

Viticultura de precisão na produção de vinhos de colheita de inverno

61

Precision viticulture in the production of wines from winter grape harvest

Luís Henrique Bassoi¹, Henrique Oldoni², Bruno Ricardo Silva Costa³, Thassio Monteiro Menezes da Silva⁴, Larissa Godarelli Farinassi⁵, Anderson de Jesus Pereira⁶, Claudia Rita de Souza⁷, Lucas Bueno do Amaral⁸, Renata Vieira da Mota⁹, Francisco Mickael de Medeiros Câmara¹⁰, Angelica Bender¹¹

¹ Pesquisador, Embrapa Instrumentação, São Carlos (SP), Brasil, luis.bassoi@embrapa.br

² Pós-graduando, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Departamento de Engenharia Rural e Seocioeconomia, Botucatu (SP), henriqueoldoni@gmail.com

³ Pós-graduando, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Departamento de Engenharia Rural e Seocioeconomia, Botucatu (SP), bruno.ricardo.silva@hotmail.com

⁴ Pós-graduando, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Departamento de Engenharia Rural e Seocioeconomia, Botucatu (SP), thassio_monteiro@hotmail.com

⁵ Pós-graduando, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Departamento de Engenharia Rural e Seocioeconomia, Botucatu (SP), larissa_godarelli@hotmail.com

⁶ Pós-graduando, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Departamento de Engenharia Rural e Seocioeconomia, Botucatu (SP), agroandersonn@gmail.com

⁷ Pesquisador, Núcleo Tecnológico EPAMIG Uva e Vinho, Caldas (MG), Brasil, crsouza@epamig.br

⁸ Pesquisador, Núcleo Tecnológico EPAMIG Uva e Vinho, Caldas (MG), Brasil, lucasbamara@gmail.com

⁹ Pesquisador, Núcleo Tecnológico EPAMIG Uva e Vinho, Caldas (MG), Brasil, rvmota@epamig.br

¹⁰ Pesquisador, Núcleo Tecnológico EPAMIG Uva e Vinho, Caldas (MG), Brasil, francisco.camara@epamig.br

¹¹ Pesquisador, Núcleo Tecnológico EPAMIG Uva e Vinho, Caldas (MG), Brasil, angelica.bender@epamig.br

RESUMO

A delimitação de zonas de manejo em vinhedos, a partir de zonas homogêneas de atributos de solo e de planta, é discutida neste capítulo. Essas zonas possibilitam a realização de práticas de manejo diferenciado, como a colheita seletiva de uvas para vinificação. Também são reportadas as diferenças das características dos vinhos de colheita de inverno obtidos no Sudeste do Brasil a partir das uvas oriundas de diferentes zonas de manejo.

Palavras-chave: variabilidade espacial; sensoriamento proximal; sensoriamento suborbital; composição do vinho; viticultura de precisão.

ABSTRACT


This chapter presents the delimitation of management zones based on homogeneous soil and plant attributes, which enables the implementation of differentiated management practices, such as the selective harvesting of grapes during the winter for winemaking in Southeast Brazil. Additionally, various differences in wine characteristics are reported.

Key words: spatial variability; proximal sensing; suborbital sensing; wine properties; precision viticulture.

1 INTRODUÇÃO

O conceito de zonas de manejo é diferente da ideia de zonas homogêneas. No segundo caso, muitas vezes são delimitadas regiões que possuem uniformidade em termos de um ou poucos parâmetros que se quer manejar. Porém, o conceito de zonas de manejo é mais amplo, pois as regiões delimitadas devem apresentar combinação semelhante de fatores limitantes à produtividade e/ou qualidade de produção das plantas, de modo que o padrão de manejo da área possa ser alterado. Esse tipo de abordagem permite variar os níveis de fertilidade do solo com base no potencial produtivo, adequar o manejo fitossanitário e o manejo

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-38-0.1000034>

 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.



do solo com base nas restrições de cada zona, entre várias outras possibilidades. As camadas de informação utilizadas na análise para definição das zonas de manejo devem ser selecionadas com bastante critério técnico. Ainda, as zonas de manejo devem ser estáveis ao longo do tempo. No entanto, elas não são totalmente imutáveis, pois os fatores causadores de variabilidade e limitação à produtividade podem se alterar; porém, não deve haver alterações frequentes, caso contrário o agricultor nunca verá o real retorno da adequação gradual do manejo para cada zona. Dessa forma, as camadas de informação que devem ser levadas em consideração para a delimitação das zonas de manejo devem apresentar estabilidade ao longo das safras, ou seja, não devem ser facilmente alteradas com o manejo (Amaral; Figueiredo, 2022).

Uma breve revisão bibliográfica acerca do tema viticultura de precisão (VP) revela que os termos “zonas de manejo” (Martinez-Casasnovas et al., 2012; Tagarakis et al., 2013; Urretavizcaya et al., 2014; Balafoutis et al., 2017; Tagarakis et al., 2018; Brillante et al., 2020) e “zonas homogêneas” (Priori et al., 2013; Tardaguila et al., 2017; Costa et al., 2019; Ortuani et al., 2019a; Oldoni et al., 2021), ou alguma variação desses (Bonfante et al., 2015; Matese; Di Gennaro, 2018; Ortuani et al., 2019b), têm sido reportados de forma equivalente em alguns casos quanto a sua concepção. Não obstante essa diferença conceitual, ambos os termos designam regionalizações de um determinado vinhedo que apresentam características intrínsecas uniformes no que se refere às propriedades físico-químicas e hídricas do solo (Tardaguila et al., 2011; Tardaguila et al., 2017; Brillante et al., 2020; Yu et al., 2020) e/ou às características das videiras, em termos de desenvolvimento vegetativo, produção, composição e qualidade de bagas (Rey-Caramés, et al., 2015; Costa et al., 2019; Oldoni et al., 2021). Destaca-se ainda que tais zonas podem ser definidas a partir de uma única variável, ou ainda pela análise simultânea de diversas variáveis em um mesmo vinhedo.

A definição de zonas compreende uma das principais áreas de estudo de VP, juntamente com a quantificação e avaliação da variabilidade dos vinhedos, o desenvolvimento de tecnologias de aplicação à taxa variável e a avaliação de oportunidades para a gestão e manejo diferenciado (Arnó et al., 2009). Posteriormente, é a validação das diferenças identificadas entre as zonas delimitadas que ampara a adoção de práticas de manejo sítio-específico, conforme preconizado pela VP. Nesse contexto, o zoneamento dos vinhedos é frequentemente praticado para fins de colheita seletiva (Trought; Bramley, 2011; Martinez-Casasnovas et al., 2012; Priori et al., 2013), uma vez que as características naturais das áreas de cultivo

influenciam na composição de uvas e vinhos e denotam o *terroir* das localidades produtoras, mas outras aplicações dessa demarcação podem ser identificadas (Ortuani et al., 2019a).

