. da S.; ROSALEN, D. L.; IOST, F. H.; MARTINS, G. D.; LEO, N. D.. Monitoramento Fitossanitário Utilizando Sensoriamento Remoto: Avanços e Desafios. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 2, p. 489–515, 2021.

BEST, S.; SALAZAR, F.; LEON, L. Crop Load Estimation Model to Optimize Yield - Quality Ratio in Apple Orchards, *Malus Domestica* Borkh, Var. Royal Gala. **Journal of Information Technology in Agriculture**, v. 3, 2008.

BONILLA, I.; MARTINEZ DE TODA, F.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A. Vine vigor, yield and grape quality assessment by airborne remote sensing over three years: Analysis of unexpected relationships in cv. Tempranillo. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 13, n. 2, 2015.

BRAMLEY, R. G. V.; OUZMAN, J.; BOSS, P. K. Variation in vine vigour, grape yield and vineyard soils and topography as indicators of variation in the chemical composition of grapes, wine and wine sensory attributes. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 17, n. 2, p. 217–229, 2011.

CANCELA, J. J.; FANDIÑO, M.; REY, B. J.; DAFONTE, J.; GONZÁLEZ, X. P. Discrimination of irrigation water management effects in pergola trellis system vineyards using a vegetation and soil index. **Agricultural Water Management**, v. 183, p. 70–77, 2017.

- GAVIOLI, A.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; GUEDES, L. P. C.; SCHENATTO, K. Optimization of management zone delineation by using spatial principal components. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 127, p. 302-310, 2016.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de dados meteorológicos. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/> Acesso em: 14 abr. 2022
- HALL, A.; LAMB, D. W.; HOLZAPFEL, B. P., LOUIS, J. P. Within-season temporal variation in correlations between vineyard canopy and winegrape composition and yield. **Precision Agriculture**, v. 12, n. 1, p. 103–117, 2010.
- HALL, A.; LOUIS, J.; LAMB, D. Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images. **Computers & Geosciences**, [s. l.], v. 29, n. 7, p. 813–822, 2003.
- NACHTIGALL, G. R.; DECHEN, A. R. Seasonality of nutrients in leaves and fruits of apple trees. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 5, p. 493–501, 2006.
- 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**, [s. l.], v. 78, n. 4, 2021. PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 1633–1644, 2007.
- PALLARDY, S. G. **Physiology of Woody Plants**. [S. l.]: Academic Press, 2010.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633–1644, 2007.
- PETRI, J. L.; HAWERROTH, F. J.; LEITE, G. B.; COUTO, M.; FRANCESCATTO, P. Apple phenology in subtropical climate conditions. In: ZHANG, X. (org.). **Phenology and Climate Change**. [S. l.]: InTech, 2012. p. 195–216.
- SANTOS, M. da 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**, [s. l.], v. 52, n. 2, 2022.
- SINHA, R.; QUIRÓS, S; SANKARAN, L; KHOT, L.. High resolution aerial photogrammetry based 3D mapping of fruit crop canopies for precision inputs management. **Information Processing in Agriculture**, 2021.
- VÉLEZ, S.; RANÇON, F.; BARAJAS, E.; BRUNEL, G.; RUBIO, J. A.; TISSEYRE, B. Potential of functional analysis applied to Sentinel-2 time-series to assess relevant agronomic parameters at the within-field level in viticulture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 194, p. 106726, 2022. Disponível em: Acesso at: 13 Apr. 2022.
- VIAU, A. A.; JANG, J. D.; PAYAN, V.; DEVOST, A. The Use of Airborne LIDAR and Multispectral Sensors for Orchard Trees Inventory and Characterization. In: 7TH Information And Technology For Sustainable Fruit And Vegetable Production, 2005, Montpellier, France. **Anais [...]**, 2005.
- ZARCOTEJADA, P.; BERJÓN, A.; LÓPEZ-LOZANO, R.; MILLER, J. R.; MARTÍN, P.; CACHORRO, V.; GONZÁLEZ, M. R.; FRUTOS, A.. Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. **Remote Sensing of Environment**, v. 99, n. 3, p. 271–287, 2005.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Third ERTS Symposium, **Proceedings**, NASA SP-351, NASA, Washignton, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.

GAMON, J. A.; FIELD, C. B.; GOULDEN, M. L.; GRIFFIN, K. L.; HARTLEY, A. E.; JOEL, G.; PENUELAS, J.; VALENTINI, R. Relationships Between NDVI, Canopy Structure, and Photosynthesis in Three Californian Vegetation Types. **Ecological Applications**, v. 5, n. 1, p. 28–41, 1995.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Texto, p. 176. 2012.