



SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE PRODUÇÃO NA VITICULTURA E SUA RELAÇÃO COM O ACÚMULO DE RESVERATROL: UMA REVISÃO SOBRE MANEJO, ESTRESSE FISIOLÓGICO E QUALIDADE ENOLÓGICA

Aternoskaires S. R. Silva¹; Samuel Trindade²; Rebeca A. Silveira²; Kaike S. Ozelame²; Abell K. G. Silva²; Shana P. S. Miotto³¹; Cibele S. Minafra³²; Carlos F. S. Castro⁴

1Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde-Goiás, Brasil (ades.atr.ifb@gmail.com)

2Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Bento Gonçalves, Bento Gonçalves-Rio Grande do Sul, Brasil

2Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Bento Gonçalves, Bento Gonçalves-Rio Grande do Sul, Brasil

2Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Bento Gonçalves, Bento Gonçalves-Rio Grande do Sul, Brasil

31Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Bento Gonçalves, Bento Gonçalves-Rio Grande do Sul, Brasil

32Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde-Goiás, Brasil

4Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde-Goiás, Brasil

Palavras-Chave: Compostos fenólicos, estresse abiótico, metabolismo secundário.

Introdução

Atualmente, os sistemas agroalimentares enfrentam um dos maiores desafios impostos ao desenvolvimento sustentável: ampliar a produção de alimentos sem comprometer a integridade dos recursos naturais que sustentam a própria atividade agrícola. A intensificação do uso da terra, as mudanças climáticas, o aumento da temperatura média global, a escassez de água doce, a degradação dos solos, e a crescente demanda por alimentos produzidos sob fortes parâmetros de qualidade, têm impulsionado profunda reestruturação dos modelos de produção agrícola. Nesse contexto, a sustentabilidade deixou de representar apenas um princípio ambiental e passou a constituir parâmetros oficiais que contemplem os componentes estratégicos para a segurança alimentar, a competitividade das cadeias agroindustriais e a resiliência dos sistemas produtivos, exigindo abordagens capazes de conciliar produtividade, conservação ambiental e inovação tecnológica (VILLAT; NICHOLAS, 2024; BRITO *et al.*, 2024).



Inserida nesse contexto, a viticultura destaca – se como uma das atividades agrícolas de maior sensibilidade às condições edafoclimáticas e às práticas de manejo, uma vez que o desenvolvimento da videira, a composição das bagas e a qualidade enológica são diretamente influenciados pela interação entre clima, solo e sistema de produção. Alterações nesses fatores podem modificar o desempenho fisiológico da planta, comprometendo tanto a produtividade quanto a qualidade físico – química dos frutos destinados à elaboração de consumo “in natura”, sucos, vinhos e espumantes. Paralelamente a esses cuidados, observa – se por parte dos consumidores a crescente preocupação por consumir alimentos livres de agroquímicos sintéticos, utilizando vias que contemplem a produção sustentável, conferindo segurança e qualidade alimentar, além de reduzir impactos ambientais decorrentes da atividade agrícola. Esse cenário tem estimulado a adoção de Boas Práticas Agrícolas e o fortalecimento de diferentes sistemas de produção, como o convencional, o orgânico e o biodinâmico, os quais apresentam estratégias distintas de manejo, mas compartilham o propósito de promover a sustentabilidade da cadeia vitivinícola por meio do uso racional dos recursos naturais, da conservação do solo e da manutenção da qualidade das uvas e dos vinhos (BRITO *et al.*, 2024; MAGON *et al.*, 2023).

As práticas adotadas em cada sistema de produção modificam o ambiente de cultivo e influenciam diretamente as respostas fisiológicas da videira. Estudos apontam que o uso controlado do estresse biótico e abiótico, conduzidos dentro dos limites fisiológicos da planta podem estimular os mecanismos de defesa vegetal mediados pela ativação da via fenilpropanóides, favorecendo a síntese de metabólitos secundários, especialmente compostos fenólicos, entre os quais destacamos nesse estudo o resveratrol. Além de exercer papel relevante na proteção da planta, esse estilbeno tem despertado crescente interesse devido às suas propriedades biológicas e ao seu potencial de influenciar características tecnológicas da matéria – prima destinada à vinificação, refletindo na composição fenólica das bagas, na intensidade e estabilidade da cor, no perfil aromático, na estrutura e em parâmetros físico – químicos dos vinhos. Dessa forma, compreender a interação entre os sistemas de produção vitícola, respostas fisiológicas e metabolismo secundário constitui uma etapa essencial para integrar sustentabilidade, qualidade da uva e desempenho enológico (FERRANDINO *et al.*, 2023; FRIONI; PASTORE; DIAGO, 2023; TAN; RODRÍGUEZ LÓPEZ, 2023).