De forma geral, independentemente do termo adotado, a definição de tais regiões uniformes é possível graças ao exame da variabilidade espacial preexistente nas áreas de produção de videiras, comumente percebida por viticultores, mesmo em vinhedos de menor dimensão. O reconhecimento da variabilidade de características dos vinhedos, especialmente relacionadas aos aspectos de desenvolvimento vegetativo, conforme propriedades ópticas do dossel das plantas, é normalmente realizado com o auxílio de técnicas de sensoriamento remoto, suborbital ou proximal (Ammoniaci et al., 2021). O sensoriamento proximal também torna possível a análise de propriedades do solo para fins de identificação da variabilidade espacial dessas, como a condutividade elétrica aparente (CEa), a qual demonstra uma associação com demais propriedades de importância, i.e., a textura e umidade do solo.

2 ZONAS DE MANEJO EM VINHEDO PARA PRODUÇÃO DE VINHOS DE COLHEITA DE INVERNO

O conceito de agricultura de precisão (AP) vem sendo empregado na viticultura tendo em vista a adoção de práticas de manejo sítio-específico a partir da caracterização da variabilidade espacial das áreas cultivadas. Nesse sentido, diversos atributos do solo e da planta podem ser adotados como variáveis regionalizadas representativas da condição dos vinhedos, uma vez que expressa a interação dos diversos fatores ambientais predominantes nesses sistemas agrícolas.

Em Itobi (SP), foram definidos mapas de distribuição espacial de CEa nas camadas de 0-0,2 m e a 0-0,4 m e de umidade do solo na camada de 0-0,2 m, os quais foram utilizados para a definição de duas zonas de colheita seletiva de uvas em um vinhedo “Syrah” (Figura 1).

Em razão da sua relevância para adoção de práticas de AP, o vigor vegetativo em um vinhedo pode ser monitorado intensivamente por tecnologias de georreferenciamento e sensoriamento que permitem a estimativa e predição espacial de índices de vegetação (IV). Diversos IVs podem estar relacionados com o desenvolvimento vegetativo da cultura. A partir do conhecimento de sua distribuição espacial, diversas características espaciais de qualidade e produção do vinhedo podem ser inferidas e manejadas de modo diferenciado no espaço. O monitoramento da maturação das bagas, por exemplo, pode ser realizado em diferentes locais do vinhedo, baseado na variabilidade espacial do vigor vegetativo (Oldoni et al., 2021).

A partir de diferentes pontos de maturação identificados nas diferentes zonas de vigor vegetativo, uma colheita seletiva pode ser realizada em cada zona, buscando a produção de diferentes vinhos ou mesmo colher cada zona no ponto de maturação mais adequado, quando operacionalmente viável.

Alguns estudos exemplificam esse potencial em vinhedos com produção de uvas finas para vinhos de colheita de inverno. Em um vinhedo “Chardonnay” irrigado por gotejamento em Espírito Santo do Pinhal (SP), Oldoni et al. (2021) realizaram, em dois ciclos de produção consecutivos, a medida do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) por meio

do sensor ativo Crop Circle ACS-430, após o início da maturação das bagas (aos 92 e 101 dias após a poda, respectivamente, em 2017 e 2018). Para comprovar a relação entre a distribuição espacial do IV e o vigor vegetativo das videiras, os autores avaliaram e verificaram diferença da massa fresca dos ramos podados entre zonas de NDVI, onde a massa foi maior nas zonas de maior NDVI, ou seja, maior vigor vegetativo. As zonas homogêneas de NDVI foram utilizadas para a realização de colheita seletiva ou diferenciada de uvas, podendo ser caracterizadas como zonas de manejo (Figura 2). Neste caso, foi possível utilizar o NDVI sem problemas de saturação do índice, em ra-

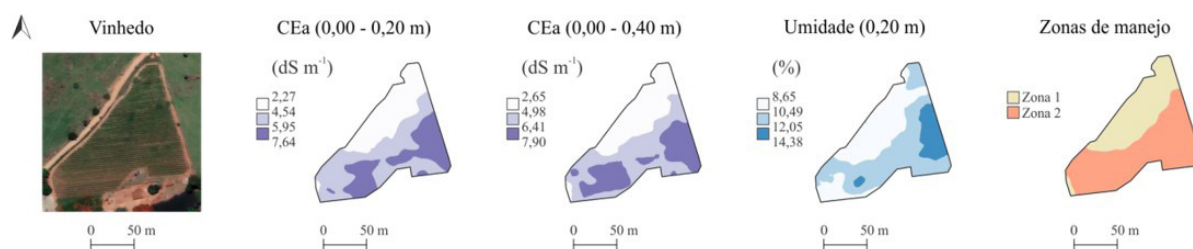


Figura 1. Vinhedo “Syrah” e respectivos mapas da condutividade elétrica aparente (CEa) a 0-0,2 m e 0-0,4 m, umidade do solo e zonas de manejo.

