

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Leveduras selvagens na produção de vinhos: exploração para o desenvolvimento de novos produtos

Luiza Brito Campos
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

LUIZA BRITO CAMPOS

Leveduras selvagens na produção de vinhos: exploração para o desenvolvimento de novos produtos

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Monique Renon Eller

Coorientadores: Jose G. Prado Martin
Lílian Emídio Ribeiro

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

C198L
2025
Campos, Luíza Brito, 2000-
Leveduras selvagens na produção de vinhos: exploração
para o desenvolvimento de novos produtos / Luíza Brito
Campos. – Viçosa, MG, 2025.
1 dissertação eletrônica (131 f.): il. (algumas color.).

Texto em português e inglês.

Inclui anexo.

Orientador: Monique Renon Eller.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Tecnologia de Alimentos, 2025.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.166>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Vinho de frutas - Catas Altas (MG) - Qualidade.
2. Jaboticaba. 3. Vinho e vinificação - Análise. 4. Fermentação.
5. Leveduras. I. Eller, Monique Renon, 1986-. II. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Tecnologia de Alimentos.
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos. III. Título.

CDD 22. ed. 641.229

LUIZA BRITO CAMPOS

Leveduras selvagens na produção de vinhos: exploração para o desenvolvimento de novos produtos

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 18 de fevereiro de 2025.

Assentimento:

Luiza Brito Campos
Autora

Monique Renon Eller
Orientadora

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 28/04/2025 às 10:35:48 e pela orientadora em 28/04/2025 às 12:51:52. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **MFC9.JFMP.IILM** e clique no botão 'Validar documento'.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

CAMPOS, Luiza Brito, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2025. **Leveduras selvagens na produção de vinhos: exploração para o desenvolvimento de novos produtos.** Orientadora: Monique Renon Eller. Coorientadores: Jose Guilherme Prado Martin e Lílian Emídio Ribeiro.

Catas Altas é um município de Minas Gerais que se destaca pela produção de vinhos de fermentação natural, um conhecimento milenar e inexplorado pela comunidade científica. Por isso, este estudo investigou a produção de vinho de jabuticaba em Catas Altas, integrando aspectos culturais, históricos e técnico-científicos da vitivinicultura local. A pesquisa abrangeu a escrita de um capítulo do livro *Trending Topics on Fermented Foods* visando a divulgação da cultura de produção de vinhos selvagens no mundo. Além disso, foi realizada a análise de conformidade dos vinhos das safras de 2022, 2023 e 2024 às normas brasileiras (Instruções Normativas 14/2018 e 34/2012). Observou-se uma evolução notável na qualidade do vinho ao longo dos anos, evidenciada pelo aprimoramento das técnicas de manejo e boas práticas de produção. Em 2022, duas amostras apresentaram teor alcoólico abaixo do padrão, enquanto a partir de 2023 todas as amostras atenderam aos critérios normativos para este parâmetro. A acidez total observada foi um indicativo da necessidade de readequação das estratégias de manejo e coleta dos frutos. Paralelamente, 63 mostos foram coletados em outubro de 2023, antes e após o processo de maceração, para isolamento, caracterização e identificação das leveduras presentes. Das 49 leveduras isoladas, as principais espécies encontradas foram *Saccharomyces cerevisiae*, *Hanseniaspora guilliermondii* e *Kurtzmaniella quercitrusa*. Uma possível nova espécie de levedura foi encontrada, evidenciando a relevância e a exclusividade dos produtos locais. Após triagem tecnológica por meio de testes de resistência a glicose (0 - 35%), etanol (0 - 18%) e metabissulfito de sódio (0 - 200 mg/L) 20 isolados foram selecionados para avaliação do potencial fermentativo em mosto de uva a 16 °Brix a 18 °C. A fermentação foi acompanhada durante 7 dias por meio da avaliação do teor de açúcares redutores e nitrogênio amino livre e do conteúdo ácidos orgânicos. Os isolados G-011 (*Saccharomyces cerevisiae* NRRL Y-12632), G-041 (*Kurtzmaniella quercitrusa* CBS 4412) e C-032 (*Kurtzmaniella quercitrusa* CBS 4412) destacaram-se por sua capacidade fermentativa e resiliência, enquanto as demais apresentaram algumas limitações. Essas análises destacam a relevância das leveduras selvagens na vinificação e seu potencial como estratégia tecnológica para aprimorar os vinhos de jabuticaba, promovendo o uso de leveduras nativas de Catas Altas na

produção de vinho tinto.

Palavras-chave: Vinho de jabuticaba;; Fermentação;; Potencial fermentativo;;
Maturação das jabuticabas;; Qualidade do vinho.

ABSTRACT

CAMPOS, Luiza Brito, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2025. **Wild yeasts in wine production: exploitation for the development of new products.** Adviser: Monique Renon Eller. Co-advisers: Jose Guilherme Prado Martin and Lílian Emídio Ribeiro.

Catas Altas is a municipality in Minas Gerais known for its production of naturally fermented wines, a centuries-old practice that remains largely unexplored by the scientific community. This study investigated the production of jabuticaba wine in Catas Altas, integrating cultural, historical, and technical-scientific aspects of local viticulture. The research included the authorship of a chapter in the book *Trending Topics on Fermented Foods*, aiming to promote awareness of wild wine production worldwide. Additionally, an evaluation was conducted to assess the compliance of jabuticaba wines from the 2022, 2023, and 2024 harvests with Brazilian regulations (Normative Instructions 14/2018 and 34/2012). A remarkable improvement in wine quality was observed over the years, driven by advancements in management techniques and the best production practices. In 2022, two samples exhibited alcohol content below the regulatory standard. However, starting in 2023, all samples met the normative criteria for this parameter. The observed total acidity highlighted the need to adjust fruit handling and harvesting strategies. In parallel, 63 must samples were collected in October 2023, both before and after the maceration process, to isolate, characterize, and identify the yeast species present. Among the 49 isolated yeasts, the predominant species were *Saccharomyces cerevisiae*, *Hanseniaspora guilliermondii*, and *Kurtzmaniella quercitrusa*. A potentially new yeast species was discovered, emphasizing the uniqueness and significance of local products. Following a technological screening based on resistance tests to glucose (0–35%), ethanol (0–18%), and sodium metabisulfite (0–200 mg/L), 20 isolates were selected for fermentation potential evaluation in grape must at 16° Brix and 18°C. The fermentation process was monitored for seven days by assessing the levels of reducing sugars, free amino nitrogen, and organic acids. The isolates G-011 (*Saccharomyces cerevisiae* NRRL Y-12632), G-041 (*Kurtzmaniella quercitrusa* CBS 4412), and C-032 (*Kurtzmaniella quercitrusa* CBS 4412) stood out for their fermentative capacity and resilience, while others exhibited some limitations. These findings highlight the importance of wild yeasts in winemaking and their potential as a technological strategy to enhance jabuticaba wine production, fostering the use of native Catas Altas yeasts in red wine production.

Keywords: Jabuticaba wine; ; Fermentation; ; Fermentative potential; ; Jabuticaba maturation; ; Wine quality

Sumário

1.	INTRODUÇÃO GERAL.....	10
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1	Mercado de vinhos	12
2.2	Vinhos de produção artesanal	13
2.3	Métodos de produção artesanal de vinhos.....	18
2.3.1	Primeira etapa: colheita do fruto	18
2.3.2	Segunda etapa: Seleção do fruto e lavagem	19
2.3.3	Terceira etapa: quebra e retirada do sumo do fruto	19
2.3.4	Quarta etapa: maceração	19
2.3.5	Quinta etapa: engarrafamento e rotulagem.....	21
2.4	Microbiota endógena de vinhos selvagens	23
2.5	Potencial de inovação na região de Catas Altas	25
2.6	Referências Bibliográficas.....	26
3.	Capítulo 1	30
3.1	Introduction.....	31
3.2	History and Cultural Relevance of Wild Wines	31
3.2.1	The History.....	31
3.2.2	Wild Wines: Unraveling Their Essence	35
3.2.3	The Industrial Revolution and Its Impact on Wines.....	36
3.2.4	Market Trends for Wild Wines	38
3.3	The Grape: Agronomical and Quality Aspects	40
3.3.1	Types of Grapes	40
3.3.2	Ecophysiological Aspects Determining the Quality of Grapes	41
3.3.3	Pruning Aspects That Determine the Quality of Grapes	44
3.3.4	Agronomic Aspects of Terroir in Wine Production	45
	How does soil directly affect wine?	45
3.4	Microbiome Associated with Grapes, Viticulture, and the Winery Environment	47
3.5	Fermentation Processes for the Production of Wild Wines.....	50
3.5.1	Grape Harvesting.....	51
3.5.2	Crushing and Pressing	52
3.5.3	Maceration	53
3.5.4	Fermentation	54
3.5.5	Malolactic Fermentation.....	56
3.5.6	Aging and Maturation.....	57
3.5.7	Blending and Filtration	58
3.5.8	Bottling and Cellaring	59

3.6	Conclusion.....	60
	References.....	60
4.	Capítulo 2.....	65
4.1	Introdução	66
4.2	Avaliação da qualidade dos vinhos produzidos por associados à APROVART.....	68
4.2.1	Parâmetros físico-químicos e de qualidade dos vinhos de jabuticaba.....	68
4.2.2	Métodos analíticos.....	69
4.3	Resultados e discussão	71
4.4	Considerações finais	85
4.4.1	Desafios de reconhecimento do vinho de jabuticaba relacionados à legislação brasileira	85
4.4.2	Avanços tecnológicos em favor da qualidade com a manutenção da tradição ..	87
4.5	Conclusão	88
	Agradecimentos	89
	Referências bibliográficas.....	89
5.	Capítulo 3.....	94
5.1	Introduction.....	95
5.2	Methodology	96
5.2.1	Yeast Isolation	96
5.2.2	Morphological Analysis	97
5.2.3	Identification of Isolates	97
5.2.4	Stress Tolerance Test.....	97
5.2.5	Evaluation of Fermentative Potential of Isolates.....	98
5.2.5	Analytical Methods.....	99
5.2.6	Statistical Analysis.....	100
5.3	Results and discussion	100
5.3.1	Stress tolerance test.....	103
5.3.2	Fermentation potential of the isolated yeast strains	115
5.4	Conclusion.....	120
5.5	References	121
6.	CONCLUSÕES GERAIS	124
7.	ANEXOS	125

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção de vinho de jabuticaba em Catas Altas, Minas Gerais, é uma prática que vai além do processo de vinificação, constituindo um elemento cultural profundamente integrado às características agroclimáticas da região e à tradição transmitida entre gerações. Esse método artesanal consolidou-se como uma expressão da identidade regional, com impacto no patrimônio histórico e cultural, além de contribuir para o desenvolvimento econômico local. Reconhecida através do decreto N° 1.221 de 2011, como patrimônio imaterial do município de Catas Altas, sendo reconhecido pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). Com isso, a vitivinicultura da região é protegida por políticas públicas que asseguram sua preservação e incentivam sua adaptação às novas exigências do mercado, incluindo demandas por sustentabilidade e inovação (FERREIRA BERNARDINO et al., 2024).

No núcleo do processo de produção dos vinhos está a fermentação, uma etapa bioquímica fundamental mediada pela ação de leveduras. As leveduras não apenas transformam açúcares em álcool e dióxido de carbono, mas são essenciais para as características sensoriais dos vinhos por meio da produção de compostos secundários, especialmente compostos voláteis. Neste contexto, são especialmente valorizadas as espécies autóctones, entre as quais destacam-se leveduras não-*Saccharomyces*, que produzem metabólitos secundários capazes de enriquecer o aroma, o sabor e a textura dos vinhos, conferindo-lhes uma identidade particular (WARD et al., 2023). Além disso, pesquisas têm demonstrado que cepas de leveduras associadas a *terroirs* específicos podem adicionar características regionais marcantes aos vinhos, reforçando sua singularidade e aumentando sua competitividade no mercado global (CAPOZZI et al., 2015).

A fermentação espontânea, já amplamente utilizada na produção de vinhos artesanais de jabuticaba em Catas Altas, depende da presença de leveduras selvagens derivadas do ambiente circundante, em vez de culturas iniciadoras comerciais. Esse método, embora tradicional, revela um vasto potencial de exploração científica, uma vez que as populações microbianas

envolvidas ainda são pouco estudadas. No caso dos vinhos de Catas Altas, esse potencial é completamente inexplorado. A diversidade genética das leveduras locais, que desempenha papel de grande importância na definição das características organolépticas e sensoriais dos vinhos, permanece uma área de pesquisa em expansão, demandando diferentes tecnologias para sua caracterização e aplicação. Essas coleções viabilizam a seleção de culturas iniciadoras personalizadas, que podem ser aplicadas para valorizar o *terroir*, incrementar a qualidade sensorial dos vinhos e promover a sustentabilidade da produção. Essa abordagem integrada permite não apenas a preservação da biodiversidade microbiana local, mas também sua aplicação para a inovação tecnológica (GRANCHI et al., 2019).

