

# Geração de zonas de manejo em pomares de macieiras com base em NDVI e produtividade

*Generation of management zones in apple orchards based on NDVI and productivity*

Luciano Gebler<sup>1</sup>, Andrea De Rossi<sup>2</sup>, Renata Bulling Magro<sup>3</sup>, Eduardo Antonio Speranza<sup>4,5</sup>, Marcio da Silva Santos<sup>6</sup>, Jardel Talamini de Abreu<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho, Vacaria (RS), Brasil, [luciano.gebler@embrapa.br](mailto:luciano.gebler@embrapa.br)

<sup>2</sup> Pesquisadora, Embrapa Uva e Vinho, Vacaria (RS), Brasil, [andrea.derossi@embrapa.br](mailto:andrea.derossi@embrapa.br)

<sup>3</sup> Engenheira Ambiental e Sanitarista, Universidade de Santa Catarina, Bolsista DTI, Embrapa Uva e Vinho, Vacaria (RS), Brasil, [renatamagro4@gmail.com](mailto:renatamagro4@gmail.com)

<sup>4</sup> Bacharel, Ciência da Computação, Universidade de São Paulo, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, São Carlos (SP), Brasil, [eduardo.speranza@embrapa.br](mailto:eduardo.speranza@embrapa.br)

<sup>5</sup> Analista, Embrapa Agricultura Digital, Campinas (SP), Brasil

<sup>6</sup> Engenheiro Agrônomo, Pesquisador, Agriexata, Vacaria (RS), Brasil, [geoprural@gmail.com](mailto:geoprural@gmail.com)

<sup>7</sup> Engenheiro Agrônomo, Pesquisador, Agriexata, Vacaria (RS), Brasil, [jardeltalamini@agriexata.com.br](mailto:jardeltalamini@agriexata.com.br)

## 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. A definição de zonas de vigor no pomar, no início do ano agrícola, é uma estratégia importante, porque é possível manejar as plantas com base nas zonas geradas ainda no mesmo ciclo. Métodos tradicionais de mensuração do vigor das plantas, como a medida do diâmetro do tronco ou do volume da copa, mesmo que por amostragem, são dispendiosos e demorados. Ferramentas de sensoriamento proximal são opções econômicas e rápidas para coleta desse tipo de informações. Assim, a aplicabilidade do NDVI para classificação de padrões temporais de velocidade de crescimento vegetativo de pomares de macieira tem sido avaliada na Embrapa Uva e Vinho, em Vacaria-RS, 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. Utiliza-se um sensor proximal para obtenção do NDVI a campo, gerando mapas interpolados e, a seguir, calcula-se a taxa de crescimento vegetativo. A produtividade dos pomares é usada como variável alvo. Os resultados dos primeiros anos do estudo indicam que é possível identificar os períodos temporais mais relevantes para a aquisição de dados úteis para um manejo diferenciado do pomar. Assim, espera-se contribuir com um método, relativamente aos métodos tradicionais, de menor custo e menos demorado para a definição de zonas de manejo no pomar.


**Palavras-chave:** sensoriamento proximal; fruticultura de precisão; mapas de vigor.

## ABSTRACT

Vegetation indices, such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), are useful tools for generating fast and accurate information about the vegetative conditions of orchards, which can contribute to increased productivity. The definition of vigor zones in the orchard at the beginning of the growing cycle is an important strategy because it is possible to manage the plants based on the zones generated in the same cycle. Traditional methods of measuring plant vigor, such as measuring trunk diameter or canopy volume, even by sampling, are expensive and time-consuming. Proximal sensing tools are cost-effective and fast options for gathering this type of information. Thus, the applicability of the NDVI for classifying temporal patterns of vegetative growth rate of apple orchards has been evaluated at Embrapa Uva e Vinho in Vacaria, state of Rio Grande do Sul, Brazil, in order to identify the periods capable of providing more relevant data regarding the orchard vigor and favoring the definition of management zones. A proximal sensor is used to obtain the NDVI in the field, generating interpolated maps and then calculating the rate of vegetative growth. Orchard productivity is used as a target variable. The results of the two first years of the study indicate that it is possible to identify the most relevant periods for the acquisition of useful data for differentiated management of the orchard. Thus, it is expected to contribute with a low-cost and relatively inexpensive method for the definition of management zones in the orchard.