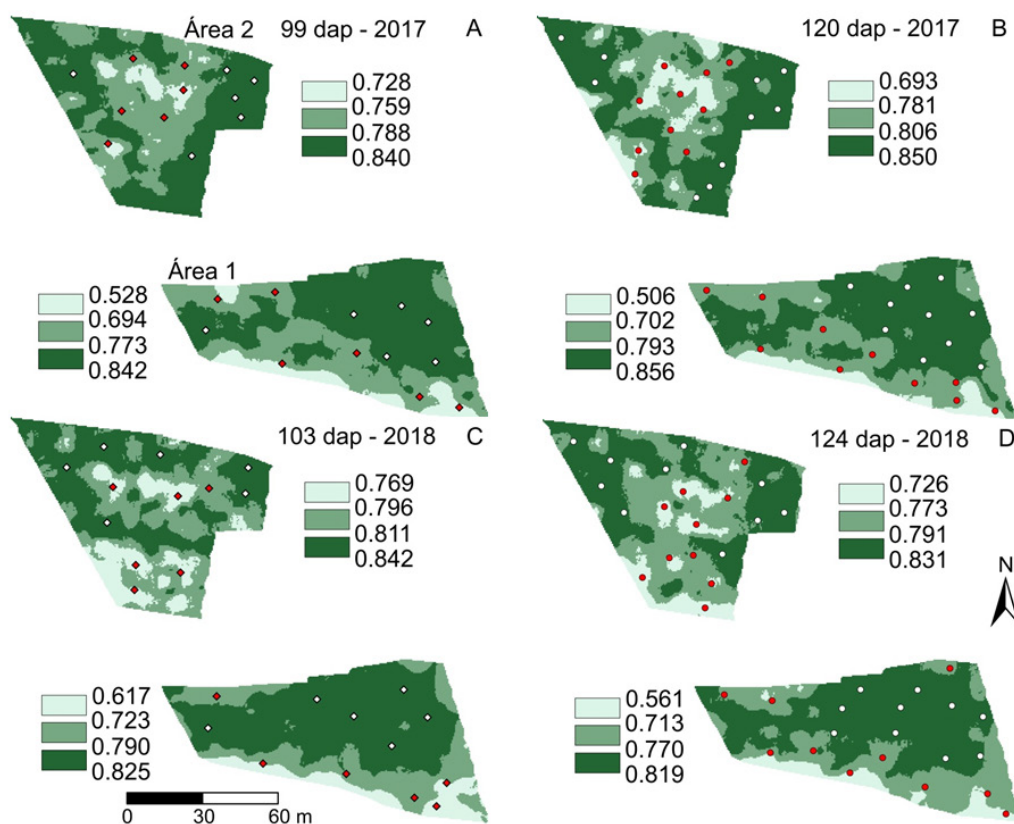


Figura 2. Distribuição espacial do NDVI aos 99 (A) e 120 (B) dias após a poda (dap) nos ciclos de produção de uva em 2017 e aos 103 (C) e 124 dap (D) em 2018 nas áreas 1 e 2 do vinhedo “Chardonnay”. A amostragem de bagas foi realizada nas zonas de alto (losango branco) e baixo NDVI (losango vermelho) em A e C. A amostragem das videiras foi realizada nas zonas de alto (círculo branco) e baixo NDVI (círculo vermelho) em B e D (Oldoni et al., 2021).

zão de o vinhedo apresentar um baixo vigor vegetativo. A saturação do NDVI ocorre quando o nível elevado de clorofila, geralmente presentes em plantas muito vigorosas, diminui a sensibilidade do índice.

Outros atributos da planta e de produção foram avaliados nas diferentes zonas de NDVI desse estudo. Um deles foi a quantidade de água presente nas folhas, medida com base no potencial de água na folha, e que foi menor nas zonas com menor NDVI. Nestas, as taxas de fotossíntese e transpiração foram reduzidas em 15%, enquanto a abertura estomática foi reduzida em 21%, em comparação com as zonas de maior NDVI. O número de cachos, a massa média dos cachos e a produtividade foram maiores nas zonas de maior NDVI. Dessa forma, os autores mostraram que os mapas de distribuição espacial desse IV possibilitam o conhecimento sobre a variabilidade do vigor vegetativo e a possibilidade de realização de colheita seletiva de uvas, além de orientar o monitoramento da maturação, trocas gasosas, potencial de água na folha e produção, de forma a garantir a aquisição de informação de melhor qualidade sobre a variabilidade no vinhedo.

Em vinhedos “Cabernet Franc” e “Cabernet Sauvignon” irrigados por gotejamento em Espírito Santo do Pinhal (SP), e com plantas sustentadas por espaldeiras, o monitoramento por meio do sensor proximal Crop Circle ACS-430, após o início da maturação das uvas e em dois ciclos de produção consecutivos, possibilitou a obtenção de mapas de zonas homogêneas de NDVI e NDRE, o índice do vermelho próximo por diferença normalizada (Figura 3), como indicadores do vigor vegetativo das videiras, bem como orientar a colheita diferenciada ou seletiva de uvas (zonas de manejo). Devido ao alto vigor vegetativo de ambas as cultivares, as predições do NDRE e NDVI apresentaram elevada estabilidade temporal, espacial e similaridade no padrão de distribuição dos seus valores (Costa, 2021).

Em Ribeirão Preto (SP), em uma área de 1,1 ha com a videira “Syrah” conduzida por espaldeiras, irrigada por gotejamento e enxertada sobre os porta-enxertos “IAC 572” e “Paulsen ‘1103””, o delineamento de duas zonas de manejo com base na CEa, umidade do solo e NDVI (Figura 4) possibilitou a determinação de diferentes características das uvas em dois ciclos de produção consecutivos. A título de comparação de metodologias, foram confeccionados em ambos os anos três mapas de zonas de manejo. O primeiro utilizou a normalização dos dados; o segundo, a padronização; e o terceiro, a análise multivariada. A análise de dados mais robusta foi a análise multivariada, havendo uma diferença pequena no formato das duas zonas de manejo Z1 e Z2 entre as safras, devido à alteração de alguns pixels na extremidade dessas duas zonas no canto direi-

to inferior (Figura 4). Os porta enxertos, independentemente da divisão da área em zonas de manejo, também influenciaram nas características das uvas produzidas. A delimitação das zonas de manejo orientou a colheita das uvas e sua vinificação em separado, conforme a zona de produção (Farinassi, 2022).

Outra possibilidade para a definição de zonas homogêneas em vinhedos, as quais podem contribuir para gerar zonas de manejo, é por meio do uso de imagens de alta resolução espacial. Nesse mesmo vinhedo “Syrah”, a reflectância do dossel foi medida na fase de maturação das uvas por meio da câmera multiespectral MicaSense RedEdge-M acoplada a uma aeronave remotamente tripulada (ARP) modelo DJI Inspire 2 (sensoriamento suborbital), e também pelo sensor ativo Crop Circle ACS-430 (sensoriamento proximal no topo do dossel). Os mapas dos índices NDVI, NDRE e MSR (razão simples modificada) foram gerados, oriundos de ambos os sensoriamentos, e comparados com as medidas da condutância estomática (g_s), obtida pelo porômetro SC-1; do índice relativo do teor foliar de clorofila total (IRC), mensurado pelo clorofilômetro clorofiLOG CFL 130; do teor relativo de água (TRA), obtido em laboratório; da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) na camada de 0-0,4 m, mensurada por um sensor portátil (Rabello et al., 2011); e umidade do solo (θ), obtida pelo sensor HSII na camada de 0-0,2m. As correlações dos IV do sensoriamento suborbital com g_s , TRA e IRC foram maiores que as correlações dos mesmos atributos da planta com os IV originados do sensoriamento proximal. O melhor coeficiente de determinação foi o do NDRE suborbital com g_s (70%) e com o TRA (57%). O sensoriamento remoto proximal também alcançou correlações significativas entre as variáveis comparadas, porém inferiores às da câmera multiespectral, com exceção da relação com a CEa a 0-0,4m, a qual foi positiva, mas muito baixa. O mapa de zonas de manejo obtido em função da integração de diversos atributos (Figura 5) pode orientar a realização de práticas agrícolas espacialmente diferenciadas no vinhedo (Pereira, 2022).