Em Catas Altas, as condições climáticas específicas, a rica biodiversidade microbiana e o legado histórico da produção de vinhos de jabuticaba criam um ambiente propício para a exploração científica e tecnológica. Este trabalho busca integrar as práticas tradicionais com ferramentas de biotecnologia moderna, explorando a biodiversidade de leveduras nativas como parte dos objetivos do Programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia – INCT Leveduras: Biodiversidade, preservação e inovações biotecnológicas (CNPq 406564/2022-1). Esse esforço visa não apenas o desenvolvimento de novos produtos e a diversificação sensorial dos vinhos, mas também a valorização e ampliação da vitivinicultura local no cenário nacional e internacional.

Esta dissertação é composta por três capítulos que abordam diferentes aspectos dos vinhos selvagens, sua qualidade, cultura e inovação na produção. O primeiro capítulo, "Wild Wines: The State of Art", publicado no livro *Trending Topics on Fermented Foods* da Springer Nature, apresenta um panorama abrangente sobre o estado da arte dos vinhos selvagens, destacando seu potencial e relevância no mercado atual. O segundo capítulo, "Qualidade e Cultura: Os Vinhos de Jabuticaba de Catas Altas", investiga a produção e as particularidades dos vinhos de jabuticaba em Catas Altas, analisando sua qualidade e importância cultural. O terceiro capítulo, "Wild Yeasts in Wine Production: Exploration for the Development of New Products", publicado em periódico científico, discute o papel dos levedos selvagens na produção vinícola

e seu potencial para o desenvolvimento de novos produtos. A estrutura desta dissertação visa fornecer uma análise técnica e aprofundada sobre o tema, contribuindo para o avanço do conhecimento na área.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mercado de vinhos

Desde a década de 1990, observa-se um crescimento sustentado no consumo de vinho em regiões da Ásia, do norte da Europa e da América do Norte, enquanto os países produtores tradicionais da Europa apresentam um declínio contínuo na demanda por essa bebida (VARIA et al., 2021). Esse fenômeno reflete mudanças estruturais impulsionadas pelo processo de globalização, que tem redefinido os mercados internacionais de vinho (SANTERAMO et al., 2019).

A tendência atual indica uma transição do consumo doméstico para uma demanda crescente por vinhos importados, impulsionada pelo aumento da produção em regiões emergentes e pela ampliação da base de consumidores. Entretanto, apesar da expansão do mercado, os países europeus, estes mais tradicionais na produção vitivinícola enfrentam uma redução no consumo interno, o que impacta diretamente sua produção (OHANA-LEVI et al., 2023).

Mesmo tendo suas demandas internas reduzidas, os exportadores europeus continuam dominando o mercado global, com França, Itália e Espanha liderando as exportações. Segundo a Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV), em 2019, esses três países foram responsáveis por 53% do volume mundial exportado (57,1 milhões de hectolitros) e 60% do valor total das exportações de vinho (18,9 bilhões de euros). A Itália se destacou como o principal exportador em volume, com 21,6 milhões de hectolitros comercializados, correspondendo a 20,5% do total global, gerando uma receita de 6,4 bilhões de euros. Por outro lado, a França liderou em termos de valor agregado, representando quase 31% das vendas globais.

Com isso, foi possível que os Estados Unidos se consolidassem como o maior mercado consumidor de vinho, atingindo 33 milhões de hectolitros consumidos em 2019. Dados também fornecidos pela OIV, 2019. Onde, no mesmo ano, o setor vitivinícola italiano registrou um crescimento expressivo, correspondendo a 15% do valor total das exportações agroalimentares do país.

Quando fazemos uma comparação do valor agregados desses vinhos, dentre as duas maiores potências produtoras, Itália e França, há uma diferença significativa de preço. Enquanto um hectolitro de vinho exportado pela Itália foi avaliado em 296 euros, o mesmo volume do produto francês alcançou 688 euros, reflexo da maior proporção de vinhos engarrafados na composição das exportações francesas. De fato, 71% do vinho francês destinado ao mercado internacional era comercializado em garrafas, fator que agrega valor ao produto e justifica o seu valor mais elevado (MAESANO et al., 2021).

2.2 Vinhos de produção artesanal

A história do vinho remonta há tempos pré-históricos, com as evidências mais antigas de produção datando de cerca de 7000 a.C., na região da Mesopotâmia, correspondente ao atual Iraque. Civilizações antigas, como os sumérios, egípcios e babilônios, reconheciam o valor do vinho e o incorporavam em suas vidas diárias e rituais religiosos, considerando-o uma dádiva divina e um elixir de saúde (HARUTYUNYAN et al., 2022). O vinho continuou a desempenhar um papel significativo nas culturas grega e romana, onde era apreciado tanto por suas propriedades organolépticas quanto por seu significado cultural, tanto como, deidades foram nomeadas em homenagem ao vinho, tornando-se uma bebida de grande significado social durante esse período. A produção de vinho prosperou durante o Império Romano, que estabeleceu vinhas em toda a Europa. Durante a Idade Média, os mosteiros europeus assumiram a responsabilidade de preservar a tradição da produção de vinho, usando-o em rituais religiosos e mantendo o conhecimento da viticultura e vinificação (PRATT et al., 2021).

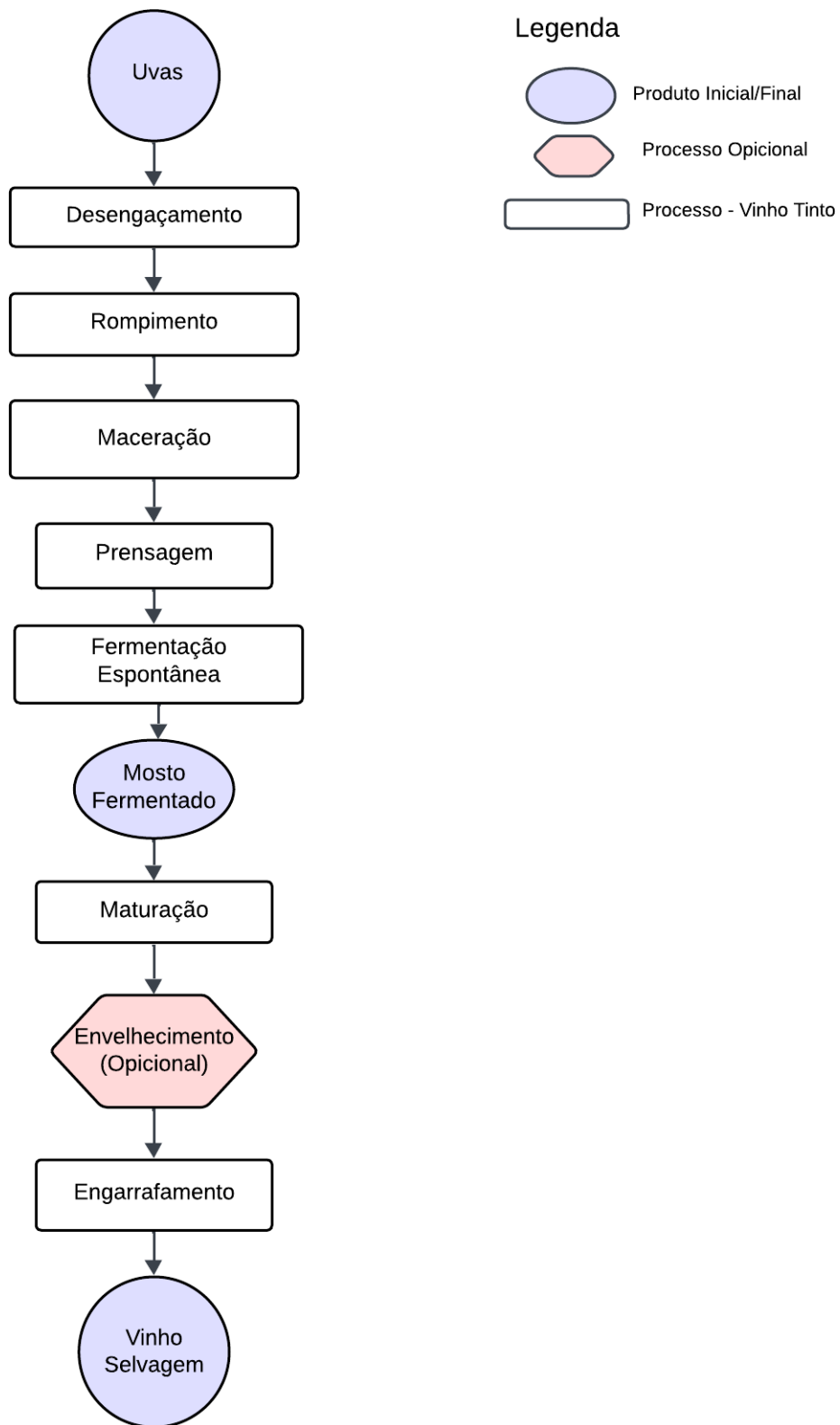
Desempenhando também um papel essencial na gastronomia regional e internacional. Onde, em muitas culturas, ele é usado para realçar os sabores de

pratos típicos e complementar refeições, criando com isso uma experiência sensorial regional, transmitindo as características estacionais e o *terroir* daquela região (CRESPI-VALLBONA et al., 2020). Além da produção de vinho em si, essa indústria abrange atividades como viticultura, enologia, distribuição, turismo enológico e restaurantes especializados em vinho. Essas áreas interligadas proporcionam uma ampla gama de oportunidades de emprego, desde agricultores e trabalhadores de vinícolas até *sommeliers* e profissionais de *marketing*, desempenhando dessa forma, um papel fundamental na economia, gerando empregos diretos e indiretos em todo o mundo. O vinho também impulsiona o turismo, atraindo visitantes para regiões vinícolas, beneficiando não apenas a indústria do vinho, mas também hotéis, restaurantes e lojas locais. No contexto econômico em que o vinho se posiciona como um ativo de relevância, é de suma importância aprofundar-se na diferença entre vinificação natural e métodos industriais. Enquanto a economia vinícola se beneficia da eficiência proporcionada por técnicas industriais, como a seleção controlada de leveduras e a uniformidade resultante, a ascensão do vinho selvagem destaca uma abordagem menos convencional, priorizando a fermentação espontânea (NOVOTNÁ et al., 2019).

A distinção entre vinho selvagem e vinho industrial reside nos métodos de vinificação. O vinho selvagem, também conhecido como vinho natural, caracteriza-se pelo uso exclusivo de leveduras endógenas presentes na casca da uva e no ambiente da vinícola, permitindo uma fermentação espontânea sem a adição de agentes externos (Figura 1). Além disso, esse tipo de vinho evita o uso de aditivos químicos, como sulfitos em excesso, corretores de acidez e enzimas, buscando expressar as características únicas do *terroir* e da safra. Em contrapartida, o vinho industrial adota práticas mais controladas e padronizadas (Figura 2). Leveduras comerciais selecionadas são introduzidas para garantir uma fermentação previsível e eficiente, reduzindo o risco de variações indesejadas. Além disso, o processo industrial envolve o controle rigoroso da temperatura e o uso de insumos como estabilizantes, clarificantes e conservantes, visando assegurar a uniformidade da produção em larga escala. Tais medidas proporcionam maior estabilidade microbiológica, longevidade e