Apesar dos avanços científicos referentes aos resultados dos diferentes sistemas de produção sobre a fisiologia da videira e a composição fenólica das uvas, as evidências científicas ainda permanecem dispersas, assim como o resultado da influência desses sistemas sobre o acúmulo de resveratrol e suas implicações para a sustentabilidade da viticultura e a qualidade enológica são parâmetros imcompreendidos. Diante desse contexto, esta revisão reúne e analisa criticamente a literatura científica acerca dos sistemas convencional, orgânico e biodinâmico, discutindo como as práticas de manejo, as Boas Práticas Agrícolas e o estresse controlado modulam a síntese de resveratrol em uvas Merlot (*Vitis vinifera* L.) e Isabel (*Vitis labrusca* L.), bem como seus reflexos na composição fenólica e na qualidade físico – química da matéria – prima destinada à elaboração de vinhos.



Material e Métodos

O presente estudo constitui – se como uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e analítico, desenvolvida com o objetivo de reunir e discutir evidências científicas relacionadas à influência dos sistemas de produção convencional, orgânico e biodinâmico sobre a sustentabilidade da viticultura, metabolismo secundário da videira e biossíntese de resveratrol em cultivares do gênero *Vitis*. A estratégia metodológica foi estruturada a partir da análise crítica de artigos científicos, revisões, documentos técnicos e publicações institucionais relacionadas à produção sustentável de uvas, fisiologia vegetal e composição fenólica dos frutos destinados à elaboração de vinhos e seus subprodutos.

A busca bibliográfica foi realizada em bases de dados científicas internacionais, incluindo Web of Science, Scopus, ScienceDirect e Google Scholar, utilizando combinações dos seguintes descritores em português e inglês: “sustainable viticulture”, “organic grape production”, “biodynamic viticulture”, “conventional vineyard”, “grapevine stress”, “secondary metabolism”, “phenolic compounds”, “resveratrol”, “*Vitis vinifera*”, “*Vitis labrusca*” e “wine quality”. Foram priorizados estudos publicados entre 2015 e 2026, considerando artigos revisados por pares, publicações com relevância científica e trabalhos que apresentassem relação direta com sistemas de manejo vitícola, respostas fisiológicas da videira e concentração de compostos fenólicos.

Os estudos selecionados foram analisados considerando os seguintes aspectos: características dos sistemas de produção avaliados, práticas agrícolas empregadas, condições ambientais, mecanismos fisiológicos associados ao estresse controlado, ativação da via dos fenilpropanóides, participação das enzimas fenilalanina amônia-liase (PAL) e estilbeno sintase (STS), além dos efeitos sobre a síntese de resveratrol e demais compostos fenólicos relacionados à qualidade enológica. A comparação entre os sistemas de cultivo foi realizada de forma descritiva e interpretativa, considerando fatores como cultivar, espécie de *Vitis*, condições edafoclimáticas e estratégias de manejo.

Resultados e Discussão

Os estudos publicados na última década demonstram que a sustentabilidade passou por uma transição, deixando de ser compreendida apenas como uma estratégia voltada à conservação ambiental e passou a representar um componente determinante para a competitividade da cadeia vitivinícola. Tal mudança surgiu com a necessidade de conciliar produtividade, qualidade da matéria – prima, adaptação às mudanças climáticas e redução dos impactos ambientais associados ao cultivo da videira. Nesse contexto, diferentes sistemas de produção passaram a ser avaliados não apenas sob a perspectiva econômica, mas também em função de indicadores relacionados à conservação do solo, uso eficiente da água, redução das emissões de gases de efeito estufa, biodiversidade, saúde do ecossistema e qualidade final dos vinhos. A literatura demonstra que a adoção de estratégias sustentáveis tornou – se uma exigência crescente dos mercados consumidores, impulsionando a incorporação de práticas



regenerativas, tecnologias de precisão e programas internacionais de certificação ao longo de toda a cadeia vitivinícola (IPCC, 2022; OIV, 2023; VAN LEEUWEN *et al.*, 2022; FONTANA *et al.*, 2021).