O produto gerado pela integração dos planos de informações (Figura 5) possibilitou diferenciar estatisticamente o TRA e o IRC entre as zonas de manejo. Os maiores valores dessas variáveis são encontrados na zona de manejo 2, que também reflete em uma maior umidade do solo, CEa e vigor vegetativo. A seleção do NDRE para integração da zona de manejo está associada às maiores correlações com os parâmetros biofísicos, como aqueles relacionados ao estado hídrico do dossel (Pereira, 2022). Embora o NDVI seja o índice vegetativo mais utilizado na agricultura, a determinação da variabilidade espacial pode ser comprometida em algumas situações devido à saturação em condições de

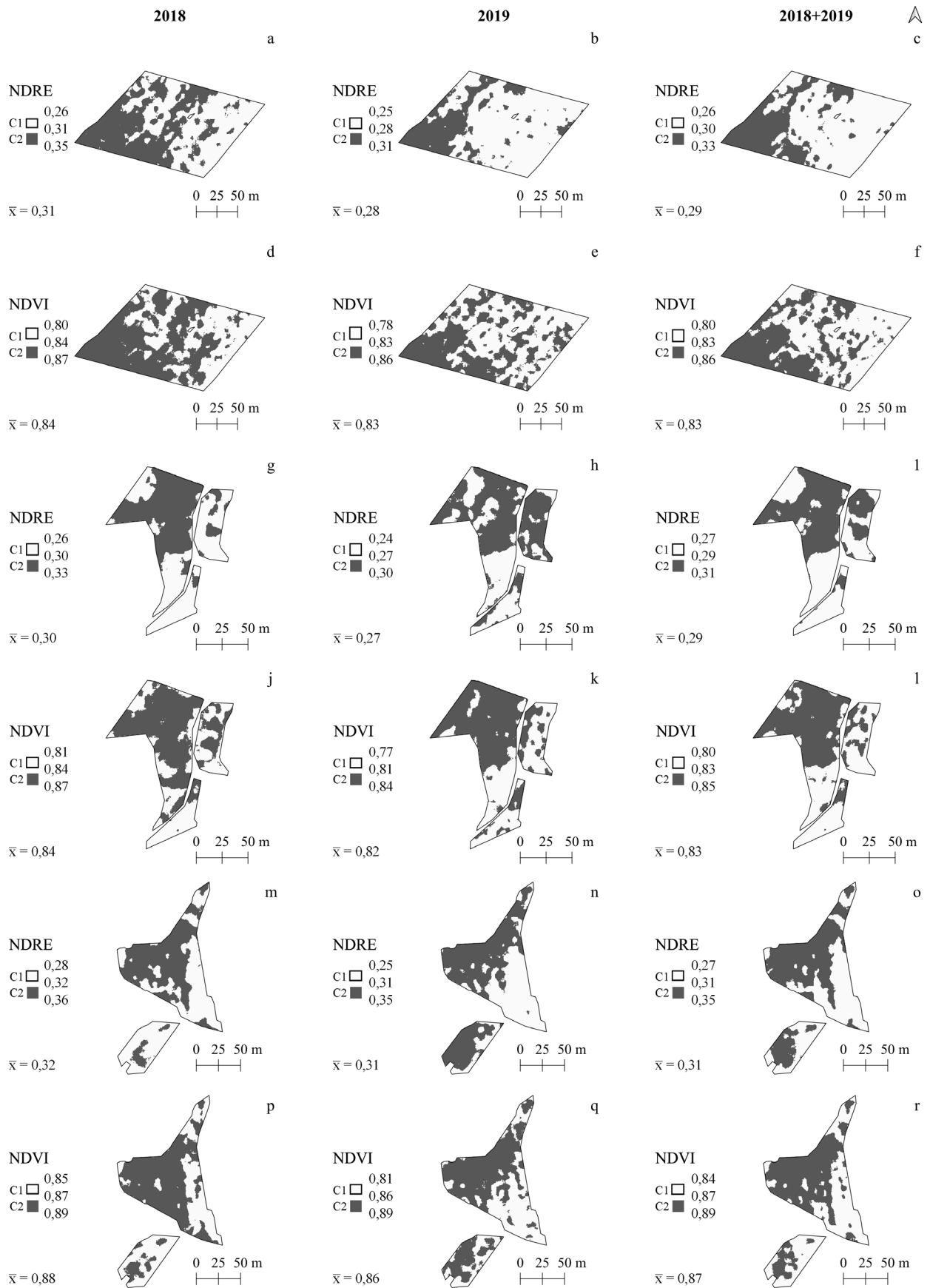


Figura 3. Zonas homogêneas baseadas no vigor vegetativo de videiras 'Cabernet Franc' (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l), e 'Cabernet Sauvignon' (m, n, o, p, q, r) agrupado em duas categorias (C1 baixo e C2 alto) delimitadas conforme a média dos valores interpolados e padronizados do NDRE e NDVI estimados durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 (Costa, 2021).

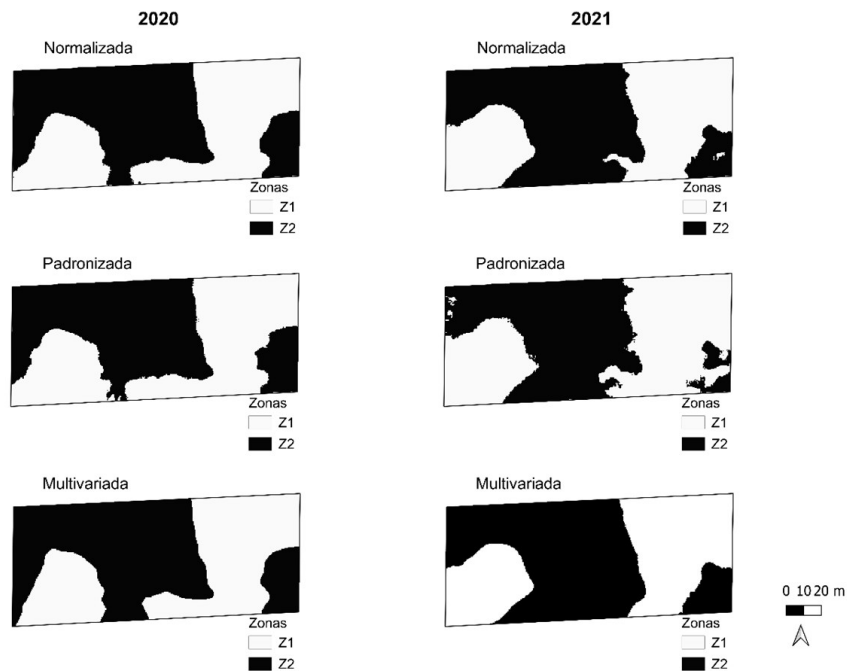


Figura 4. Mapas de zonas de manejo, obtidos pelas metodologias de normalização dos dados e padronização e análise multivariada dos dados, nos ciclos de produção de uvas em 2020 e 2021 (Farinassi, 2022).