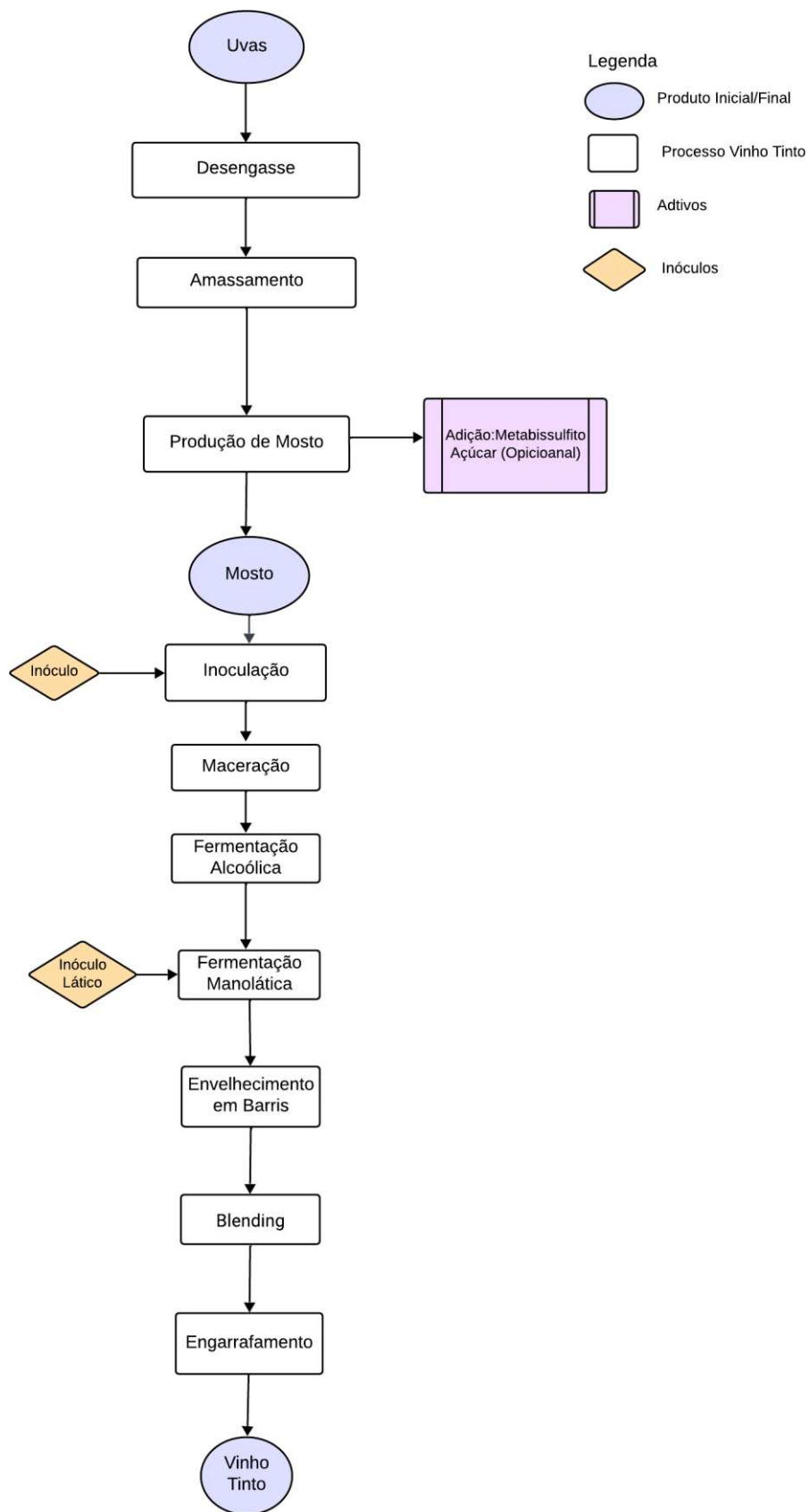
padronização do produto final, atendendo às demandas do mercado por vinhos consistentes e de produção contínua. Dessa forma, enquanto o vinho selvagem valoriza a mínima intervenção e a autenticidade do processo, o vinho industrial foca na otimização da produção, garantindo previsibilidade e segurança ao consumidor.

Figura 1. Fluxograma de produção de vinho selvagem



Fonte. Autora, 2025.

Figura 2. Fluxograma de produção industrial de vinho tinto.



Fonte. Autora, 2025

2.3 Métodos de produção artesanal de vinhos

A produção de vinho de jabuticaba na localidade de Catas Altas caracteriza-se por um processo artesanal, no qual a fermentação do mosto ocorre sem a adição de conservantes ou agentes químicos, resultando em um produto de composição mais próxima ao seu estado natural. O método empregado segue princípios tradicionais, sendo realizado majoritariamente em pequena escala, com variações nos protocolos conforme a expertise de cada produtor. Diferentemente das vinificações industrializadas, que operam em instalações centralizadas com rígido controle de variáveis físico-químicas, a produção em Catas Altas ocorre de forma descentralizada. Cada produtor elabora seu vinho em sua própria residência, em ambientes preparados para garantir condições adequadas de higiene e controle microbiológico. Esse modelo de produção influencia diretamente a variabilidade sensorial do produto final, uma vez que fatores como a microbiota nativa, as condições ambientais e as práticas individuais podem afetar o perfil fermentativo e a composição química do vinho. Segundo Meltz et al. (2024), a elaboração do vinho de jabuticaba segue etapas bem definidas, que abrangem desde a seleção e higienização das frutas até a condução da fermentação e o período de maturação da bebida. A seguir, serão descritas detalhadamente as fases do processo, com ênfase nos fatores que impactam sua dinâmica bioquímica e sensorial.

2.3.1 Primeira etapa: colheita do fruto

A fase de colheita da jabuticaba (*Plinia cauliflora*), típica de regiões de clima tropical e subtropical, ocorre predominantemente entre outubro e dezembro, correspondendo ao final da estação seca e ao início do período chuvoso. Entretanto, algumas jabuticabeiras podem frutificar fora deste intervalo principal, em uma manifestação que depende de variações microclimáticas e da capacidade de cada planta para responder às condições de umidade e temperatura. Esse ciclo de frutificação não é fixo e pode variar conforme o microclima local e o manejo agrícola, permitindo que algumas árvores produzam frutos antes de novembro ou após dezembro.

A jabuticabeira, uma espécie arbórea perene endêmica do Brasil, apresenta características caulifloras, isto é, seus frutos desenvolvem-se diretamente sobre o tronco e galhos, favorecendo uma frutificação abundante e facilita o processo de colheita. A floração e o crescimento dos frutos são intensamente influenciados pela disponibilidade de água e por uma temperatura média anual elevada, ambos elementos típicos do clima tropical. Durante a fase de floração, um aumento na umidade do solo devido à chuva ou à irrigação pode estimular a produção de flores, e a temperatura entre 20°C e 30°C é ideal para o desenvolvimento dos frutos. Assim, o cultivo e a colheita da jabuticaba vão além da dependência do ciclo natural da planta, eles são resultados de uma interação dinâmica entre práticas agrícolas e fatores climáticos. Configurando-se como uma atividade que exige conhecimento técnico para maximizar o potencial produtivo e atender às demandas do mercado em diferentes períodos do ano.

2.3.2 Segunda etapa: Seleção do fruto e lavagem

Posterior à etapa de colheita, os frutos são dispostos em amplos compartimentos nas habitações dos produtores para o processo de seleção e subsequente lavagem, efetuado por meio de peneiras e telas. Tal procedimento visa a limpeza dos frutos, removendo eventuais resíduos como folhas minúsculas, galhos e outras impurezas que possam estar associadas à fruta.

2.3.3 Terceira etapa: quebra e retirada do sumo do fruto

Selecionados e limpos, os frutos são esmagados (ou "quebrados", como se diz localmente), utilizando-se para isso, prensas artesanais de madeira, das quais o suco da fruta é extraído para o subsequente processo de fermentação destinado à produção do vinho. Em seguida, realiza-se a medição do teor de açúcar presente no fruto, por meio do emprego de um densímetro (aparelho utilizado para medir a densidade de líquidos), podendo, em certos casos, ser ajustado com a adição de açúcar.

2.3.4 Quarta etapa: maceração

Durante os sete dias de maceração, o mosto do vinho de jabuticaba

permanece em contato com as cascas da fruta, permitindo a extração gradual de compostos fenólicos, pigmentos e precursores aromáticos responsáveis pela cor, estrutura e complexidade sensorial do vinho. Esse período é fundamental para a intensificação das características organolépticas da bebida, influenciando diretamente sua tonalidade, corpo e perfil sensorial. Ao término do sétimo dia, as cascas são removidas por meio de prensagem ou separação manual, reduzindo a extração de taninos mais adstringentes. Após essa etapa, é comum a realização da chaptalização, procedimento em que se adiciona sacarose ao mosto com o objetivo de corrigir o teor de açúcares fermentáveis, garantindo uma fermentação completa e um teor alcoólico adequado. Essa prática é especialmente relevante na produção **do vinho de jabuticaba em Catas Altas, pois contribui para a padronização do equilíbrio alcoólico e melhora a estabilidade do produto final.**

2.3.5 Quinta etapa: fermentação

O mosto é submetido à primeira fermentação, conhecida como "fermentação tumultuosa". Nesta etapa, o suco da fruta é acondicionado em recipientes de material plástico chamados "bombonas", vedados com dispositivos do tipo *airlock* ou conectados a mangueiras que se estendem até um recipiente contendo água, possibilitando a saída de ar, mas impedindo a entrada. O mosto é então deixado em repouso por aproximadamente 90 a 120 dias, com agitação do líquido uma vez por semana durante o período de fermentação. Esse processo de fermentação ocorre de maneira espontânea, sem a adição de leveduras exógenas. Após esta fase inicial, o mosto é submetido a uma ou mais operações de *trasfega*, deixando para trás os resíduos sólidos depositados no fundo.

Após o período de fermentação, o resultado consiste no vinho seco de jabuticaba. Para a alteração do perfil do vinho, seja suave ou seco, são adicionadas quantidades de açúcar tipo cristal que variam conforme as preferências de cada produtor, bem como a quantidade em litros do sumo fermentado. Novamente, o sumo passa por um processo de fermentação, cuja duração e intensidade dependem do clima local e da quantidade de açúcar adicionada.

Existem múltiplas variantes do vinho de jabuticaba disponíveis: tinto (fermentado com a presença das cascas), branco (fermentação do líquido separado das cascas), seco e suave (com maior teor de açúcar residual ou adição posterior).

Cada produtor mantém seus métodos de produção em sigilo, resultando em uma ampla diversidade de sabores no produto final. O teor alcoólico pode oscilar, mas geralmente se situa entre 10 a 13%. Grande parte dos conhecimentos foram transmitidos de geração em geração, seja nas famílias ou por mentores proeminentes, figuras frequentemente citadas como fontes de orientação nas gerações anteriores dos habitantes da cidade. Cada produtor elabora de 200 a 400 garrafas por ano, utilizando frutos provenientes de seu próprio cultivo ou adquiridos de vizinhos.

2.3.5 Quinta etapa: engarrafamento e rotulagem

O produto final é transferido para os recipientes de consumo em ambiente controlado, evitando contaminação e preservando as propriedades organolépticas. Na sequência, as garrafas são rotuladas conforme normas legais, contendo informações essenciais como origem, lote e data de envase. Esses dados asseguram rastreabilidade e conformidade com os padrões de qualidade exigidos para distribuição e consumo.

Com isso, é possível observar que o processo tem início com a colheita do fruto de alta qualidade, considerando os fatores como aparência, aroma, textura e rendimento da polpa (LATTUADA et al., 2020). Essa colheita deve ocorrer no momento ideal, já que a qualidade e sanidade das frutas impactam diretamente no desenvolvimento do processo, influenciando microbiológica e quimicamente o produto final (GONZÁLEZ-CABALLERO et al., 2010). Para isso, durante a coleta, é essencial colocá-las em sacos ou cestos, evitando quedas no solo para prevenir a contaminação por areia e terra. Além disso, o manuseio das frutas deve ser cuidadoso, prevenindo qualquer tipo de esmagamento, garantindo assim, a preservação da sanidade da fruta e sua conservação por um período prolongado (MELTZ et al., 2024)

Outro parâmetro importante para assegurar a qualidade do produto final é o acompanhamento e avaliação do processo produtivo. Nesse sentido, é necessário implementar análises físico-químicas que abrangem desde a matéria-prima até o produto final. Estas análises fornecem informações cruciais sobre as etapas do processo, possibilitando decisões fundamentadas, além de manter o controle do mesmo. No caso das frutas, as análises do teor de sólidos

solúveis (°Brix), pH, acidez titulável e fixa são fatores que interferem diretamente no rendimento do processo (MACEDO et al., 2021; LATTUADA et al., 2020), além de outros fatores, como variedade e tamanho da fruta (SANTOS et al., 2020).

No produto final também são analisados a acidez titulável, fixa e volátil, teor de sólidos solúveis (°Brix), açúcares redutores, e perfil de compostos voláteis. Através destes parâmetros, é possível identificar se os produtos atendem aos padrões de qualidade estabelecidos por lei. Quando os valores excedem os limites, é um indicativo de possíveis problemas em alguma etapa da produção, como baixa sanidade da fruta, falta de sanitização de utensílios, além da etapa de fermentação e envelhecimento, associados às boas práticas de fabricação. Dentre as análises, a acidez e o pH estão relacionados com a estabilidade do produto e suas características sensoriais e aromáticas. Valores altos de acidez total podem desfavorecer a presença de microrganismos essenciais no processo, influenciando diretamente na etapa fermentativa, bem como, na qualidade do produto final (MACEDO et al., 2021). Com relação ao pH, é importante ressaltar que fermentados alcoólicos tendem a ter pH mais baixos devido aos ácidos presentes nas frutas e obtidos a partir do processo fermentativo (NEVES et al., 2021).

Nos processos de produção tradicional, a fermentação é realizada a partir de leveduras selvagens de forma espontânea. As leveduras são microrganismos naturalmente presentes no ambiente e exibem variação na população microbiana conforme o tipo de alimento e o contexto geográfico. Em produtos fermentados, as leveduras são de particular interesse para o processo. Entre elas, destaca-se a espécie *Saccharomyces cerevisiae*, juntamente com outras leveduras não convencionais. Estas desempenham um papel crucial nas fases iniciais da fermentação alcoólica, conferindo características sensoriais únicas através da produção de diversos metabólitos secundários (BORREN & TIAN et al., 2020). No entanto, a *S. cerevisiae* tende a predominar nos processos fermentativos devido à sua alta capacidade de fermentação e sua resistência a condições estressantes como altos níveis de etanol, baixo pH e escassez de nutrientes, em comparação com outras espécies de leveduras (MOLINE & CUBILLOS et al., 2020).