**Keywords:** proximal sensing; precision fruit crop; vigor maps.

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-38-0.1000031>

 Este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais, sem alterações e que o trabalho original seja corretamente citado.



## 1 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 às variabilidades 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, como forma e tamanho do dossel das plantas, indicadores de qualidade, rendimento e vigor (Hall et al., 2003; Zarcotejada et al., 2005; Santos et al., 2022).

A partir de imagens obtidas por sensoriamento remoto, podem-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., 1973; Gamon et al., 1995), pois é um indicador sensível à quantidade e à 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 (Bonilla et al., 2015; Oldoni et al., 2021; Vélez et al., 2022). Inclusive, é considerado como um indicador indireto de quantidade e qualidade da produção de videiras (Hall et al., 2010; Cancela et al., 2017). 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.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido em dois pomares de macieira, nomeados Fitotecnia e Gestão, que contêm a cultivar Maxi Gala com 11 anos de idade, localizados

na Estação Experimental de Fruticultura de Clima Temperado da Embrapa Uva e Vinho, em Vacaria-RS.

## 3 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, o que 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 sete leituras. As leituras de NDVI do ano de 2020 iniciaram no dia 15 de setembro e finalizaram no dia 27 de outubro. Para 2021, leituras foram realizadas entre os dias 13 de setembro e 29 de novembro, resultando em um tempo maior para coleta de dados em cerca de um mês. 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, em média até os 62 DASD (Tabela 1).

## 4 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, realizaram-se a limpeza e a fil-

Tabela 1. Datas de leitura de NDVI em 2020 e 2021.

Leitura N#	Ano 2020		Ano 2021	
	dd/mm	DASD	dd/mm	DASD*
1	15/9	17	13/9	16
2	22/9	24	22/9	25
3	29/9	31	29/9	32
4	06/10	38	07/10	40
5	14/10	46	19/10	52
6	21/10	53	26/10	59
7	27/10	59	03/11	66

DASD: dias após a superação da dormência.

tragem dos dados por análise estatística (Boxplot), e a 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 o parâmetro de potência 2 (IDW2).

## 5 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:

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

Em que TCV é a taxa de crescimento vegetativo (adimensional);  $L_i$  é o mapa de NDVI da leitura atual;  $L_{i-1}$  é o mapa de NDVI da leitura anterior, e  $\Delta t$  é o intervalo de tempo entre as leituras.

Em seguida, para elaboração dos mapas temáticos, realizou-se a reclassificação dos mapas da TCV em cinco classes. Para fins de comparação temporal da TCV, definiram-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).

## 6 ANÁLISE DO NDVI VERSUS PRODUTIVIDADE PARA GERAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO (ZM)

Para uma análise preliminar referente à geração de zonas de manejo (ZM) no pomar, os dados de

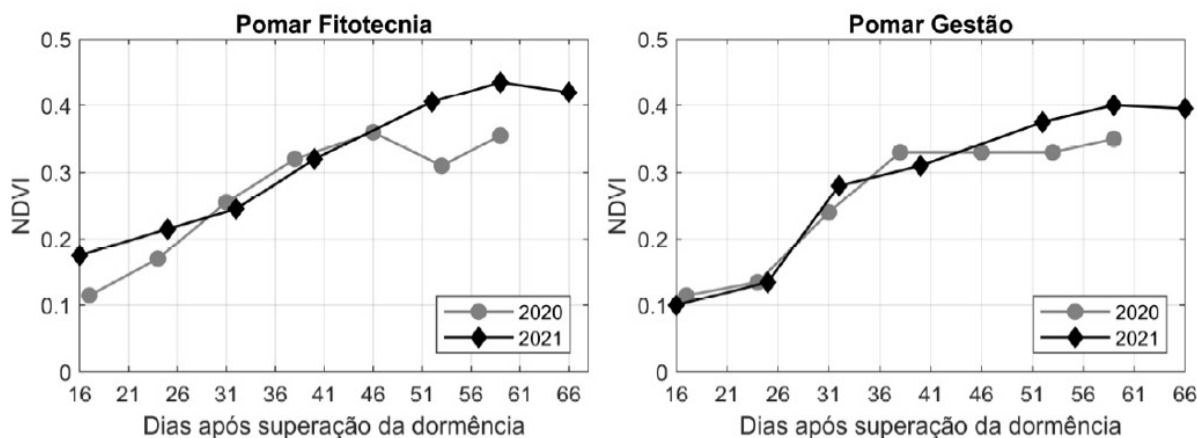
NDVI foram cruzados com os dados de produtividade. Devido a problemas de colheita em 2020, apenas os dados do pomar Gestão puderam ser avaliados. Para essa análise, utilizando a metodologia descrita em Gavioli et al. (2016), foram utilizados: a) algoritmos de agrupamento de dados; b) diferentes combinações de atributos de entrada compreendendo o NDVI nos diferentes estádios fenológicos da cultura, e c) verificação da redução da variância da produtividade dos mapas de ZM produzidos.