Sob essa perspectiva, observa – se que os sistemas convencional, orgânico e biodinâmico apresentam diferenças substanciais quanto às estratégias de manejo empregadas no vinhedo. O sistema convencional caracteriza – se pelo uso racional de agroquímicos sintéticos, priorizando elevada produtividade e estabilidade da produção. Em contrapartida, os sistemas orgânico e biodinâmico restringem o emprego de insumos sintéticos, adotam práticas voltadas à manutenção da fertilidade biológica do solo, fortalecimento dos processos ecológicos naturais e antroposofia e o uso dos ciclos lunares. Apesar dessas diferenças, revisões recentes destacam que nenhum desses sistemas pode ser considerado universalmente superior, uma vez que seu desempenho depende das condições edafoclimáticas, da cultivar, do manejo adotado e dos objetivos de produção. Assim, a sustentabilidade da viticultura deve ser interpretada como resultado da integração entre práticas agronômicas, eficiência no uso dos recursos naturais e qualidade tecnológica da produção, e não exclusivamente pela classificação do sistema de cultivo (REGANOLD; WACHTER, 2016; MÜLLER *et al.*, 2017; WILLER *et al.*, 2023).

Outro aspecto amplamente abordado pela literatura refere – se ao papel das Boas Práticas Agrícolas como elemento integrador entre produtividade e sustentabilidade. Independente do sistema de produção adotado, práticas como, manejo racional de irrigação, manutenção de cobertura vegetal, conservação de estrutura do solo, monitoramento fitossanitário, uso criterioso de insumos, esses parâmetros influenciam diretamente o desempenho fisiológico da videira e a qualidade das bagas. Estudos recentes demonstram que essas práticas aumentam a resiliência dos vinhedos frente aos eventos climáticos e favorecem maior estabilidade produtiva, reduzindo impactos ambientais e promovendo eficiência na utilização de água, nutrientes e energia. Dessa forma, as BPAs constituem um dos principais pilares para a implementação de sistemas vitivinícolas sustentáveis, independentemente do sistema de produção empregado (OIV, 2020; PALLIOTTI *et al.*, 2021; FRIONI; PASTORE; DIAGO, 2023).

As alterações fisiológicas promovidas pelos diferentes sistemas de produção sobre o ambiente de cultivo refletem diretamente na fisiologia da videira, desencadeando mecanismos de adaptação que permitem à planta responder às variações impostas pelo meio. Entre esses mecanismos, destaca – se o metabolismo secundário, responsável pela síntese de compostos bioativos envolvidos na proteção contra estresses bióticos e abióticos. Diferentemente do metabolismo primário, relacionado ao crescimento e ao desenvolvimento vegetal, o metabolismo secundário é intensificado quando a planta é submetida a condições ambientais capazes de alterar sua homeostase, atuando como uma importante estratégia de defesa e adaptação (FERRANDINO *et al.*, 2023; FRIONI; PASTORE; DIAGO, 2023).

Nesse contexto, diversos fatores, como déficit hídrico moderado, radiação ultravioleta, variações de temperatura, disponibilidade de nutrientes e interações com fitopatógenos,



podem estimular a ativação da via dos fenilpropanoides, considerada uma das principais rotas metabólicas relacionadas à produção de compostos fenólicos na videira. A ativação dessa via envolve enzimas como a fenilalanina amônia – liase (PAL) e a estilbeno sintase (STS), fundamentais para a biossíntese de metabólitos secundários associados à defesa vegetal. Entre esses compostos, o resveratrol destaca – se pelo seu papel na resposta adaptativa da planta frente aos estresses ambientais e pelo crescente interesse científico relacionado às suas propriedades químicas, biológicas e tecnológicas (FERRANDINO *et al.*, 2023; ZHANG *et al.*, 2022).