2.4 Microbiota endógena de vinhos selvagens

A microbiota enológica compreende uma complexa comunidade de microrganismos que desempenham um papel essencial nos processos de fermentação e maturação do vinho. Além das leveduras, inclui bactérias lácticas, acéticas e outros fungos, cada um contribuindo de maneira específica para a evolução do vinho (QIU et al., 2021). As leveduras são as protagonistas dentro do processo de fermentação do vinho, transformando os açúcares presentes no mosto em álcool e dióxido de carbono. A espécie de levedura *Saccharomyces cerevisiae* é frequentemente usada na fermentação controlada, mas em vinificações naturais ou espontâneas, uma ampla variedade de leveduras selvagens também pode estar envolvida, adicionando complexidade ao perfil aromático e de sabor do vinho (POMARICI et al., 2021).

A indústria vinícola, historicamente fundamentada em métodos tradicionais e na predominância de leveduras convencionais, está atravessando uma revolução marcante com a incorporação de leveduras não convencionais e outros microrganismos inovadores no processo de fermentação. Entre os gêneros primários adotados, incluem-se *Brettanomyces* spp., *Hanseniaspora* spp., *Pichia* spp., além de microrganismos emergentes como *Torulaspota delbrueckii*, *Lachancea thermotolerans*, e *Metschnikowia pulcherrima*. Esses microrganismos desencadeiam uma cascata metabólica resultando na produção de uma variedade de compostos, tais como ésteres, fenóis, terpenos, glicoconjugados, e derivados tiólicos, conferindo propriedades sensoriais distintas aos vinhos, suscetíveis a manipulação específica pelos enólogos (GUZZON et al., 2018).

Fermentos comerciais, baseados em leveduras não-*Saccharomyces*, têm se destacado como catalisadores na transformação da vinificação moderna. Essas cepas não convencionais são estrategicamente empregadas para modular e aprimorar os perfis sensoriais dos vinhos de forma precisa e controlada. A co-inoculação sinérgica de leveduras não-*Saccharomyces*, como *Torulaspota delbrueckii*, com a *Saccharomyces cerevisiae*, representa uma

estratégia eficaz para ampliar a complexidade aromática dos vinhos. Essa abordagem resulta na síntese de metabólitos secundários, tais como ésteres e terpenos, contribuindo para características sensoriais frutadas e florais (ROLLER et al., 2021).

Em regiões vinícolas onde a acidez é um fator crítico, a integração de leveduras não-*Saccharomyces*, como a *Lachancea thermotolerans*, tem apresentado notável capacidade de metabolizar o ácido málico, promovendo a redução da acidez total dos vinhos e, conseqüentemente, otimizando o equilíbrio ácido-base. Além disso, cepas específicas de leveduras não-*Saccharomyces*, como a *Metschnikowia pulcherrima*, têm demonstrado habilidade para produzir polissacarídeos durante a fermentação, conferindo melhorias significativas à estrutura e textura dos vinhos, particularmente em vinhos brancos, proporcionando uma sensação de viscosidade mais pronunciada. Em resposta a uma crescente demanda por vinhos de menor teor alcoólico, algumas cepas de leveduras não-*Saccharomyces* são empregadas para fermentar açúcares parcialmente, resultando em uma redução efetiva do teor alcoólico, uma característica altamente desejada em vinhos mais leves e equilibrados (ORO et al., 2019).

Em síntese, a estratégia de implementação de leveduras e microrganismos inovadores no processo fermentativo assume um papel proeminente na moldagem das características dos vinhos. Essa abordagem representa um ponto de inflexão na indústria vinícola contemporânea. Os avanços em sequenciamento genético têm sido fundamentais para aprofundar a pesquisa sobre leveduras não convencionais, permitindo uma análise detalhada de seus genomas e características funcionais. Essas informações são importantes para a identificação, isolamento e cultivo dirigido de cepas específicas, contribuindo para uma abordagem mais precisa e personalizada na produção de vinho (ESTEVEZ et al., 2019).

A diversidade de leveduras na microbiota endógena é influenciada por fatores geográficos, climáticos e culturais. Regiões vinícolas em diferentes partes do mundo abrigam populações características de leveduras selvagens, e

até mesmo vinhas individuais podem ter microbiotas distintas. Por exemplo, regiões com climas mais frios podem abrigar leveduras que se adaptaram a temperaturas mais baixas, enquanto regiões mais quentes podem ter leveduras mais resistentes ao calor. A composição do solo, a flora nativa e as práticas agrícolas também desempenham um papel na diversidade da microbiota (AOUIZERAT et al., 2019)

Uma das principais contribuições para a diversidade de vinhos disponíveis no mercado é dada pela variedade de leveduras selvagens em diferentes regiões geográficas. Assim, a influência das leveduras selvagens é tão profunda que alguns produtores optam por não realizar inoculação com leveduras comerciais, permitindo que a microbiota local dirija a fermentação. Resultando em vinhos que refletem as características do solo e do clima da região em que as leveduras foram coletadas (MOZZACHIODI et al., 2022).

2.5 Potencial de inovação na região de Catas Altas

A região de Catas Altas, localizada no estado de Minas Gerais, Brasil, está emergindo como um novo destino vinícola. Sua história é relativamente jovem em comparação com regiões europeias tradicionais, portanto, suas oportunidades de crescimento e inovação são significativas. Em termos históricos, a produção de vinho em Catas Altas remonta há algumas décadas, mas ganhou destaque recentemente. Sua ascendência na produção de vinhos finos é notável, uma vez que a região tem explorado seu *terroir* específico com altitudes elevadas e solos ricos em minerais. O clima subtropical de altitude, caracterizado por amplitudes térmicas significativas entre o dia e a noite, contribui para o amadurecimento lento e equilibrado das uvas. Assim, a indústria vinícola de Catas Altas tem o potencial de se especializar no cultivo de variedades viníferas como *Syrah*, *Cabernet Sauvignon*, *Merlot* e *Chardonnay*. No entanto, identificar as lacunas de conhecimento nas variedades de uvas mais adequadas ao *terroir* local é uma área de pesquisa em desenvolvimento. Isso pode levar à descoberta de uvas autóctones que prosperam nas condições específicas de Catas Altas. Em termos de inovação, a região está investindo na modernização de suas vinícolas e na implementação de práticas de vinificação

de alta qualidade. A sustentabilidade ambiental é uma preocupação crescente, com a possibilidade de adotar técnicas de agricultura orgânica e de minimização de resíduos. Além disso, a exploração de métodos de vinificação mais modernos, como a fermentação controlada por temperatura e a utilização de barricas de carvalho, pode elevar a qualidade e a complexidade dos vinhos produzidos em Catas Altas (ARRUDA et al.,2019).

2.6 Referências Bibliográficas

ARRUDA, S., NASCIMENTO, A. P., CORDEIRO, J., ALVES THEREZO, P. E., DE ALVARENGA, C. A., CORDEIRO, J. L. Caracterização dos impactos desencadeados pelo ecoturismo na Cachoeira da Santa, Catas Altas (MG). **Research, Society and Development**, v. 8(3), 2019.

AOUIZERAT, T., GUTMAN, I., PAZ, Y., MAEIR, A. M., GADOT, Y., GELMAN, D., SZITENBERG, A., HAZAN, R. Isolation and Characterization of Live Yeast Cells from Ancient Vessels as a Tool in Bio-Archaeology. **mBio**, v. 10(2), e00388-19, 2019.

BORREN, E.; TIAN, B. The important contribution of non-Saccharomyces yeasts to the aroma complexity of wine: A review. **Foods**, v. 10, n. 1, p. 13, 2020.

CAPOZZI, V., GAROFALO, C., CHIRIATTI, M. A., GRIECO, F., SPANO, G. Microbial terroir and food innovation: The case of yeast biodiversity in wine. **Microbiological Research**, v. 181, p. 75–83, 2015.

CRESPÍ-VALLBONA, M., MASCARILLA-MIRÓ, Ò. Wine lovers: their interests in tourist experiences. *International Journal of Culture*. **Tourism and Hospitality Research**, 2020.

ESTEVES, M. C., BARBOSA, I., VASCONCELOS, M., TAVARES, A., MENDES-FAIA, N. P. M., MENDES-FERREIRA, A. Characterizing the Potential of the Non-Conventional Yeast *Saccharomyces ludwigii* UTAD17. **Microorganisms**, p. 7, 2019.

FERREIRA BERNARDINO Í, Preto O. Universidade Federal De Ouro Preto Departamento De História Graduação Em Bacharelado Em História Entre Sabores E Saberes: Um Mapeamento Da Eficácia Do Icms Cultural Para A Proteção Do Patrimônio Imaterial Da Cidade De Catas Altas. **Trabalho De Conclusão De Curso**. Ouro Preto, 2024.

GONZÁLEZ-CABALLERO, V., SÁNCHEZ, M. T., LÓPEZ, M. I., PÉREZ-MARÍN, D. First steps towards the development of a non-destructive technique for the quality control of wine grapes during on-vine ripening and on arrival at the winery. **Journal of Food Engineering**, v. 101(2), p. 158–165, 2010.

GRANCHI, L., GANUCCI, D., BUSCIONI, G., MANGANI, S., GUERRINI, S. (2019). The Biodiversity of *Saccharomyces cerevisiae* in Spontaneous Wine Fermentation: The Occurrence and Persistence of Winery-Strains. **Fermentation**, v. 5(4), p. 86, 2019.

GUZZON, R., LARCHER, R., ROSA GUARCELLO, N., FRANCESCA, L., SETTANNI, G., MOSCHETTI, G. Spoilage potential of *Brettanomyces bruxellensis* strains isolated from Italian wines. **Food Research International**, v. 105, p. 668–677, 2018.

HARUTYUNYAN, M., MALFEITO-FERREIRA, M. Historical and Heritage Sustainability for the Revival of Ancient Wine-Making Techniques and Wine Styles. **Beverages**, 2022

LATTUADA, D. S.; BARROS, N.; HAGEMANN, A.; DE SOUZA, P. V. D. Caracterização físico-química e desenvolvimento pós-colheita de jabuticabas (*Plinia peruviana* e *P. cauliflora*). **Iheringia, Série Botânica**, v. 75, 2020.

MACEDO, E. H. B.; SANTOS JR, G. C.; SANTANA, M. N.; JESUS, E. F. O.; DE ARAÚJO, U. B.; ANJOS, M. J.; PINHEIRO, A. S; CARNEIRO, C.S; RODRIGUES, I. A. Unveiling the physicochemical properties and chemical profile of artisanal jabuticaba wines by bromatological and NMR-based metabolomics approaches. **LWT**, v. 146, p. 111371, 2021.

MAESANO, G., DI VITA, G., CHINNICI, G., PAPPALARDO, G., D'AMICO, M. What's in organic wine consumer mind? A review on purchasing drivers of organic wines. **Wine Economics and Policy**, 10(1), 3–21, 2021.

MELTZ, T. R.; SILVA, S. S. e; SILVA, T. A. da; BRUM, F. B.; PASTÓRIO, J. L.; MEDEIROS, B.; LOSS, R. A.; CARVALHO, J. W. P. Produção e análise físico-químicas de vinho de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*). **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 21, n. 8, p. e6838, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n8-160. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/6838>. Acesso em: 10 fev. 2025.

MOLINET, J.; CUBILLOS, F. A. Wild yeast for the future: exploring the use of wild strains for wine and beer fermentation. **Frontiers in Genetics**, p. 1281, 2020.

MOZZACHIODI, S., BAI, F., BALDRIAN, P., BELL, G., BOUNDY-MILLS, K., BUZZINI, P., BOYNTON, P. (2022). Yeasts from temperate forests. **Yeast**, v. 39 (1-2), p.4-24, 2022.

NEVES, N. de A.; STRINGHETA, P. C.; GARCÍA-ROMERO, E.; GÓMEZ-ALONSO, S. Elaboration and characterization of jabuticaba alcoholic fermented (*Plinia jaboticaba*) handcrafted. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e3010413799, 2021

NOVOTNÁ, J., NOVOTNÝ, L. Industrial clusters in a post-socialist country: The case of the wine industry in Slovakia. **Moravian Geographical Reports** v. 27(2), p. 62-78, 2019.

OIV. Organização Internacional da Vinha e do Vinho—Organização Intergovernamental. **Estado do Setor Vitivinícola Mundial em 2019, abril de 2020**; Relatório Estatístico sobre a Vitivinicultura Mundial; OIV Organização Internacional da Vinha e do Vinho: Paris, França, 2020.

OHANA-LEVI, N., NETZER, Y. Long-Term Trends of Global Wine Market. **Agriculture**, 13(1), 224, 2023.

ORO, L., CANONICO, L., VALENTINA, M. M., COMITINI, C. Occurrence of *Brettanomyces bruxellensis* on Grape Berries and in Related Winemaking Cellar. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, 2019.

PRATT, C. Oil, Wine, and the Cultural Economy of Ancient Greece. **Cambridge University Press**, 2021.

POMARICI, E., CORSI, A., MAZZARINO, S., SARDONE, R. The Italian Wine Sector: Evolution, Structure, Competitiveness and Future Challenges of an Enduring Leader. **Italian Economic Journal**. v. 7, p. 259–295, 2021.