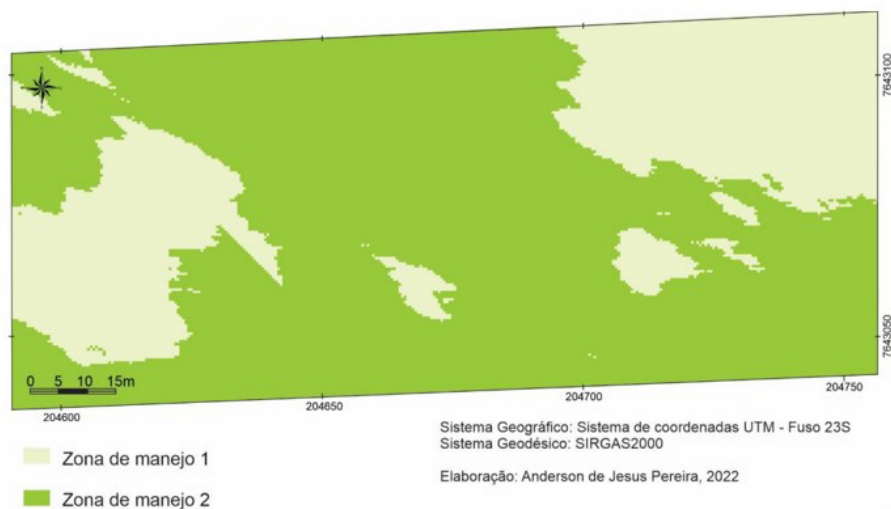


Figura 5. Mapa de zonas de manejos em um vinhedo "Syrah" obtido por meio da integração do NDRE suborbital, da condutividade elétrica aparente e da umidade do solo (Pereira, 2022).

média a alta densidade de biomassa e quando o índice de área foliar é elevado (Gitelson et al., 2002). Assim, ocorre uma insensibilidade em identificar as variações, e o NDVI estabiliza, subestimando o resultado. Nesse caso, a utilização do NDRE é aconselhável.

3 DISTINÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS VINHOS DE COLHEITA DE INVERNO EM FUNÇÃO DE ZONA DE MANEJO

A qualidade dos vinhos é um fator crucial para a competitividade desse produto no mercado, e a determina-

ção de zonas de manejo em um vinhedo pode auxiliar na elaboração de um vinho com maior complexidade.

Em Espírito Santo do Pinhal (SP), o NDVI obtido com o sensor ativo Crop Circle® ACS-430 posicionado no topo do dossel e no início da fase de maturação das uvas (99 dias após a poda) da videira "Chardonnay", conduzida em espaldeira, foi utilizado para delimitar duas zonas de manejo (colheita seletiva). A zona com maiores valores de NDVI (> 0,8) apresentou maior número de cachos por planta, produtividade (kg planta⁻¹) e massa de ramos da poda do ciclo seguinte à colheita (Figura 6, esquer-

da). A avaliação do mosto indicou maior teor de alana, um aminoácido que melhora a performance fermentativa das leveduras *Saccharomyces cerevisiae* (Kemsawasd et al., 2015) nas amostras da zona de maior NDVI. A análise de componentes principais dos dados espectrais dos vinhos de colheita de inverno mostrou uma clara discriminação entre as zonas de maior e menor NDVI (Figura 6, direita). A delimitação de zonas de manejo para fins de colheita seletiva com base no NDVI permitiu a produção de dois vinhos de composição química quantitativa diferente (Oldoni et al., 2018).

Costa (2021) observou em um vinhedo comercial em Espírito Santo do Pinhal (SP), que os vinhos de colheita de inverno “Cabernet Franc” e “Cabernet Sauvignon” da safra 2018, elaborados a partir de uvas colhidas seletivamente em três zonas de NDVI como indicativo do maior e menor vigor vegetativo da videira, apresentaram características diferenciadas. As uvas das duas classes ou intervalos com menores valores do índice vegetativo foram vinificadas conjuntamente como sendo de uma única zona por questões operacionais (Figura 7)

Com base em duas zonas homogêneas de valores de CEa (alto e baixo), determinadas em um vinhedo

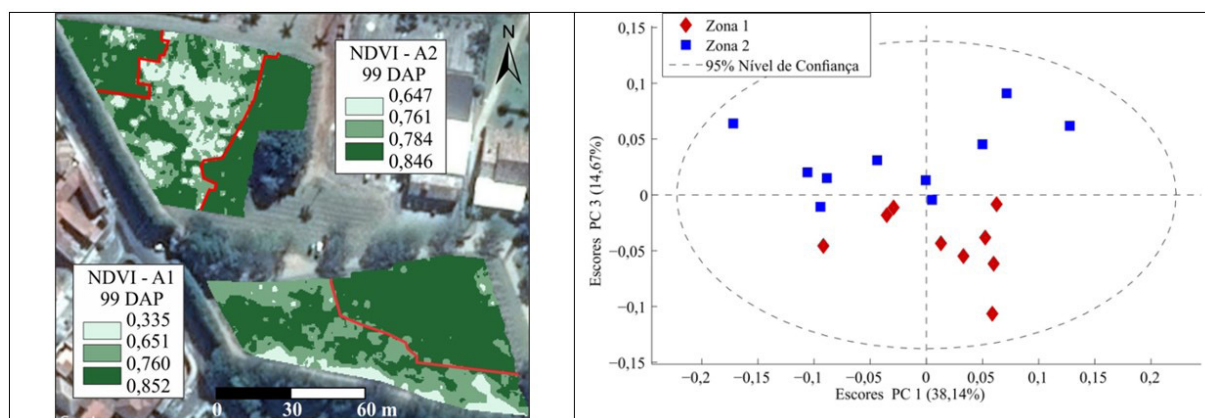
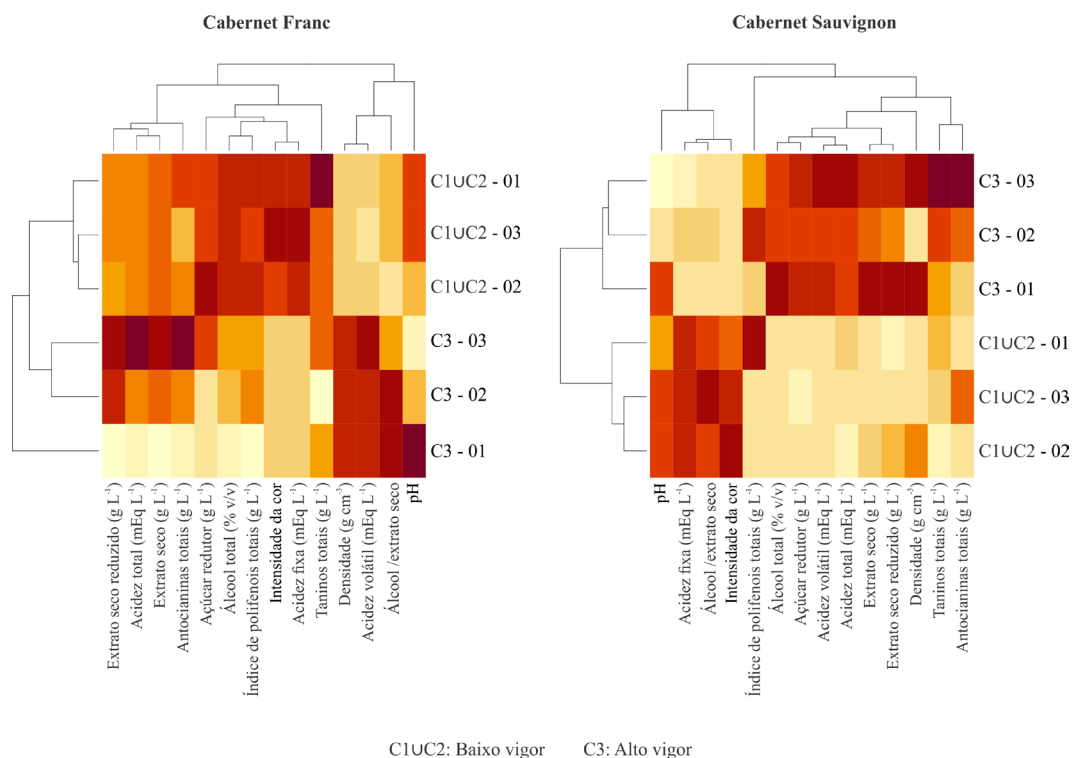