Embora esses mecanismos estejam amplamente descritos na literatura, a intensidade da resposta metabólica pode variar em função da cultivar, das condições edafoclimáticas e das práticas de manejo empregadas em cada sistema de produção. Essa variabilidade demonstra que o acúmulo de resveratrol resulta da interação entre fatores genéticos, fisiológicos e ambientais, tornando sua avaliação uma ferramenta promissora para compreender como diferentes estratégias de sistema de produção (Convencional, Orgânico e Biodinâmico), podem influenciar a composição fenólica das uvas. Sob essa perspectiva, a análise crítica das evidências científicas disponíveis reforça a importância de estudos que comparem sistemas de produção distintos, contribuindo para o entendimento da relação entre sustentabilidade, metabolismo secundário e qualidade físico – química das variedades de uvas destinada à elaboração de vinhos e outros subprodutos (FERRANDINO *et al.*, 2023; FRIONI; PASTORE; DIAGO, 2023).

Apesar dos avanços observados na compreensão dos mecanismos fisiológicos envolvidos na biossíntese do resveratrol e da crescente adoção de práticas sustentáveis na viticultura, a literatura ainda apresenta resultados divergentes quanto à influência dos sistemas convencional, orgânico e biodinâmico sobre a concentração desse estilbeno nas uvas. Parte dessas divergências pode ser atribuída à elevada variabilidade entre cultivares, condições edafoclimáticas, safras, porta – enxertos, estágios de maturação e estratégias de manejo empregadas nos diferentes estudos, fatores que dificultam comparações diretas e limitam a extrapolação dos resultados (FERRANDINO *et al.*, 2023; VAN LEEUWEN *et al.*, 2022).

Outro aspecto relevante refere – se à escassez de estudos conduzidos sob condições padronizadas que permitam avaliar, simultaneamente, cultivares pertencentes a diferentes espécies do gênero *Vitis*, associando sistemas de produção, metabolismo fenólico e qualidade físico – química da uva. Embora existam evidências de que fatores ambientais e práticas de manejo possam modular a síntese de resveratrol, ainda permanecem limitados os trabalhos que integram esses fatores em uma abordagem única, dificultando a compreensão da contribuição específica de cada sistema de cultivo para o acúmulo desse composto bioativo (FERRANDINO *et al.*, 2023; FRIONI; PASTORE; DIAGO, 2023).

Diante desse cenário, torna – se evidente a necessidade de estudos que utilizem metodologias analíticas padronizadas e abordagens comparativas capazes de relacionar os sistemas de produção às respostas fisiológicas da videira e à biossíntese de resveratrol. A geração dessas informações poderá contribuir para o aperfeiçoamento das Boas Práticas



Agrícolas, subsidiar estratégias de manejo mais sustentáveis e ampliar o conhecimento sobre os fatores que influenciam a qualidade química das uvas destinadas à elaboração de vinhos, fortalecendo a integração entre sustentabilidade, viticultura e enologia (OIV, 2023; FERRANDINO *et al.*, 2023).

Conclusões

A sustentabilidade na viticultura representa atualmente um dos principais desafios para a cadeia produtiva da uva e do vinho, exigindo modelos de produção capazes de conciliar eficiência agrônômica, conservação dos recursos naturais e qualidade tecnológica do produto final. A análise da literatura demonstra que os sistemas convencional, orgânico e biodinâmico apresentam estratégias distintas de manejo, porém seus efeitos sobre o desempenho da videira dependem da interação entre genótipo, ambiente, práticas agrícolas e condições edafoclimáticas.

Nesse contexto, as Boas Práticas Agrícolas associadas ao manejo adequado do vinhedo desempenham um papel fundamental na promoção da sustentabilidade e na modulação das respostas fisiológicas da videira. O estresse controlado, quando conduzido dentro dos limites fisiológicos da planta, pode estimular mecanismos de defesa relacionados ao metabolismo secundário, favorecendo a síntese de compostos fenólicos de interesse enológico, especialmente o resveratrol.

No entanto, embora os mecanismos bioquímicos envolvidos na biossíntese desse estilbeno estejam amplamente descritos, ainda existem lacunas quanto à influência específica dos sistemas de produção sobre seu acúmulo em diferentes cultivares de *Vitis*. Dessa forma, estudos comparativos envolvendo variedades como Merlot (*Vitis vinifera* L.) e Isabel (*Vitis labrusca* L.), associados a metodologias analíticas padronizadas, são fundamentais para ampliar a compreensão da relação entre sustentabilidade, manejo agrícola, metabolismo fenólico e qualidade dos frutos que são destinados à elaboração de vinhos e subprodutos.