## 7 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, os quais estão associados à maior presença de vegetação. Diversos fatores contribuem para variações temporais de NDVI em pomares de espécies frutíferas de clima temperado, como a quantidade de horas-frio, o valor acumulado de precipitação e as variações de temperatura máxima e mínima, os quais podem impactar de forma positiva ou negativa o desenvolvimento vegetativo da planta para o ano seguinte (Petri et al., 2012).

**Tabela 2.** Descrição das classes para classificação da taxa de crescimento vegetativo (TCV).

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)



**Figura 1.** Valores médios do índice de vegetação (NDVI) das leituras realizadas nos pomares Fitotecnia e Gestão em 2020 e 2021.

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 aos 17 DASD e 0,355 aos 59 DASD. Em 2021, foram encontrados valores entre 0,175 (16 DASD) e 0,420 (66 DASD). Essa tendência foi identificada também no pomar Gestão, em 2020, quando 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.

Nesse sentido, espera-se que menores valores de NDVI sejam identificados no período de dormência da planta, e maiores valores sejam identificados ao longo do ciclo vegetativo até sua estabilização, com enfolhamento máximo das plantas. Nesse estudo, a quebra de dormência foi realizada no dia 28 de agosto de 2020 e, no ano seguinte, em 27 de agosto de 2021, sendo perceptível a tendência de incremento do NDVI ao longo dos meses de setembro e outubro, que correspondem ao período entre 16 e 40 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.

Os valores de NDVI obtidos a partir de 59 DASD apresentaram tendência à estabilidade (Figura 1), o que pode indicar estabilização 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 à fase de crescimento reprodutivo, quando os fotoassimilados produzidos pela planta são direcionados prioritariamente aos frutos, em detrimento do crescimento de 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 a 59 DASD parece ser o ideal para avaliação da evolução da biomassa e, conseqüentemente, da taxa de crescimento vegetativo nos pomares avaliados.

## 8 TENDÊNCIAS DA TAXA DE CRESCIMENTO VEGETATIVO (TCV)

A partir do cálculo da derivada do NDVI, obteve-se a taxa de crescimento vegetativo (TCV) da cultura

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 uma 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 TCVs média e alta a partir de 25 a 40 DASD (Figura 3). Assim, o pico da taxa de crescimento vegetativo foi identificado no período supracitado, que corresponde ao final de setembro e início de outubro.

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

A partir de 52-53 DASD, observou-se predominância de TCVs baixa e muito baixa (Figuras 2 e 3), o que pode indicar a estabilização de crescimento da cultura. Os resultados dessa 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 observada 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 os estádios fenológicos da macieira (Figura 4).

Para o pomar Gestão, os resultados da TCV são semelhantes entre os anos 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. Em 2020, a precipitação acumulada de julho a novembro foi de 1.471 mm, enquanto, em 2021, a precipitação acumulada no mesmo período foi de 577 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 DASD, é igual a zero (Figura 4), o que