Figura 6. Mapas de NDVI aos 99 dias após a poda (DAP) nas áreas A1 (abaixo) e A2 (acima), com as zonas de manejo delimitadas - limite em vermelho (esquerda). Análise de componentes principais espectros de ressonância magnética nuclear de vinhos produzidos a partir das uvas da zona de manejo 1 - losangos vermelhos, e 2 - quadrados azuis (direita) (Oldoni et al., 2018).



C1UC2: Baixo vigor C3: Alto vigor

Figura 7. Análise de agrupamentos hierárquicos referente à composição dos vinhos “Cabernet Franc” e “Cabernet Sauvignon”, produzidos em 2018, conforme a definição de duas zonas de manejo (Costa, 2021).

“Syrah” sobre porta-enxerto IAC 572, em Itobi (SP), as uvas foram colhidas seletivamente para a vinificação em separado. Apesar da proximidade entre as zonas, os vinhos apresentaram diferenças na composição química (Figura 8). A zona com maior teor de CEa favoreceu o acúmulo de compostos fenólicos no vinho, além de maior teor de extrato seco, álcool e acidez total.

Em Ribeirão Preto (SP), o vinho de colheita de inverno “Syrah”, produzido em dois anos consecutivos, a partir de uvas colhidas em duas zonas de manejo estabelecidas com base na CEa, umidade do solo e do NDVI como indicativo do vigor vegetativo das videi-

ras, apresentaram características distintas (Figura 9). Em 2020 as vinificações ocorreram em separado para porta-enxerto em cada zona de manejo. No ano de 2021, a vinificação foi realizada independente do porta-enxerto utilizado (IAC 572 e Paulsen 1103) no vinhedo de 1,1 ha, irrigado por gotejamento (Farinassi, 2022). Observa-se que o fator porta-enxerto apresenta grande influência na composição físico-química dos vinhos. Para fator zona de manejo, também é possível evidenciar diferenças, principalmente para o porta-enxerto IAC 572, onde a Z1 apresentou maiores concentrações de açúcar, extrato seco, álcool e fenólicos, indicando um vinho com maior potencial para pas-