QIU, X., YU, L., WANG, W., YAN, R., ZHANG, Z., YANG, H., ZHU, D., ZHU, B. Comparative Evaluation of Microbiota Dynamics and Metabolites Correlation Between Spontaneous and Inoculated Fermentations of Nanfeng Tangerine Wine. **Frontiers in Microbiology**, 2021.

ROLLERO, S. A., BLOEM, J., BRAND, A., ORTIZ-JULIEN, C. Nitrogen metabolism in three non-conventional wine yeast species: A tool to modulate wine aroma profiles. **Food Microbiology**, v. 94, 2021

SANTOS, Y. M. G. dos. **Desenvolvimento, caracterização e armazenamento de bebida alcoólica fermentada de jabuticaba**. 2020. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/28097/1/YVANA%20MARIA%20GOMES%20DOS%20SANTOS%20-%20TESE%20PPGEA%20CTR%202020.pdf>.

SANTERAMO, F.G., LAMONACA, E., NARDONE, G., SECCIA, A. Os benefícios das medidas não tarifárias específicas de cada país no comércio mundial de vinho. **Wine Econ. Policy**, 8, 28–37, 2019.

VARIA, F., MACALUSO, D., AGOSTA, I., SPATAFORA, F., DARA GUCCIONE, G. Transição para a agricultura orgânica: perspectivas para o futuro do setor italiano de vinhos orgânicos. **Sustentabilidade**, 13 (5), 2815, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13052815>

WARD, C. M. et al. The genomic landscape of wild *Saccharomyces cerevisiae* is shaped by complex patterns of admixture, aneuploidy and recombination. 2023. Disponível em: <<http://biorxiv.org/lookup/doi/10.1101/2023.06.07.544145>>

3. Capítulo 1

Wild Wines: The State of Art

Monique Renon Eller, Eduardo Luís Menezes de Almeida, Luíza Brito Campos, and Sebastián Giraldo Montoya

Abstract The production of wild wines is deeply rooted in tradition, history, and culture, making it a unique and fascinating process. The quality of these wines is influenced by various factors, including grape variety, production techniques, and maturation at harvesting, all of which contribute to the grape microbiota and subsequent fermentation process. The diverse techniques employed in winemaking further enhance the distinctiveness of wild wines, resulting in a wide range of styles and characteristics specific to each production region. Throughout this chapter, we explore the rich history and cultural significance of wild wines, highlighting the main regions known for their production today. We also dive into the techniques used in grape cultivation and winemaking, emphasizing the current technological trends in this field. The popularity of wild wines continues to rise as consumers seek authentic and unique wine experiences. These wines embody a sense of place and connection to the natural and traditional aspects of winemaking. As winemakers embrace the production of wild wines, they contribute to the preservation of local traditions and the creation of distinctive, site-specific wines. The future of wild wines holds promise for continued exploration, innovation, and appreciation of the diverse flavors and aromas they can offer.

Keywords Natural fermentation · Endogenous microbiota · Grape quality · Wine quality · Wine production

3.1 Introduction

The production of wine is millenary and associated with the evolution of various cultures and populations. In the twentieth century, traditional practices were substituted for industrialization for production scalability. While this practice has allowed for the widespread consumption of wines, as we know, there is currently a quest for reinventing the production of wild wines. The production of wild wines, rooted in ancient traditions, continues to captivate wine enthusiasts and connoisseurs today. By embracing natural fermentations and the unique characteristics of local microbiota, wild wines offer a taste of history and a connection to the *terroir*, making them a cherished part of wine culture. Moreover, the consumption of wild wines, with minimal interference and additives, is increasingly regarded as a healthier choice by a growing niche of consumers.

The term “wild wine” refers to wines produced by natural fermentations or without adding inoculants. However, in most regions where this practice is performed, their production is also associated with organic farming practices in grape cultivation. Furthermore, the production of wild wines is linked to products with processing and sensory peculiarities of the regions in which they are produced, resulting in products with geographical indications and high commercial value but with a limited range.

In this chapter, we discuss the historical and cultural aspects of wild wine production, concluding with an overview of the most traditional wine-producing regions today. We then explore the wine production process, drawing a parallel between the artisanal production of wild wines and industrial wine production. Next, we explore the agronomic methods of grape cultivation used to ensure the quality of the raw material, concluding with studies on the microbiology of grape musts and wild wines, an increasingly significant trend in the geographic characterization of traditional wines and for the development of new, sensory complex products.

3.2 History and Cultural Relevance of Wild Wines

3.2.1 The History

The history of wine traces back approximately 10,000 to 7,000 years ago to the Caucasus region of Minor Asia. Among the cradles of viticulture, Georgia stands out with a winemaking tradition spanning over 8000 years. This region is renowned for wild wine

production, crafted using clay amphorae known as “qvevri.” Indigenous grape varieties such as Saperavi and Rkatsiteli are widely cultivated in this area (Griffith 2004).

One of the most significant discoveries in the history of wine is the Areni-1 winery, believed to be the oldest winery in the world. Situated in Areni village, Armenia, this winery dates back approximately 6100 years. Its archaeological excavation has provided invaluable insights into the Neolithic period, revealing a well-established winemaking industry and underscoring the long-standing tradition of wine production in the Caucasus. It is speculated that this winery produced wine from wild grapes found in the area. The winemaking process involved various clay vessels for fermentation and storage, as well as equipment such as presses and ceramic containers.

Wine production gained prominence in Rome, Greece, Ancient Egypt, and Phoenicia. In Greece, winemaking is considered one of the oldest in the world. Viticulture in Greece is estimated to have begun around 6500 BC during the Neolithic period. The earliest written records about wine in Greece date back to around 2500 BC during the Minoan civilization on the island of Crete. Over the centuries, the Greeks refined viticulture and winemaking techniques, developing specific grape varieties and adopting advanced methods of fermentation and storage. Wine production expanded throughout the country, and different regions became known for their distinct wines. The Greeks played a crucial role in spreading the culture of wine to other parts of the world, particularly during the Greek colonization in the eighth century BC, especially to Italy, the Iberian Peninsula, and southern France (Irvine 2009).

The Roman Empire also excelled in wine production. Starting from the third century BC, the Romans were responsible for spreading viticulture and significantly expanding wine production in their vast domains. The wine was prominent in Roman culture, valued, and considered an important part of their identity. The Romans introduced improvements in cultivation techniques and winemaking, implementing pruning systems, refining vinification practices, and adopting advanced storage and transportation methods (Griffith 2004).

The territorial expansion of the Roman Empire significantly contributed to the growth of wine production. Regions like southern Italy, Sicily, Gaul (present-day France), Hispania (present-day Spain), and parts of North Africa became important wine-growing areas under Roman rule. The Romans recognized the importance of trade routes and encouraged wine commerce throughout the empire. Wine could be transported to different regions thanks to Roman trade routes, promoting the dissemination of culture

and the exchange of viticultural knowledge. During the height of the Roman Empire, wine played a central role in festivities, religious rituals, and social events. The Romans appreciated a wide variety of wines and valued the quality of vintages (Bernigaud et al. 2021).

Wine consumption became popular in Western culture, mainly influenced by Judeo-Christian tradition. Viticulture also played a relevant role in developing and characterizing modern agriculture. Wine production and consumption are associated with various cultural aspects, such as traditions, rituals, celebrations, gastronomy, and art. Throughout history, wine has been prominently represented, especially in Ancient Greece and the Roman Empire, where it was portrayed as divine through the figures of the god Dionysus for the Greeks and Bacchus for the Romans (Griffith 2004) (Fig. 13.1).

Fig. 3.1 Artwork depicting the Roman god of wine, Bacchus, painted by Michelangelo Merisi da Caravaggio. The painting portrays Bacchus, also known as Dionysus in Greek mythology, in a realistic and striking composition. The artwork, dating from the seventeenth century, is considered one of the masterpieces of the Baroque style and is exhibited at the Vatican Museum in Rome, Italy



Throughout human history, various cultures have revered deities associated with wine and alcoholic beverages. These wine gods play significant roles in mythologies and religious traditions. For example, Xochipilli, the Aztec god, was venerated in pre-Columbian civilizations as the protector of artists, musicians, and lovers. He was often depicted holding a cup of pulque, a fermented beverage made from agave. Similarly, Bacchus was the Etruscan god of wine and fertility, sharing similarities with Dionysus in Greek mythology and Bacchus in Roman mythology. The Etruscans worshiped Bacchus as the god of vegetation and harvests, associated with the celebration of life. These

examples are just a small sample of the wine deities throughout history, highlighting the social, religious, and cultural significance of this beverage in ancient and contemporary societies.

In the Middle Ages, wine played a significant cultural and symbolic role. During the Eucharist, for example, wine represents the blood of Christ, while bread represents his body. This symbolism is central to the transubstantiation doctrine, which states that the bread and wine are transformed into the body and blood of Christ during the Mass. Additionally, wine was often associated with the idea of abundance and prosperity in the Middle Ages, particularly enjoyed by the nobility and royalty of the time (Cordero-Bueso et al. 2011). France established itself in viticulture during this period, with deep-rooted traditions influenced by historical events, migrations, and technical advancements. From the fifth century AD, with the arrival of Christianity and the influence of monks, viticulture gained importance, with monasteries playing a crucial role in the spread of grape cultivation and wine production. Nevertheless, wine production really thrived in France from the eleventh century. With the establishment of trade routes, the expansion of wine commerce, and the development of winemaking techniques, French wine regions gained a reputation for their quality.

These traditions rooted in wine regions originate in specific cultivation techniques, vinification methods passed down through generations, and aging and storage practices. As a result, many regions around the world have developed their conventions related to wine production. This cultural diversity is reflected in wine festivals, where tastings, competitions, grape harvesting, pressing, and other viticulture-related activities take place.

Given these traditions, fermented grapes produce unique wines without the addition of commercial yeasts. These wild yeasts are naturally present in the grape phytosphere and the cellar environment. Wines produced in this manner, known as natural or *terroir* wines, are grown from grapes that follow sustainable agricultural practices without synthetic chemicals such as pesticides, herbicides, and artificial fertilizers. Additionally, these grapes are hand-harvested, preserving the quality and authenticity of the wine (Van Leeuwen and Seguin 2006; Vecchio et al. 2023).

In wild wines, fermentation occurs spontaneously, without the addition of commercial yeasts, and the wine is often not filtered or clarified. Additionally, wild wines are mostly produced without adding sulfites or other preservatives. This approach aims

to preserve the most authentic expression of the grapes and *terroir*, allowing the wine to reveal the natural characteristics of the region and vintage. Advocates of wild wines argue that they offer a more authentic experience, reflecting the essence of nature and avoiding chemical interference. However, it is important to note that there is no legally established definition for “wild wines” in many producing countries. Therefore, the terminology can vary, and some producers use terms such as “natural wines” or “low-intervention wines” (Catalano et al. 2016). However, it is important to note that wild wine production can be challenging, as the absence of synthetic chemicals can make the vineyards more susceptible to diseases and pests, requiring special care from the producers.

3.2.2 Wild Wines: Unraveling Their Essence

Wild wines can refer to two concepts: wines made from wild fruits and wild fermentation. Wines from wild fruits and traditional grapes can be made from wild fruits such as blackberries and elderberries. These fruits are often harvested in the wild or obtained from uncultivated areas. The winemaking process from wild fruits is similar to traditional winemaking, involving fermentation and aging. However, the flavor profile and characteristics of these wines can be significantly different from grape wines, typically featuring unique and intense fruit flavors.

Regarding wines made via wild fermentation, the microbiological diversity in the environment and grapes allows native yeasts and bacteria to play a fundamental role in fermentation. Wild yeasts contribute to the complexity and unique personality of wines, providing a wider range of flavors and aromas (Johnson and Robinson 2013).

Wild wine production requires special care throughout the process. From the careful harvest of wild fruits to natural fermentation, ensuring the quality and healthiness of the ingredients is necessary to obtain high-quality wines. Additionally, since the wild fermentation process is less controlled than when commercial yeasts are added, the results can be more unpredictable, giving the wines a rustic character (Theise 2010).

The fermentation for wild wines can follow similar methods to those used in grape wine production. However, wild fruits have distinct characteristics such as sugar content, acidity, and tannins that influence the flavor profile and structure of the resulting wine. This allows for intense flavors and unique aromas, reflecting the specific attributes of the chosen fruits. These wines can present fruity notes, varying based on the specific fruit used, providing aromatic complexity and a distinct sensory experience from more

traditional grape wines (Lynch 2013).

Thus, natural wine production allows producers to explore a diversity of fruits and experiment with different combinations and proportions. It is essential to emphasize that the production of these wines requires specific skills and a deep understanding of the fermentation and aging process. Some natural wine producers opt for extended maceration, allowing the skins and seeds to remain in contact with the must for an extended period. This can contribute to more intense flavors, smoother tannins, and a deeper color in the wine. In addition to an extended maceration, using clay amphorae for fermenting and aging wines also plays an important role. Amphorae provides subtle micro-oxygenation and can contribute to a different texture and earthy flavors in the wine. In some regions, natural wines are produced from old vines using traditional cultivation methods. Due to their greater genetic diversity and production without chemical corrections such as acidification, deacidification, or sugar addition, these vines result in unique flavors and characteristics in the wine (Bonné 2013).