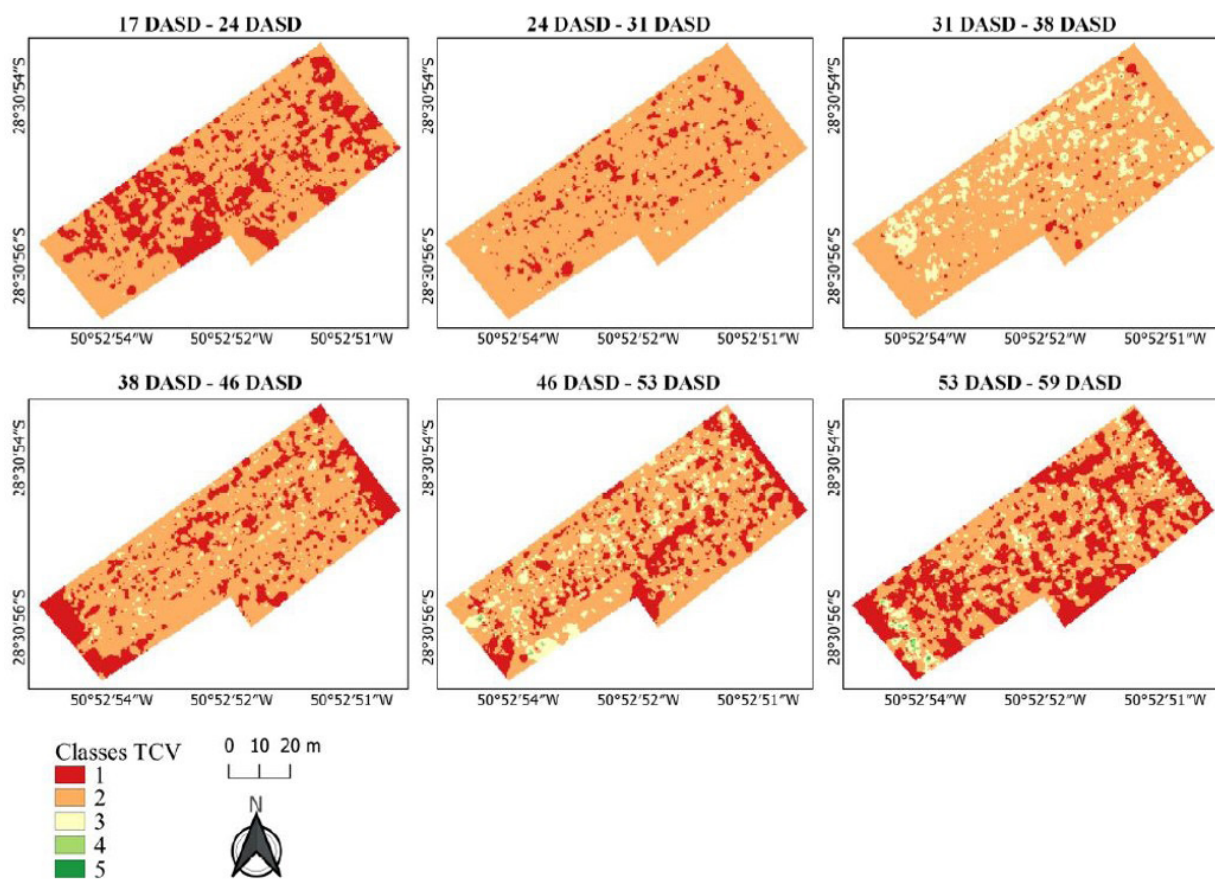


Figura 2. Mapas da taxa de crescimento vegetativo (TCV) no pomar Fitotecnia em 2020.