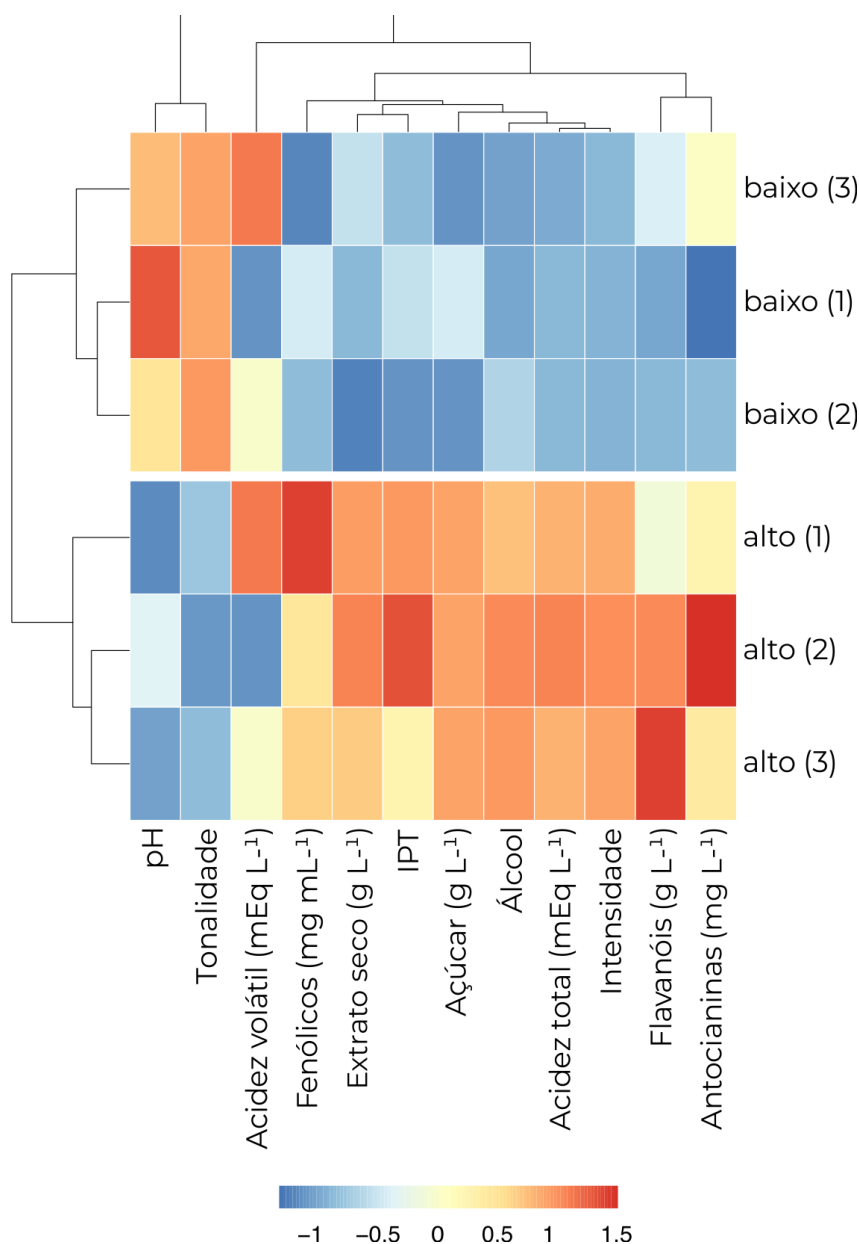


Figura 8. Análise de agrupamentos hierárquicos referente à composição do vinho de colheita de inverno ‘Syrah’ produzido em 2020, com uvas colhidas separadamente em zonas de alto e baixo valor de CEa.

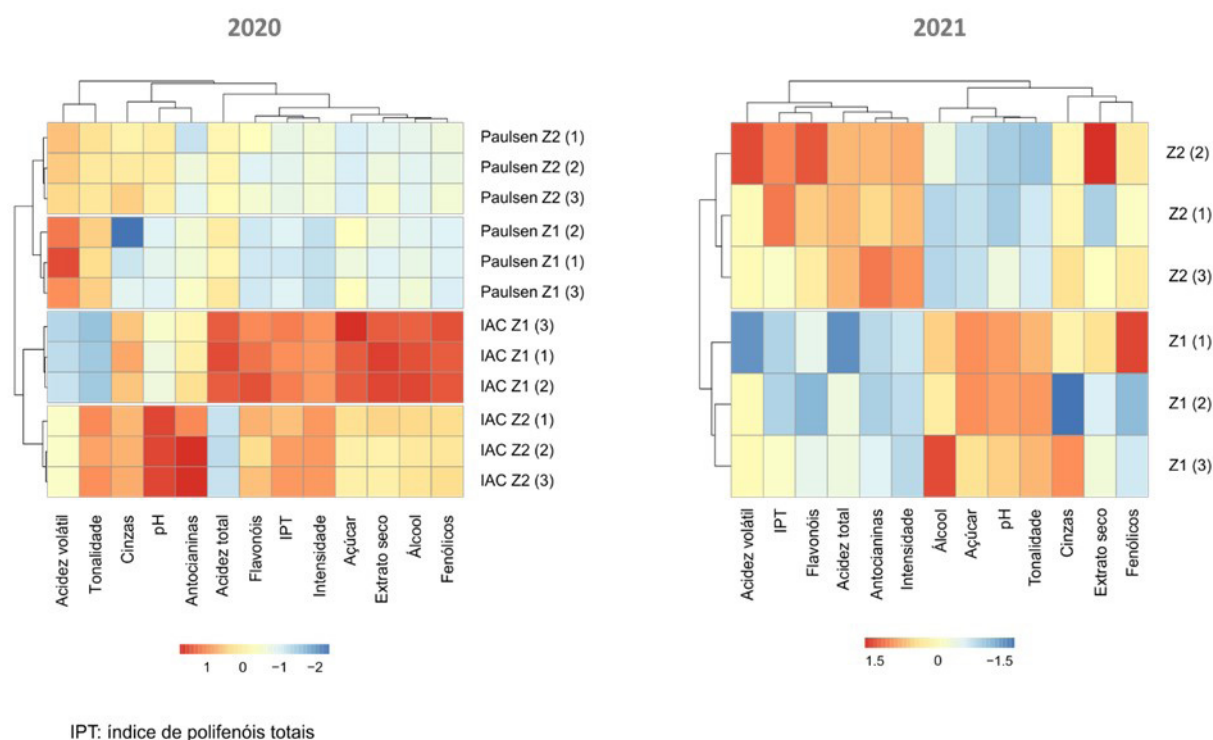


Figura 9. Análise de agrupamentos hierárquicos referente à composição dos vinhos “Syrah” de colheita de inverno, produzidos nos ciclos de 2020 e 2021, conforme a definição de duas zonas de manejo (Z1 e Z2), considerando os diferentes porta-enxertos adotados – “IAC 572” e “Paulsen 1103” (Farinassi, 2022).

sagem por estágio em madeira, enquanto os vinhos da Z2 destacaram-se pelo maior acúmulo de antocianinas. Esses resultados auxiliam no momento da tomada de decisões a quais tratamentos os vinhos devem ser submetidos.

Em 2021, foram avaliadas apenas as zonas de manejo, independente de porta-enxerto, onde a Z2 destacou-se pela maior concentração de antocianinas, importantes para maior estabilidade de cor da bebida.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A delimitação de zonas de manejo em vinhedos com base nos atributos do solo e da planta permite a colheita seletiva de uvas no período de inverno, mesmo em pequenos vinhedos, possibilitando a produção de vinhos com perfis químicos distintos.

AGRADECIMENTOS

Às vinícolas Guaspari (Espírito Santo do Pinhal – SP), Terras Altas (Ribeirão Preto – SP) e Casa Verrone (Itobi – SP), pela disponibilização de seus vinhedos e infraestrutura para a realização de experimentos no modelo *on winery research*. Ao Núcleo Tecnológico EPAMIG Uva e Vinho por realizar as microvinificações e avalia-

ções químicas dos vinhos. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas de estudo, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) processo 2021/07915-0 pelo apoio financeiro à realização do projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, L. R.; FIGUEIREDO, G. K. D. A. Geoprocessamento aplicado ao gerenciamento de lavouras. In: QUEIROZ, D. M.; VALENTE, D. S. M.; PINTO, F. A. C.; BÓREM, A. (ed.). **Agricultura digital**. São Paulo: Oficina de Textos, 2022. p. 51-662.
- AMMONIACI, M.; KARTSIOTIS, S. P.; PERRIA, R.; STORCHI, P. State of the art of monitoring technologies and data processing for precision viticulture. **Agriculture**, v. 11, n. 3, p. 201, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11030201>.
- ARNÓ, J.; MARTÍNÉZ-CASANOVAS, J. A.; RIBES-DASI, M.; ROSELL, J. R. Review. Precision viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 4, p. 779-790, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5424/sjar/2009074-1092>.