3.2.3 The Industrial Revolution and Its Impact on Wines

The beginning of industrial development of wine production occurred during the Industrial Revolution when significant advancements in winemaking took place. New winemaking techniques and improvements in production and transportation made wine more accessible to a wider range of social classes. During the Industrial Revolution, wine production underwent significant changes due to technological advancements and social and economic transformations. For example, the introduction of steam engines facilitated the transportation of grapes and wine, enabling increased production and market expansion. Advanced wine fermentation and storage methods emerged, and fermentation in stainless steel tanks partially replaced wooden containers, providing greater control over the process and ensuring improved hygiene and consistency in production. Additionally, due to the significant growth in trade and the global economy, there was an increasing demand for wines in countries with wine production industries and export (Unwin 2022).

From the twentieth century, significant transformations occurred in the wine industry, with large corporations acquiring numerous wineries to increase production and maximize profits. This change contrasted with the previous scenario, in which family-owned and artisanal wineries predominated. These alterations directly impacted the

workforce, as the expansion of industries and factories in other areas led many people to migrate from rural areas to cities in search of employment. This population movement caused a labor shortage in wine-producing regions, affecting traditional production practices.

In this context, wine began to be produced on a global scale, thanks to new wine-making techniques, advancements in viticulture, the establishment of appellations of origin, and the expansion of the international wine trade. Currently, wine holds a significant role in the culture, gastronomy, and economy of various countries (Sadoudi et al. 2012). The United States, France and Italy remain as the major wine-consuming countries, representing 36% of the wine consumption in the world (OIV 2024).

Wines play a significant role in the global economy. International wine trade constitutes a relevant economic sector, with billions of dollars exchanged in exports and imports annually. This dynamic drive economic growth in wine-producing regions and creates business opportunities for wine importation, exportation, and distribution companies. Despite the challenges presented by the COVID-19 pandemic, the international wine trade remained a notable industry in 2023, with a total export value of approximately \$36 billion (OIV 2024).

The wine industry demands a considerable amount of labor, generating jobs in various stages of the production process. This industry significantly contributes to the creation of direct and indirect jobs in rural and urban areas, driving economic growth and stability in wine regions. In many cases, these regions have benefited from the economic and social development driven by the wine sector. The success of the wine industry can attract investments in infrastructure, improvements in tourist facilities, preservation of cultural heritage, and stimulation of local entrepreneurship. This context contributes to the diversification of regional economies while promoting environmental conservation and sustainability in wine-growing areas. Therefore, cultivating wild vineyards in smaller regions, which have high added value, can drive local socio-economic development.

Additionally, the wine industry has a complex supply chain that includes suppliers of viticultural equipment and inputs, transportation companies, distributors, retailers, and restaurants. This supply chain generates business and opportunities for various sectors of the economy, forming an interconnected network of companies and suppliers that contribute to income generation and employment. The economic impact of wine can vary depending on the characteristics and size of wine regions and the trade and regulatory policies of countries.

3.2.4 *Market Trends for Wild Wines*

Due to the standardized industrialization process, wild wines have gained greater value and popularity in recent years due to certain consumer trends and preferences. Since these wines are generally produced using traditional methods and minimal human intervention, consumers seek authentic experiences and value products that convey the identity of a specific place, including specific *terroir* and traditional winemaking practices. Wild wines reflect the uniqueness of a particular wine region, which is aligned with this trend. These consumers are willing to pay a higher price for quality wild wines, recognizing the value of the origin and the story behind the product.

Wild wine producers mostly adopt organic and biodynamic agricultural practices, avoiding the use of chemicals and pesticides. This approach resonates with consumers increasingly concerned about sustainability and seeking more natural and environmentally responsible products, opting to purchase agroecological products as close to their natural state as possible. These wines are widely considered more sustainable due to the agricultural practices employed in their production since winemakers avoid the use of pesticides, herbicides, and synthetic fertilizers. These practices contribute to the preservation of soil biodiversity and minimize negative impacts on the environment. This approach goes beyond organic farming by incorporating spiritual and energetic aspects. Biodynamic farming uses special preparations from plants, animals, and minerals to strengthen the soil and plants while following a lunar and astral calendar to guide agricultural activities. The goal of biodynamics is to balance and regenerate the vineyard ecosystem. Wines from this approach generally have reduced sulfite levels compared to conventional wines, which can benefit individuals sensitive to these substances. Additionally, reducing the use of chemical additives decreases pollution and environmental footprint (Legeron 2014).

The growing demand for functional foods reflects the current market trend, driven by consumer awareness of the importance of health and well-being. People seek to improve their health through diet, leading to an increased demand for foods offering specific benefits beyond basic nutrition, such as vitamins and minerals. Functional foods are formulated with ingredients or additives that aim to improve specific bodily functions, such as strengthening the immune system, improving digestion, and promoting cardiovascular health (Migliore et al. 2020).

Contemporary cuisine has increasingly valued local and seasonal ingredients, highlighting the diversity of flavors. Wild wines stand out in culinary trends due to their versatility and ability to complement different dishes. The current trend of simplicity and authenticity in cuisine pairs well with wild wines. Dishes prepared with quality ingredients and a minimalist approach, such as fresh salads, grilled vegetables, fish, and seafood, are often accompanied by wild wines, allowing the natural flavors of the food to shine. These wines are especially valued in farm-to-table contexts, with a focus on local and organic ingredients, emphasizing sustainability, food origins, and the pursuit of an authentic gastronomic experience. They are in perfect harmony with the philosophy of wild wines, which present distinct and complex flavor profiles with earthy and wild notes that reflect the expression of the *terroir* (Berbegal et al. 2023).

Although wild wines are gaining popularity, they still represent a relatively small share of the global wine market and are considered a niche segment, frequently with higher prices compared to conventional wines. However, the growth observed in recent years indicates that wild wines are establishing themselves as an attractive option in the wine scene and will likely continue to gain ground among wine enthusiasts (Capozzi et al. 2015).

The integration of wild wines into the commercial market presents unique challenges and opportunities for producers and consumers. One crucial aspect is identifying suitable wild grape varieties for wine production that attract consumers. Some wild grapes have unique characteristics distinct from commercial varieties. Cultivating wild grapes requires different techniques from those used for commercial varieties, such as understanding the specific needs of these vines (e.g., vegetation management and disease control). Harvesting these grapes can also be more challenging, as wild vines have lower yields and can be more difficult to access.

Furthermore, finding the right channels for distributing and commercializing wild wines is crucial for success in the market. This involves partnerships with wine distributors, restaurants, and wine shops with an audience interested in exclusive wines. Direct-to-consumer sales through online platforms and tastings at wineries can also be an effective strategy. Integrating wild wines into the commercial market requires a balance between authenticity preservation and market demand adaptation (Galati et al. 2019). Online presence plays a crucial role in connecting wild wine producers with consumers. Producers can use websites, blogs, social media, and e-commerce platforms to promote their wines, share information about the production process, and establish direct customer

interactions. Besides, these channels allow producers to educate the public about the benefits and unique characteristics of wild wines.

3.3 The Grape: Agronomical and Quality Aspects

3.3.1 Types of Grapes

The production of grapes and wines is an activity traditionally of temperate climate regions, with the European continent as the most renowned in the world. Over time, the vineyards have been gaining space in regions not very traditional in the exploitation of the culture. Currently, the culture of the vine is explored in all continents, highlighting some countries like Italy, France, Spain, the United States, China, and Australia (FAOSTAT 2021). With the expansion of the culture, emblematic wines of regions and countries have also emerged, as is the case of Malbec in Argentina and Carmenere in Chile (Gurgel and Gavioli 2019; Gabardo 2021).

The traditional winemaking countries in the Americas are Chile, Argentina, Uruguay, and the United States. In the southern region of Brazil, the exploration of grapevines was strongly influenced Italian immigrants from 1870 (Lavandoski et al. 2012). In the Brazilian territory, the culture of the vine was consolidated in the second half of the nineteenth century, mainly in regions with temperatures low enough to promote the breaking of dormancy. From the 1960s, viticulture started to be developed in tropical regions along the banks of the São Francisco River. In 1970, commercial plantings began in the North of Paraná and, in the 1980s, in the Northwest of São Paulo. Other Brazilian states have gained importance in exploring the culture, including the south of Minas Gerais and Espírito Santo (Camargo 2002). The Brazilian vitiviniculture explores preferentially imported varieties from Europe and North America. These varieties belonging to the *Vitis vinifera* species present quality characteristics and are highly valued by oenophiles. However, chronic problems of adaptation, bud fertility, breaking dormancy, and phytosanitary problems hinder their cultivation and burden production.

The international wine market values and commercializes mainly fine wines (i.e., made with *Vitis vinifera* grapes). Wines from American and hybrid grapes are found in some countries but in small proportions. Wines from hybrid grapes are gaining prominence among oenophiles, drawing attention to new areas of production where the cultivation of *Vitis vinifera* does not express the maximum potential or suffer from phytosanitary problems.

More than 80 species of vines belong to the genus *Vitis* and are found spontaneously in the Asian, European, and American continents. The two most widely cultivated species worldwide are *Vitis vinifera* (European) and *Vitis labrusca* (American). Other species, such as *Vitis bourquina* and *Vitis rotundifolia*, occupy very small areas and are concentrated in the south-central United States in the case of *V. rotundifolia* (Kurt-Celebi et al. 2020).

The grape market is divided into four main groups: fine grapes, common grapes, grapes for juice, and table grapes. The fine grapes (*Vitis vinifera*) are preferably destined for the winemaking process due to the organoleptic characteristics appreciated by oenophiles. However, some varieties are cultivated intensively for consumption *in natura*, such as the Italia group and its mutations.

Common grapes (*Vitis labruscas*) are destined for fresh consumption, juices, and wines demanded by some consumers. The common grapes originated from American rustic plants and hybrids, giving prominence to the Isabel, Bordeaux, Concord, and Niagara grapes. Another common grapes of prominence are the Jacquez (*Vitis bourquina*).

Juice grapes present particular characteristics to be considered suitable for this function. These varieties are preferably vigorous, rustic, and very productive. The ripe grapes must reach high levels of sugars, low acidity, and high pigment levels. Among the most used varieties for these purposes are Isabel, Concord, and Bordô. The table grape varieties of *Vitis vinifera* have large, fleshy, firm berries that give the sensation of crunchiness. Cultivars of *Vitis labrusca* have thicker skins and mucilaginous pulp, easily detached from the skin, and commonly eaten whole without chewing.

3.3.2 Ecophysiological Aspects Determining the Quality of Grapes

The wine undergoes biological, chemical, physical, and enzymatic transformations during fermentation, making it a complex beverage. Water, sugars, organic acids, mineral salts, vitamins, nitrogenous substances, phenolic compounds, and pectin are the main compounds of grapes. Depending on the content, complexity, and interaction with microorganisms, these components define the identity and particularity of the wines.

Several natural factors can influence the quality of grapes, both in quantity and complexity, throughout the harvests. The climatic conditions of a region can alter for the

same cultivar, the content of sugars, organic acids, water content, volatile compounds, and in some cases, anticipate or delay the harvest. Solar radiation, temperature, water use, relative humidity, salinity, soil pH, wind, and hail are cataloged as natural factors that directly influence the quality of the grapes.

Solar radiation is vital for the photosynthetic process, a biochemical phenomenon that transforms light energy into chemical energy. Besides being the source of plant energy, sunlight influences grapevine growth and development. This species of climbing habit does not present photosynthetic saturation with increasing solar radiation, which explains its low adaptation to shaded environments.

The accumulation of dry matter in plants depends fundamentally on the following components: the incident radiation, the percentage of absorption of radiation, the photosynthetic capacity of the plant minus the energy losses by the photorespiratory process and respiration.

$$\text{Dry matter} = (\text{incident light})(\% \text{light absorbed})(\text{photosynthesis}) \\ - (\text{photorespiration} + \text{respiration})$$

Dry matter accumulation depends on the distribution of photoassimilates among the drain organs (fruits), source (leaves), and reserve structures such as stems and roots. The penetration and distribution of light through the canopy contribute to the color of the fruit, the accumulation of sugars, and the soluble solids/titratable acidity ratio, a determining factor in fruit flavor. On the other hand, partially shaded grapevine plants with intertwined branches impair the formation of fertile buds, making the plants less productive.

Besides compromising the fertility of buds, shading can also influence the lignification of the wood and the tolerance to low temperatures. Research indicates that reducing from 37% to 9% of solar radiation has a strong relationship with a lower accumulation of reserves, giving the tissue less resistance to low temperatures. This phenomenon is associated with a limitation of carbohydrate reserves in the tissues. The influence of solar radiation is not restricted only to one production cycle but also influences the production of subsequent cycles.