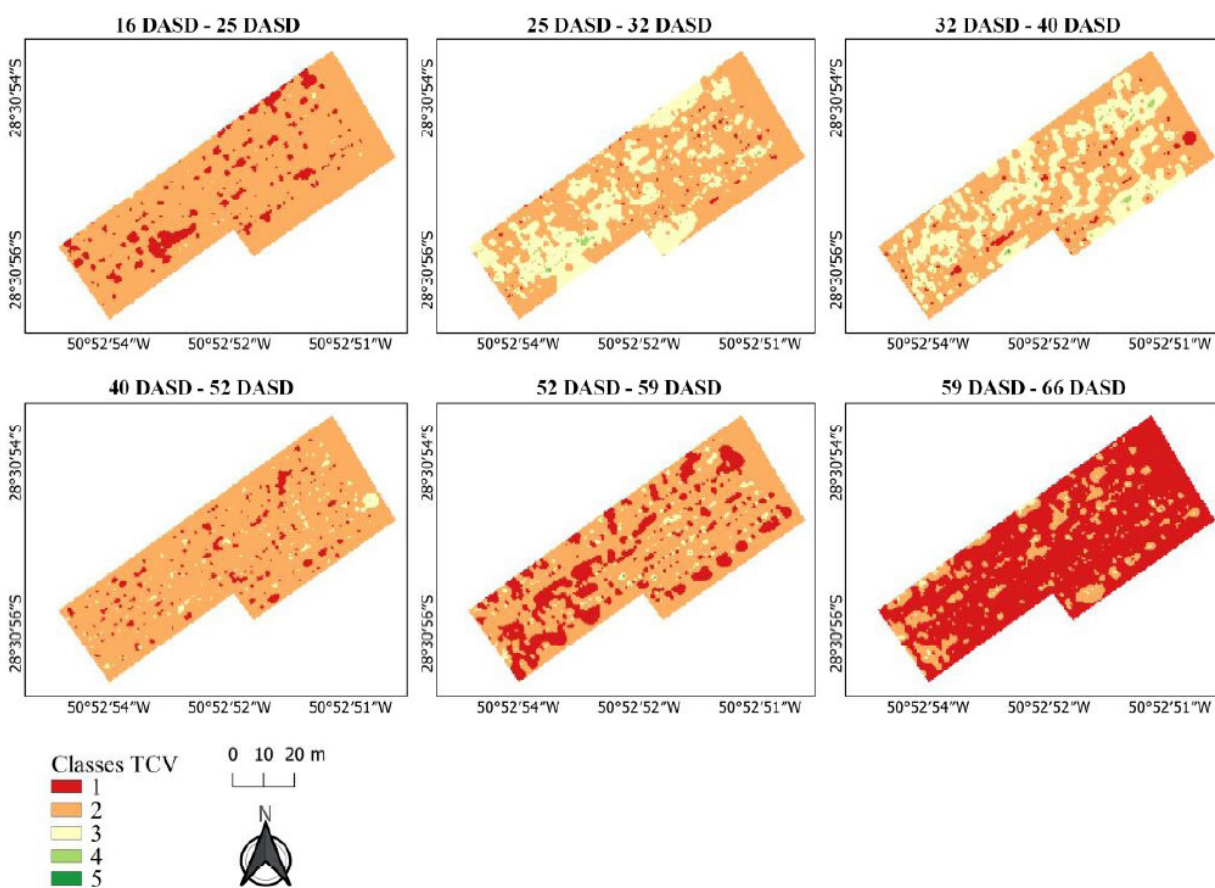


Figura 3. Mapas da taxa de crescimento vegetativo (TCV) no pomar Fitotecnia em 2021.

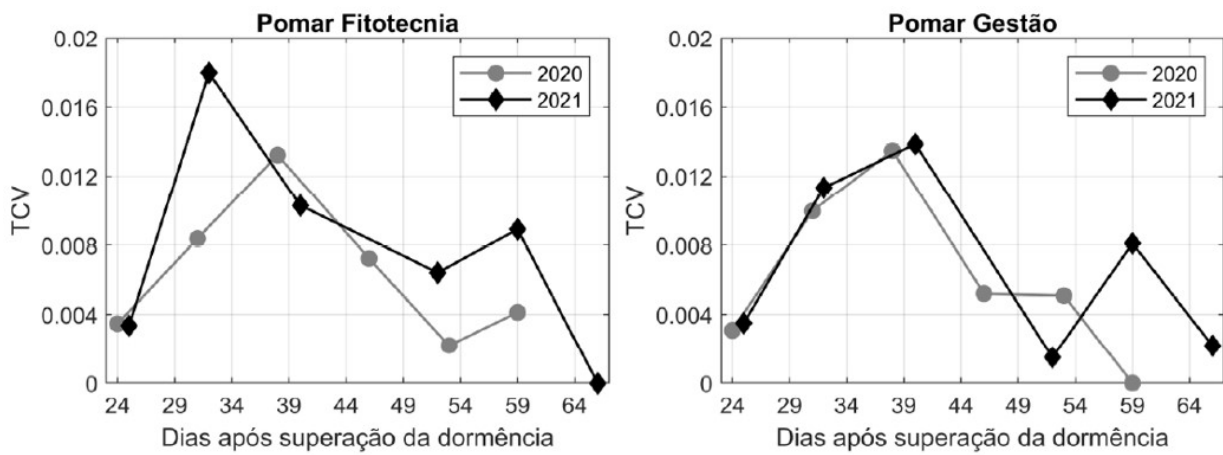


Figura 4. Taxa de crescimento vegetativo (TCV) média nos pomares Fitotecnia e Gestão ao longo do tempo.