- BALAFOUTIS A. T.; KOUNDOURAS, S.; ANASTASIOU, E.; FOUNTAS, S.; ARVANITIS, K. Life cycle assessment of two vineyards after the application of precision viticulture techniques: a case study. **Sustainability**, v. 9, n. 11, p. 1-19, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9111997>.
- BONFANTE, A.; AGRILLO, A.; ALBRIZIO, R.; BASILE, A.; BUONOMO, R.; DE MASCELLIS, R.; GAMBUTI, A.; GIORIO, P.; GUIDA, G.; LANGELLA, G.; MANNA, P.; MINIERI, L.; MOIO, L.; SIANI, T.; TERRIBILE, F. Functional homogeneous zones (fHZs) in viticultural zoning procedure: an Italian case study on Aglianico vine. **Soil**, v. 1, n. 1, p. 427-441, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5194/soil-1-427-2015>.
- BRILLANTE, L.; MARTÍNEZ-LÜSCHER, J.; YU, R.; KURTURAL, S. K. Carbon isotope discrimination ($\delta^{13}C$) of grape musts is a reliable tool for zoning and the physiological ground-truthing of sensor maps in precision viticulture. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.561477>.
- COSTA, B. R. S.; OLDONI, H.; ROCHA JÚNIOR, R.; BASSOI, L. H. Delimitation of homogeneous zones in vineyards using geostatistics and multivariate analysis of different vegetation indices. **Engenharia Agrícola**, v.39, n. Espe, p.13-22, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39nep13-22/2019>.
- COSTA, B. R. S. **Zonas de vigor vegetativo para colheita seletiva em viticultura irrigada com base em sensoriamento proximal**. 2021. 228 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu, 2021.
- FARINASSI, L. G. **Influência da variabilidade espacial em vinhedo irrigado na qualidade da uva e do vinho “Syrah” de inverno**. 2022. 133 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu, 2022.
- GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing Environment**, v. 80, p. 76-87, 2002.
- KEMSAWASD, V.; VIANA, T.; ARDÖ, Y.; ARNEBORG, N. Influence of nitrogen sources on growth and fermentation performance of different wine yeast species during alcoholic fermentation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 99, p. 10191-10207, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6835-3>.
- MARTINEZ-CASASNOVAS, J. A.; AGELET-FERNANDEZ, J.; ARNO, J.; RAMOS, M. C. Analysis of vineyard differential management zones and relation to vine development, grape maturity and quality. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 2, p. 326-337, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5424/sjar/2012102-370-11>.
- MATESE, A.; DI GENNARO, S. F. Practical applications of a multisensor UAV platform based on multispectral, thermal and RGB high resolution images in precision viticulture. **Agriculture**, v. 8, n. 7, p. 116, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture8070116>.
- OLDONI, H.; COSTA, B. R. S.; BOGNOLA, I.; SOUZA, C. R.; BASSOI, L. H. Homogeneous zones of vegetation index for characterizing variability and site-specific management in vineyards. **Scientia Agrícola**, v. 78, n. 4, p. e20190243, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0243>.
- OLDONI, H.; COUTINHO, I. D.; ROCHA JUNIOR, R. C.; COLNAGO, L. A.; BASSOI, L. H. Características do vinho de diferentes zonas de manejo determinadas com base no vigor vegetativo da videira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2018, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: AsBraAP, 2018. p. 302-307.
- ORTUANI, B.; FACCHI, A.; MAYER, A.; BIANCHI, D.; BIANCHI, A.; BRANCADORO, L. Assessing the effectiveness of variable-rate drip irrigation on water use efficiency in a vineyard in northern Italy. **Water**, v. 11, n. 10, p. 1964, 2019a. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11101964>.
- ORTUANI, B.; SONA, G.; RONCHETTI, G.; MAYER, A.; FACCHI, A. Integrating geophysical and multispectral data to delineate homogeneous management zones within a vineyard in Northern Italy. **Sensors**, v. 19, n. 18, p. 3974, 2019b. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19183974>.
- PEREIRA, A. J. **Relação entre índices de vegetação e atributos biofísicos do solo e da planta em vinhedo irrigado**. 2022. 134 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu, 2022.
- PRIORI, S.; MARTINI, E.; ANDRENELLI, M. C.; MAGINI, S.; AGNELI, A. E.; BUCELLI, P.; BIAGI, M.; PELLEGRINI, S.; CONSTANTINI, E. A. C. Improving wine quality through harvest zoning and combined use of remote and soil proximal sensing. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 4, p.1338-1348, 2013. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0376>.
- RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; MOLIN, J. P. Mapeamento da condutividade elétrica do solo – sistema protótipo. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 41-45.
- REY-CARAMÉS, C.; DIAGO, M. P.; MARTÍN, M. P.; LOBO, A.; TARDAGUILA, J. Using RPAS multi-spectral imagery to characterise vigour, leaf development, yield components and berry composition variability within a vineyard. **Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p. 14458-14481, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs71114458>.
- TAGARAKIS, A. C.; KOUNDOURAS, S.; FOUNTAS, S.; GEMTOS, T. Evaluation of the use of LIDAR laser scanner to map pruning wood in vineyards and its potential for management zones delineation. **Precision Agriculture**, v. 19, p. 334-347, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9519-4>.
- TAGARAKIS A.; LIAKOS, V., FOUNTAS, S.; KOUNDOURAS, S.; GEMTOS, T. A. Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines. **Precision Agriculture**, v. 14, p. 18-39, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9275-4>.

- TARDAGUILA, J.; DIAGO, M. P.; PRIORI, S.; OLIVEIRA, M. Mapping and managing vineyard homogeneous zones through proximal geoelectrical sensing. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64, n. 3, p. 409-418, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1080/03650340.2017.1359411>.
- TARDAGUILA, J.; BALUJA, J.; ARPON, L.; BALDA, P.; OLIVEIRA, M. Variations of soil properties affect the vegetative growth and yield components of “Tempranillo” grapevine. **Precision Agriculture**, v. 12, p. 762-773, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-011-9219-4>.
- TROUGHT, M. C. T.; BRAMLEY, R. G. V. Vineyard variability in Marlborough, New Zealand: characterizing spatial and temporal changes in fruit composition and juice quality in the vineyard. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 17, n. 1, p.79-89, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2010.00120.x>.
- URRETAVIZCAYA, I.; SANTESTEBAN, L. G.; TISSEYRE, B.; GUILLAUME, S.; MIRANDA, C.; ROYO, J. B. Oenological significance of vineyard management zones delineated using early grape sampling. **Precision Agriculture**, v. 15, p. 111-129, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-013-9328-3>.
- YU, R.; BRILLANTE, L.; MARTÍNEZ-LUSCHER, J.; KURTURAL, S. K. Spatial variability of soil and plant water status and their cascading effects on grapevine physiology are linked to berry and wine chemistry. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00790>.