The culture of the grapevine throughout its history has been explored in different conduction systems to optimize the incidence of solar radiation on the canopy of the plants. The driving systems most used worldwide are the espalier driving system (vertical) and the trellis driving system (horizontal). The espalier conduction system is, by

excellence, the most widespread in the world and presents the most variations. The moment of greatest insolation of the plant canopy depends on the arrangement of the planting rows. The orientation of the plants in relation to the cardinal points influences the distribution of light and temperature. Latitude, season, and climatic characteristics of the region are also determining factors in the efficiency of the conduction system adopted.

In flat areas or areas with little inclination, the planting rows should preferably be arranged in a north-south orientation, allowing the east and west faces of the canopy to receive the same number of hours of light. The east-west orientation in the northern hemisphere will favor more sunlight on the south face in relation to the north face of the plant canopy. The opposite is true in the southern hemisphere, where the greatest insolation of the plants will occur on the north face and at least 2/3 less on the south face.

In general, planting rows in the east-west orientation are relatively inefficient at intercepting light in mid-summer due to the angulation of the land relative to the sun, especially in low-latitude regions. However, in the full growing season, the east-west layout of the planting rows becomes quite efficient. This orientation gains prominence in hilly terrain. For the implantation of grapevine orchards in sloping areas, it is recommended that the planting rows be placed in an east-west direction and on the north face of the land to favor the insolation during the day, especially during the phase of full development of the plants.

Temperature is one of the most complex factors in the ecophysiology of fruit plants and influences growth, development, and productivity, affecting all metabolic and physiological processes. Most economically important fruiting plant species are grown between -5 and 35 °C. For the grapevine, the optimum temperature for growth is between 25 and 35 °C.

The low winter temperatures are not directly responsible for the quality of grapes but reflect in the sprouting and the productivity of the orchards. Temperatures below 7.2 °C are considered ideal for accumulating cold moisture (UF) and consequently breaking dormancy. The cold requirement for the breaking of dormancy in grape- vines ranges from 500 to 1400 UF, but there are improved varieties that require up to 100 UF.

Non-hibernal low temperatures play an important role in grape development and wine quality. During the fruit development season, low nighttime temperatures favor the translocation of photoassimilates from the source organs (leaves) to the drain organs (fruits). The difference in average daytime and nighttime temperature, known as temperature range, influences the photosynthetic/respiratory balance, the accumulation of

photoassimilates, and the biosynthesis of phenolic compounds (González et al. 2007). The optimal temperature range for grapevine culture is 10 °C (Malinovski et al. 2021).

3.3.3 Pruning Aspects That Determine the Quality of Grapes

The pruning technique is one of the most important cultural practices in grapevine orchards (Perin et al. 2023). Orchards without pruning or badly pruned become unproductive and difficult to manage. Pruning can be classified according to the time, the purpose, the way of execution, the type of cut, and the intensity. The various types of pruning aim to exploit the plants as efficiently as possible, intercepting the maximum solar radiation and favoring the development of fruits and, consequently, the quality of the wine.

The pruning for fructification, also known as dry pruning, consists of the thinning and shortening of inserted branches without affecting the main architecture of the plant. The main objective of this practice is to regulate the vegetative-reproductive balance (Fernandes et al. 2022), ensuring maximum productivity and longevity of the orchard. Fructification pruning is performed in subtropical and temperate regions at the end of winter. In tropical regions with temperatures stable throughout the year, pruning for fruiting is performed at any time of the year using phytohormones to induce bud sprouting and start a new productive cycle.

In subtropical regions, double pruning has been used to elaborate on winter wines. This technique consists of the execution of two prunings per year. The first is done in late July early August to form new shoots and fertile buds. The second pruning is performed in the second half of February to induce the new production cycle. This strategy aims to conduct the production during the driest time of the year, with cool nights and mild days favoring the accumulation of sugars, organic acids, and phenolic compounds. Concentrating the production under these conditions significantly reduces the incidence of fungal diseases, such as downy mildew, the main disease of grapevine culture (Wurz et al. 2021). Through double pruning, the most traditional varieties for winemaking are being successfully explored in regions not traditional for their production.

Green pruning is another pruning technique used in grapevine culture that favors the quality of the fruit. This technique consists of the partial or total removal of leaves and branches during the full growth of the plants. To improve the light incidence on the grapes, the leaves next to them that are causing partial or total shading of the bunches are

thinned. The exposure of grapes to solar radiation contributes to the accumulation of sugars, organic acids, phenolic compounds, tannin content, and increased pigmentation of the berries (Kuck and Noreña 2021).

3.3.4 Agronomic Aspects of Terroir in Wine Production

The interaction of agronomic, meteorological, human, and technological factors, i.e., from soil to winemaking processes, identifies the origin and typicity of wines. This set of factors is known as *terroir*. Natural resources such as climate, soil, and vine cultivars are the main factors that interact to determine the *terroir* (Van Leeuwen and Seguin 2006).

Of the complex interactions that determine the *terroir*, the soil component is a major one, as it affects the phenology of the vine and the composition of the grapes that will be converted into wine. Vines can be grown on a huge variety of soils. The effect of soil on the vine and grape behavior is complex, as soil influences the mineral nutrition of the vine, water uptake conditions, as well as rooting depth and temperature in the root zone. To understand the effects of soil on viticulture, the agronomic approach of the soil concept will be considered, pondering the interaction between soil and vine (Van Leeuwen 2010).

How does soil directly affect wine?

Two main categories of soil factors greatly impact the taste of a wine: (1) physico-chemical—water holding capacity, thermal condition, and nutrient availability—especially nitrogen; and (2) microbiological.

Physicochemical:

Water holding capacity: The density or porosity of soil can, directly and indirectly, impact wine. Porous (rocky) soil can quickly drain water, contributing to more concentrated grapes. On the other hand, more compacted soil (dense and clayey) retains more water, which can result in fruits with higher water content.

Thermal condition: Lower temperatures in the root system, seen in denser soils, produce more acidic grapes. While higher soil temperatures, commonly seen in more porous soils, produce riper, more sugary grapes. In addition to temperature influencing fruit characteristics, Barbeau et al. (1998) reported that precocity in grapevines, especially when shoots begin to develop from winter buds, is related to temperature in the root zone.

Vine earliness can be an important quality factor in cold climates, such as in the Loire Valley, where it is difficult to ripen Cabernet Franc in cold vintages.

Nitrogen Availability: Nitrogen influences vine vigor, yield, and grape ripening most. Studies describe the influence of different levels of nitrogen fertilization on these parameters (Verdenal et al. 2021; Stefanello et al. 2021). The content of nitrogen available to the grapevine influences the vigor of the plant and the size of the fruit and impacts the production of its main components, such as sugar, organic acids, phenolic compounds, and aromas (Keller 2015). Soil type is closely related to the amount of available mineral nitrogen and thus is part of the *terroir* effect (Van Leeuwen et al. 2018). This availability can be manipulated through fertilization and cover crop management. Vine vigor is related to nitrogen supply. Low nitrogen supply limits berry size and malic acid content and increases sugar and phenolic compound content (Tregoat et al. 2002). Moderate nitrogen supply in grape cultivation for table red wine making is an important quality factor; whereas for white wine production moderate to high nitrogen supply is desired (Choné et al. 2001; Helwi et al. 2016). There is a difference in nitrogen requirement for red and white wine production. These differences reflect why some soils are better for white wine production and others for high-quality red wine production.

Microbiology:

Microorganisms can impact grapes as they ripen. The soil surface is inhabited by numerous microorganisms, including fungi and bacteria, that can interact with the plant and alter the flavor and amount of phenolic compounds in the wine. Microorganisms participate in important biological activities, such as transforming organic nitrogen into mineral nitrogen. This activity is very important for grape- vines, as they suffer from severe nutrient deficiency. This complex microbiological interaction needs further study to understand this induction of quality and enhancement of *terroir* expression. The interaction between the grapevine and its microbiome is discussed in Sect. 13.4.

Water Deficit in Wine Production

For red wines, water restriction is one of the main factors for *terroir* expression. Therefore, full irrigation is not indicated for the vine. However, if the environment is too dry, irrigation is implemented to avoid the loss of productivity and quality of the grapes. The mediator of the positive effect in periods of water restriction is abscisic acid (ABA) in the roots. The rooting of the grapevine, for the most part, is shallow, and the amount of water offered in irrigation is readily used. To overcome this, irrigation can be conducted less frequently. Regulating irrigation is an interesting strategy for ABA synthesis (Stoll et al. 2000; Dry et al. 2001).

3.4 Microbiome Associated with Grapes, Viticulture, and the Winery Environment

Vitis vinifera naturally interacts with various microorganisms that can be transferred to fruits, the winery environment, and, ultimately, to wine. These interactions can be neutral, positive, or pathogenic to the plant. Epiphytes and endophytes also colonize the grapevine. Besides promoting plant growth, some beneficial microorganisms can act as natural biocontrol agents, protecting the plant against fungal, viral, and phytoplasma pathogens. The microorganisms associated with the grapevine are also present in the soil, where they play different ecological functions, affecting the bio-geochemical cycling of nutrients and plant productivity and health (Griggs et al. 2021; Pinto et al. 2014; Vink et al. 2021).

Besides the soil, the microorganisms in the grapevine can also be dispersed and deposited by the wind or using insects as vectors. For example, at the vineyard scale, the wind and rain can move microorganisms, including fungal pathogens, between individual plants and soils. For longer distances, microorganisms can be transported in aerosols and dispersed by air currents, ranging from regions to continents. Nevertheless, the layout and landscape stabilize the microbiome seasonally, with variations being more pronounced considering longer periods (Mahaffee and Stoll 2016; Griggs et al. 2021). Additionally, insects have been proposed as important vectors for microbial dispersion in the grapevine, specifically yeasts (e.g., *Saccharomyces cerevisiae*), via plant sugar sources. In the “fruit forest-reservoir” hypothesis, yeasts remain deposited in the damaged fruits in the vineyard soil, where their sporulation is induced. The spores can survive longer in winter and be vectored by insects to new fruits in the next season (Knight and Goddard 2016). Another hypothesis (“dispersal-encounter”) states that the relationship between microorganisms and insects benefits both. For example, insects disperse yeasts to

different sugar sources, and the insects (e.g., bees and flies) are guided to these sources by volatile compounds produced by yeasts (Varela et al. 2009; Madden et al. 2018). Notably, the yeasts carried by those insects, which can ferment rich sugar sources, are crucial to spontaneous wild wine fermentation and aroma profile (Griggs et al. 2021).

The regional varieties of wines, referred to as the *terroir*, have edaphic, climatic, human, and biotic dimensions that influence wine quality and traits. Among these factors, the associated microbiome is a key aspect related to geographical patterns. Recently, Gobbi et al. (2022) analyzed 200 soil samples from vineyards in 13 countries to determine the microbial patterns between regions of the same countries, different countries, and different continents. They also analyzed the correlation between climate characteristics and varied microbial groups. The spatial distance strongly affected the microbial community of soils from varied countries, and the longer the distance, the higher the difference. Regarding the prokaryotic diversity, *Proteobacteria* was the main phyla in all countries, *Crenarchaeota* was the main archaeal phylum, and the ammonium-oxidizing archaea *Nitrososphaera* was the main genus, which is significantly affected by agricultural practices. Furthermore, the Shannon Index, an alpha diversity measurement, indicated that the fungi diversity was positively correlated to regional temperature and rainfalls. Meanwhile, the dominant fungi genus was *Cryptococcus*, represented by oxidative basidiomycetous yeasts. *Saccharomyces* was identified only in the soil of Spain, and the USA and, along with *Candida*, *Hanseniaspora*, and *Pichia* (not identified in the soil), represent the main diversity isolated from grapes or fermented grape juices. Moreover, they showed that the ITS (fungi) and 16S (prokaryotic) abundance were good predictors of the geographical location, with *Cryptococcus* and *Nitrososphaera* as the best predictive taxa, respectively. Overall, they demonstrated that the soil microbiome is an important factor in determining the agricultural sites and, consequently, the *terroir* from different countries.

At small geographic scales, Bokulich et al. (2016) explored whether the grape-associated microbiota and metabolic profile differed, whether they were correlated, and whether they were associated with fermentative performance and grape must quality. These authors evaluated the fungal and bacterial profile of more than 200 samples of fermentations and crushed grapes (musts) from Napa and Sonoma, California, USA. The Chardonnay and Cabernet bacteria and fungi differed between vineyards. Notably, the viticulture areas of Chardonnay were more distinct for fungi and bacteria profiles than

Cabernet ones. During fermentation, the specific regional signatures diminished, which was dependent on the grape variety and local and more pronounced for Cabernet. For example, in Cabernet wines, the growth of *Leuconostocaceae*, such as *Oenococcus oeni*, during malolactic fermentation reduced the bacterial diversity. Since malolactic fermentation does not usually occur in white wines, this effect was not detected for Chardonnay. Nevertheless, even after fermentation, the microbial profile could still distinguish and characterize wineries. Finally, these authors also demonstrated that the microbial profile in the grape must was correlated to wine metabolites. For instance, *Leuconostocaceae* was correlated to methylbenzoate and phenyl acetate; *Hanseniaspora uvarum* to acetophenone and phenylacetaldehyde; *Meyerozyma guilliermondii* to octanoic acid and lactone.