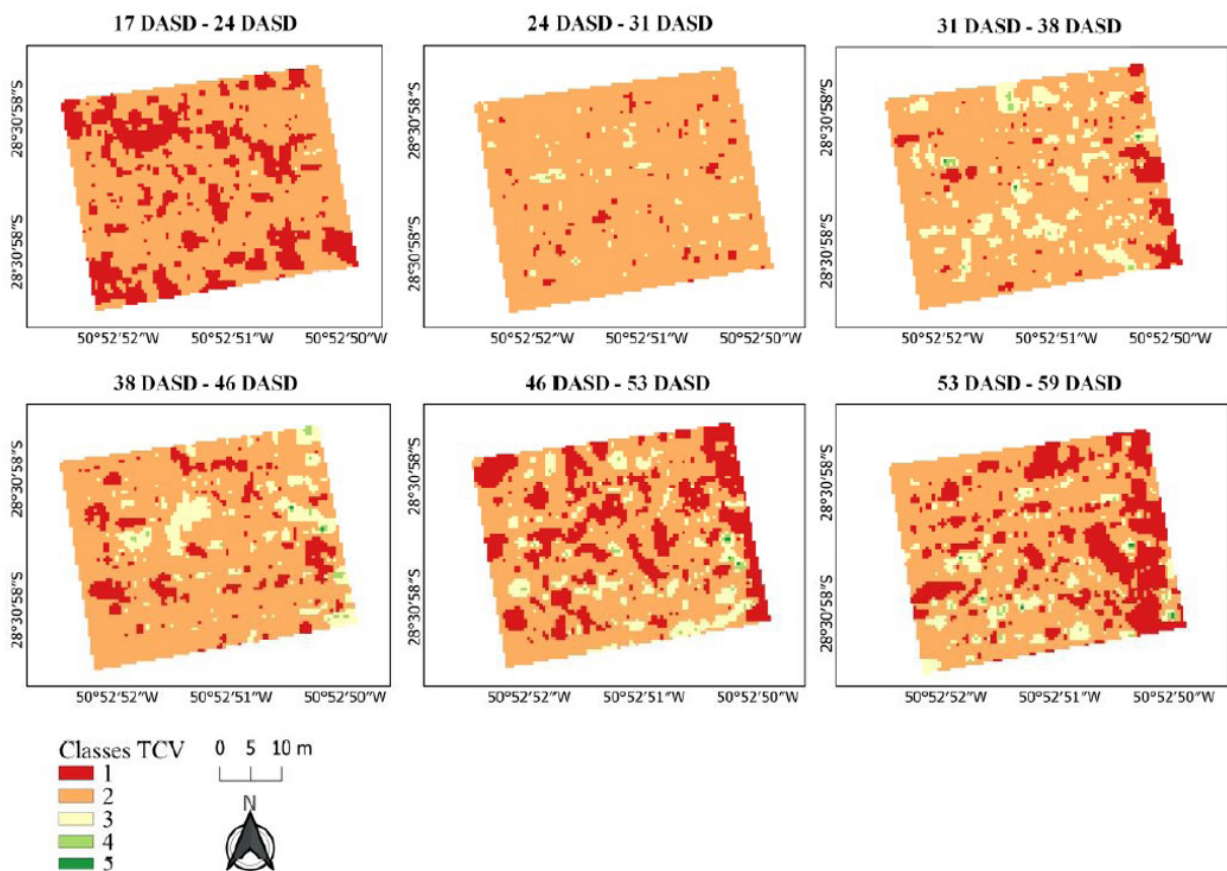


Figura 5. Mapas da taxa de crescimento vegetativo (TCV) no pomar Gestão em 2020.

corroborar com a estabilidade do desenvolvimento de biomassa constatada na análise temporal do NDVI.