Assim, esta revisão reforça a importância de integrar conhecimentos provenientes da agronomia, fisiologia vegetal e enologia como estratégia para o desenvolvimento de sistemas vitivinícolas mais sustentáveis, contribuindo para a geração de informações científicas capazes de orientar práticas de manejo e agregar valor aos produtos derivados da uva.

Agradecimentos

Agradecemos pela oportunidade de publicação. Agradecemos ao Instituto Federal Goiano, ao IFRS – Campus Bento Gonçalves e a (CAPES) pelo apoio à formação e ao desenvolvimento da pesquisa científica.

Referências

BRITO, C. et al. Strategies for achieving the sustainable development goals across the wine chain: a review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 8, 2024. DOI: 10.3389/fsufs.2024.1437872.

FERRANDINO et al. (2023) → sustenta metabolismo secundário, estresse e compostos fenólicos.



FERRANDINO, A. et al. Secondary metabolites in grapevine: crosstalk of transcriptional, metabolic and hormonal signals controlling stress defence responses in berries and vegetative organs. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, 2023. DOI: 10.3389/fpls.2023.1124298.

FONTANA, A.; SANTOS, M. F.; SANTOS, J. L. et al. Sustainability assessment in the wine sector: indicators, methodologies and future perspectives. *Journal of Cleaner Production*, v. 312, 127701, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127701>.

FRIONI, T.; PASTORE, C.; DIAGO, M. P. Editorial: Resilience of grapevine to climate change: from plant physiology to adaptation strategies, volume II. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, 2023. DOI: 10.3389/fpls.2023.1268158.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.

INTERNATIONAL ORGANISATION OF VINE AND WINE (OIV). *OIV guidelines for sustainable vitiviniculture: production, processing, packaging and marketing*. Paris: OIV, 2020.

INTERNATIONAL ORGANISATION OF VINE AND WINE (OIV). *State of the world vitivinicultural sector in 2023*. Paris: OIV, 2023.

MAGON, G. et al. Boosting grapevine breeding for climate-smart viticulture: from genetic resources to predictive genomics. *Frontiers in Plant Science*, v. 14, 2023. DOI: 10.3389/fpls.2023.1293186.

MÜLLER, A.; SCHADER, C.; SCIALABBA, N. E. H.; BRÜGGEMANN, J.; ISENHART, R.; ERB, K. H.; SMITH, P.; KLOCKE, P.; LEIBER, F.; STOLZE, M.; NIGGLI, U. Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nature Communications*, v. 8, p. 1290, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01410-w>.

PALLIOTTI, A.; GARDNER, D. M.; COLA, G.; et al. Sustainable viticulture practices to improve grapevine resilience under climate change scenarios. *Agricultural Water Management*, v. 247, 106735, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106735>.

REGANOLD, J. P.; WACHTER, J. M. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, v. 2, p. 15221, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>.

TAN, J. W.; RODRÍGUEZ LÓPEZ, C. M. Epigenomics: a new tool for the generation of climate resilient grapevines. *Frontiers in Horticulture*, v. 2, 2023. DOI: 10.3389/fhort.2023.1116866.

VAN LEEUWEN et al. (2022) → sustenta sustentabilidade, mudanças climáticas e adaptação da viticultura.

VAN LEEUWEN, C.; DESSEIGNE, J. M.; GARCÍA-CORTÁZAR, I.; et al. An update on the vine and wine sector in the context of climate change. *OENO One*, v. 56, n. 1, p. 1-15, 2022. DOI: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2022.56.1.5421>.

VILLAT, J.; NICHOLAS, K. A. Quantifying soil carbon sequestration from regenerative agricultural practices in crops and vineyards. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 7, 2024. DOI: 10.3389/fsufs.2023.1234108.

WILLER, H.; TRÁVNÍČEK, J.; MEIER, C.; SCHLATTER, B. (ed.). *The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends 2023*. Frick: Research Institute of Organic Agriculture FiBL; Bonn: IFOAM – Organics International, 2023.

ZHANG, X.; LI, J.; WANG, X.; et al. Biosynthesis, regulation and biological activities of resveratrol in grapevine: a review. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 185, p. 1-12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.05.012>.