Apesar de a tendência de taxa 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 foi predominantemente média (Figura 6). Após esse período, para ambos os anos de análise, ob-

servamos aumento de área correspondente a TCVs baixa e muito baixa, respectivamente, sinalizando redução na velocidade de desenvolvimento de biomassa e consequente estabilidade no crescimento vegetativo.

A totalidade de área classificada com TCVs média e alta foi mais significativa em 2021 (Figura 6), indicando que uma maior área do pomar se desenvolveu a uma maior taxa em 2021, quando comparado ao ano anterior. Trabalhos que correlacionam

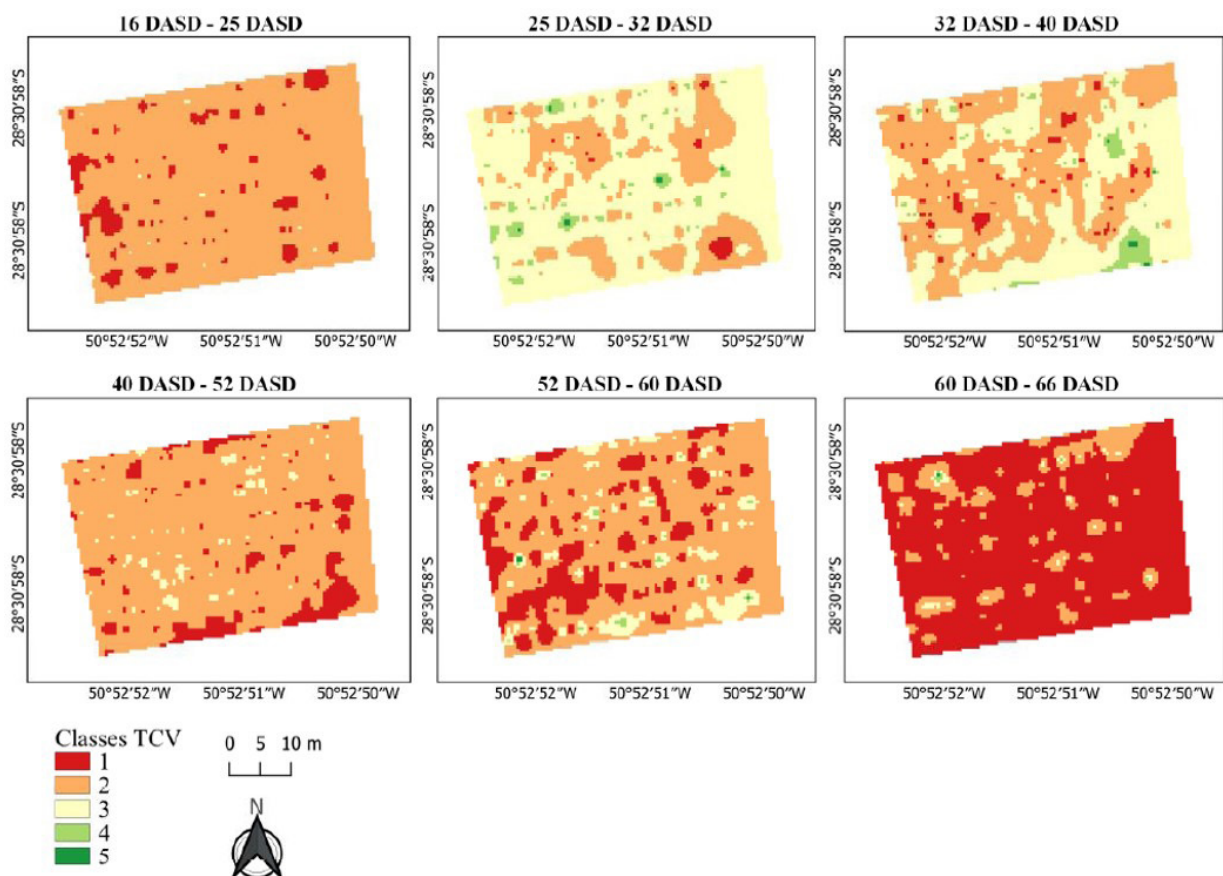


Figura 6. Mapas da taxa de crescimento vegetativo (TCV) para o pomar Gestão em 2021.

diferentes parâmetros agrônômicos com a estimativa de vigor de pomares podem ser encontrados na literatura (Viau et al., 2005; Best et al., 2008), dentre os quais o NDVI, que pode ser relacionado com a velocidade de desenvolvimento de biomassa, a qual, 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 relacionados 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.

Partindo-se do princípio de que controle do 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 (Bramley et al., 2011; Oldoni et al., 2021). A partir dos resultados preliminares obtidos neste trabalho, esse comportamento 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 identi-

car padrões temporais de taxa de crescimento vegetativo ao longo do ciclo de desenvolvimento de biomassa em pomares de maçã a partir da TCV.

### 9 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 7 (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. Portanto, um mapa de previsão de produtividade gerado com quatro zonas de manejo com base nos dados de NDVI obtidos aos 24 dias tem a menor variância, sugerindo ser a melhor opção para tomada de decisões voltadas à gestão e ao manejo do pomar com maior chance de impacto na produtividade. Assim, a coleta de dados de NDVI nos demais estádios fenológicos tem pouco impacto na obtenção de ZM

**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.

ZM	PV	BT	FL	QP	C1	C2	C3	CT	Todos	BT-QP-C3
DASD	17	24	31	38	46	53	59	-	-	-
2	0,0	24,0	7,1	26,1	0,0	0,4	31,3	1,0	0,0	19,8
3	9,0	25,2	22,6	26,1	21,8	3,6	32,1	19,6	12,7	27,6
4	27,0	33,4	24,3	0,0	21,8	17,0	34,5	19,8	14,9	32,3
5	8,3	18,5	11,1	0,0	5,5	13,5	20,0	15,1	30,4	9,2

ZM: Número de zonas de manejo; PV: ponta verde; BT: brotação; FL: início da floração (leitura 3); QP: queda de pétalas (leitura 4); C1: crescimento (leitura 5); C2: crescimento (leitura 6); C3: crescimento (leitura 7); 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 7).



**Figura 7.** Exemplo de mapa de zonas de manejo (ZM) produzido a partir dos dados de 24 DASD.

visando à gestão da produtividade. A Figura 7 apresenta um exemplo aproximado da aplicação da metodologia para geração de zonas de manejo.

## 10 CONCLUSÃO

Este trabalho define um método rápido e relativamente pouco dispendioso para a identificação dos períodos de maior ou menor taxa de crescimento vegetativo em pomares de macieira por meio da avaliação da TCV, obtida a partir do NDVI, que pode auxiliar no processo de definição de zonas de manejo considerando a produtividade como variável alvo, além da própria gestão do pomar e da tomada de decisão de ações corretivas.

Os resultados indicam 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 taxa de crescimento vegetativo podem ser relacionados com a caracterização temporal do vigor da cultura.

Para este estudo, os dados sugerem que o melhor mapa de zona de manejo relacionando NDVI com produtividade seria obtido pelo cruzamento das duas variáveis obtidas durante os 24 DASD (BT), gerando um mapa com quatro zonas.

## REFERÊNCIAS

ASNER, G. P. Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. **Remote Sensing Environmental**, v. 64, n. 3, p. 234-253, 1998.



- 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, p. 11-18, 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, e0903, 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.
- 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.
- 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.
- 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**, v. 29, n. 7, p. 813-822, 2003.
- INMET. **Banco de dados meteorológicos**. Brasília, DF: INMET, 2022. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/> Acesso em: 14 abr. 2022
- 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**, v. 78, n. 4, p. e20190243, 2021.
- PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**. New Jersey: Academic Press, 2010.
- PETRI, J. L.; HAWERROTH, F. J.; LEITE, G. B.; COUTO, M.; FRANCESCOTTO, P. Apple phenology in subtropical climate conditions. In: ZHANG, X. (org.). **Phenology and climate change**. Rijeka: InTech, 2012. p. 195-216.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. São Paulo: Oficina de Texto, 2012. p. 176.
- 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, NASA SP-351. 1973, Washington, DC. **Proceedings [...]**. Washington, DC: NASA, 1973. p. 309-317.
- 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. e20201037, 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**, v. 9, n. 1, p. 11-23, 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.
- 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. **Anais [...]**, Montpellier: Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering Symposium, 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.