Moreover, Liu et al. (2020) analyzed the microbiome from vineyards to wineries in six regions of southern Australia, including samples from soil, must, and fermentation. Consistently, bacteria, including Actinobacteria, Proteobacteria, and Acidobacteria, were more diverse in the soil than fungi, composed mainly of Ascomycota. Both microbial groups differed between the regions analyzed. The microbiome in the must differed from the soil and was primarily composed of bacteria that do not participate in wine fermentation or spoilage (e.g., Enterobacteriales, Rhizobiales, Burkholderiales, and Rhodospirillales), while lactic acid bacteria, crucial to wine malolactic fermentation, were present in low abundance (less than 0.5%). In contrast, the fungal community was enriched in yeasts known for wine fermentation and aroma, such as *Saccharomyces*, *Hanseniaspora*, and *Meyerozyma*, besides the Basidiomycota *Rhodotorula* and filamentous fungi (e.g., *Aureobasidium*, *Cladosporium*, and *Botrytis*). As expected, during fermentation, yeast and lactic acid bacteria dominated and reshaped the microbiome. Additionally, the random forest model indicated that the fungal diversity (soil and must) could predict the wine region, which was also correlated to weather characteristics (mean temperature, mean low temperature, minimum temperature, and mean solar radiation). Interestingly, these authors hypothesized that the xylem would be the pathway for microbial transfer from soil to grapes and, consequently, musts. They showed that grapes and xylem sap contributed to almost half of the must diversity, with a similar microbial structure. Notably, roots and soil contributed to about 90% of the fungi in the xylem sap, which reflected approximately 70% of fungi taxonomic units in grapes. A good example of the importance of this transfer was the presence of *S. cerevisiae* in all these habitats (soil, root, xylem sap, grape, and must). Besides, both Bokulich et al. (2016) and Liu et

al. (2020) demonstrated that, although the fungal community was less diverse, it was more important to wine regionality.

The microbial community also varies between grape varieties cultivated in the same region. For example, Zhang et al. (2019) characterized the fungi and bacteria community on the grapevine carposphere (grape's pulp, skin, and seeds) from six red (Pinot Noir, Gem, Cabernet Sauvignon, Zinfandel, Syrah, and Merlot) and three white (Chardonnay, Riesling, and Longan) wine varieties cultivated in a large vineyard (Huailai City, Hebei Province, China). Syrah presented the highest bacteria diversity among red varieties, while Chardonnay led among white ones. Longan presented the highest fungal diversity among all grapes. Proteobacteria dominated the bacterial community for all grapes (range: 37.7–80.5%) at the phylum level, followed by Actinobacteria, and *Pseudomonas* was the most predominant genera. Consistent with other studies, the fungal community was less diverse than the bacterial one, and Ascomycota was the most prevalent phylum, comprising over 90%. In this case, the most predominant genera were *Alternaria* and *Cladosporium*. Furthermore, regarding the bacterial taxa enriched for each variety at the genus level, *Sphingomonas*, *Paeniclostridium*, and *Romboutsia* were enriched for Merlot; *Curtobacterium* for Zinfandel; *Nocardioides*, *Escherichia*, *Shigella*, *Planomicrobium*, *Ornithinimicrobium*, *Streptomyces*, *Turcibacter*, *Kocuria*, and *Novosphingobium* for Syrah; *Pseudomonas* and *Pantoea* for Riesling; *Geodermatophilus*, *Enterococcus*, *Cellulomonas*, *Arthrobacter*, *Pseudarthrobacter*, and *Blastococcus* for Longan; *Massilia* for Pinot noir; *Sphingobium* and *Exiguobacterium* for Gem. Notably, the bacterial genus could distinguish the grape varieties, not the fungal ones. Only Longan and Pinot Noir could be separated based on the fungal genus.

3.5 Fermentation Processes for the Production of Wild Wines

Wine production is a meticulous and fascinating process that transforms the compounds of grapes into various flavors and aromas. While industrial wine production follows basic and well-defined steps, the techniques applied to wild wines vary according to local culture and how the process was developed throughout history. Unfortunately, literature on the production processes employed and the influence of each step on wine characteristics is scarce.

Generally, wine production involves grape harvesting, crushing and pressing,

maceration (for red wines), alcoholic fermentation, malolactic fermentation, maturation and aging, and bottling techniques (Fig. 3.2). Each step contributes to the final product and can be tailored to the specific characteristics desired in wild wines.

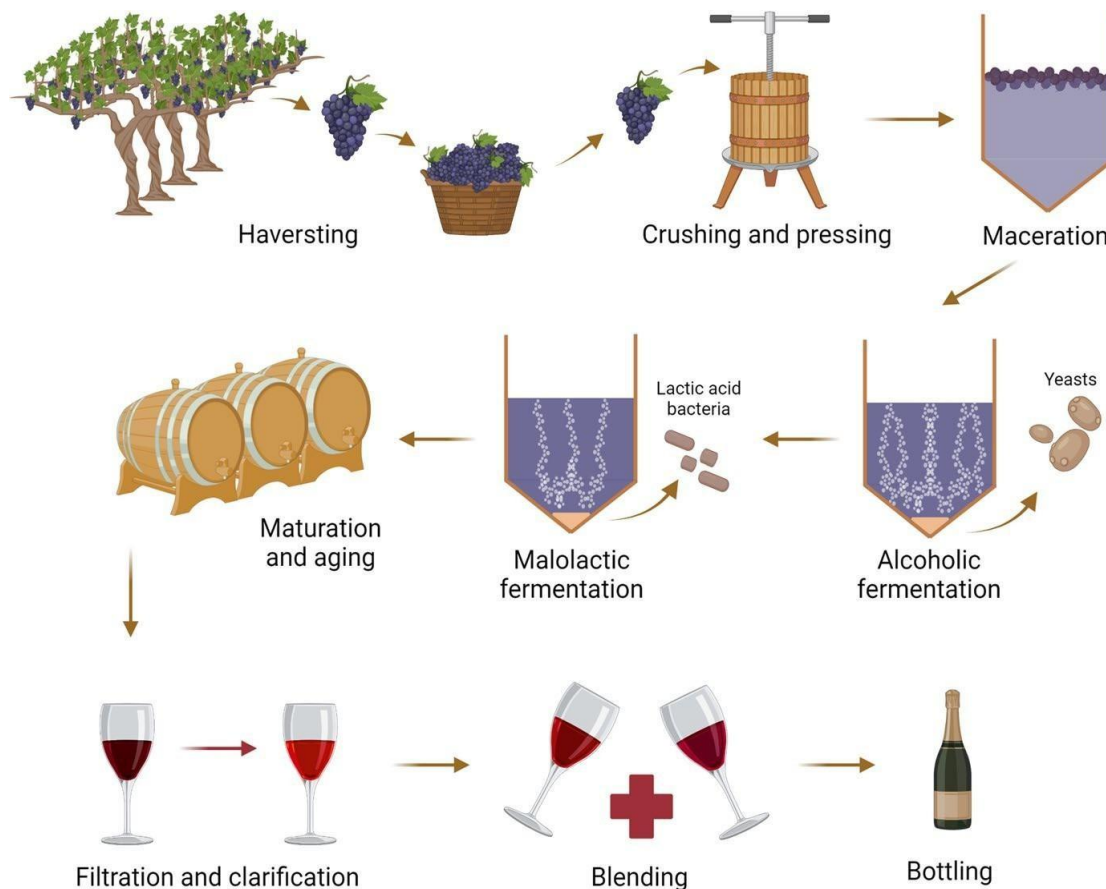


Fig. 3.2 General process for wild wines production. The example provided is based on the production of red wines. (Created with [BioRender.com](https://www.biorender.com))

3.5.1 Grape Harvesting

The moment of harvest is crucial in capturing grapes at their optimal ripeness, with sugar and acidity in ideal concentrations for the wine to be produced. Winemakers determine the harvest time based on their experience and technological tools. Handpicking or mechanical harvesting methods are employed, depending on the vineyard size and grape variety. Hand-picking allows for selective harvesting, ensuring only the finest and ripest grapes make their way to the winery. The harvested grapes are swiftly transported to the winery to preserve their freshness and prevent oxidation.

In wild wine production, one key aspect is the minimal intervention approach, which aims to preserve the indigenous microbiota of grapes and the winery environment.

Unlike industrial wine production, where sanitation measures are often employed to control microbial populations, wild wine production embraces the natural microbial diversity and allows the grapes to ferment spontaneously with their native yeast and bacteria. The absence of sanitation practices in wild wine production means that the grapes are not washed or treated with sanitizing agents to eliminate potential contaminants. Instead, they are harvested and processed as naturally as possible, preserving the microbial populations occurring naturally on the grape surfaces. This approach allows for the expression of the vineyard's terroir, as the indigenous microorganisms contribute to the unique characteristics of the wine.

3.5.2 Crushing and Pressing

Once at the winery, the grapes undergo a series of processes to extract the juice and separate it from the skins, stems, and seeds. The main differences between the crushing and pressing steps in industrial and wild wine production lie in the level of intervention, the use of mechanization, and the emphasis on preserving the natural qualities of the grapes. Industrial wine production prioritizes efficiency and consistency, utilizing machinery to control extraction and separate juice from solids. In contrast, wild wine production frequently embraces a more traditional and hands-on approach, aiming to capture the nuances of the vineyard and its indigenous microbial communities.

Crushing gently breaks open the grape skins, releasing the juice while controlling tannin extraction. In industrial wine production, crushing is typically achieved using mechanized equipment that gently breaks open the grape skins, allowing the juice to flow. The grapes are often fed into a crusher, which ruptures the skins and separates the juice from the solids, including stems and seeds. On the other hand, in wild wine production, crushing and pressing are often carried out manually. Grapes may be gently crushed by foot treading or traditional wooden tools, preserving the integrity of the fruit and minimizing maceration with the skins. Then, traditional basket or bladder presses may be employed, applying pressure more gradually and evenly. This gentle pressing technique helps retain freshness and subtle flavors, contributing to the unique character of wild wines. Together, these approaches aim to obtain a lighter and more delicate juice, which might undergo spontaneous fermentation with native yeast populations present on the grape or the winery environment. For white wines, pressing occurs, separating the juice from the grape solids.

Modern industrial wineries use pneumatic or hydraulic presses to exert gentle

pressure on the grape mass, extracting the juice while minimizing tannin and phenolic extraction from the skins. The juice is then transferred to fermentation vessels. In the case of red wines, crushing precedes maceration, which involves fermenting the grape juice with the skins, seeds, and sometimes stems. Extended contact between the juice and the grape solids contributes to the extraction of color, tannins, and flavor compounds. In this case, for wild white wines, sometimes the beverage presents a slightly orange color, since the skins are required to be in contact with the grape must for longer periods.

3.5.3 Maceration

Maceration is a crucial process in red wine production and involves the extraction of flavors, colors, and tannins from grape skins, seeds, and sometimes stems during fermentation. Winemakers must closely monitor and manage the fermentation parameters to achieve the desired balance and quality. Temperature control, gentle extraction methods, and careful punch-down or pump-over techniques guide the process and prevent excessive extraction or harsh tannins. The goal is to strike a harmonious balance between the grape solids and the fermenting juice, allowing the flavors and tannins to integrate seamlessly.

During maceration, the color transformation of the grape skins is one of the fascinating aspects of winemaking. Maceration allows the pigments within the grape skins, primarily anthocyanins, to be extracted into the fermenting juice. These pigments are responsible for the color of red wines and contribute to the color intensity and hue variations observed in different grape varieties.

Initially, the juice takes on a pale red or pink color, commonly called the “onion skin” or “eye of the partridge” stage. The anthocyanins, initially present in a non-pigmented form, undergo enzymatic reactions and oxidative processes during fermentation, resulting in the development of color. As the maceration continues, the color deepens, progressing through red and purple shades, eventually becoming darker and more opaque. The duration of maceration and the extraction techniques employed by the winemaker can influence the final color intensity and hue of the wine. In wild wine production, the color transformation during maceration can be particularly intriguing due to the influence of indigenous microorganisms. The microbial populations on the grape skins can interact with the anthocyanins, potentially modifying their structure and contributing to color stability or changes.

Moreover, maceration also has a special significance for wild wines as it allows for a more nuanced interaction between the grape nutrients and the indigenous microbiota. During maceration, the microorganisms on the grape skins play an active role in the fermentation process, contributing to the development of complex flavors and aromas. The extended contact between the grape solids and the fermenting juice helps to extract a broader range of compounds, resulting in wines with deeper color, richer flavors, and enhanced structure.

Maceration periods can vary depending on the desired style and grape variety. Some winemakers opt for shorter maceration times to retain the fruitiness and freshness of the wine, while others choose extended maceration to extract more pronounced tannins and phenolic compounds. Once the desired extraction has been achieved, the winemaker will separate the solids from the liquid. This separation is typically done by using a wine press or draining the juice from the bottom of the tank, leaving the skins and solids behind. The separated pulp, now free from the skins and solids, will continue to ferment, transforming the sugars into alcohol and evolving the wine's flavors and aromas. The resulting wild wines often exhibit a unique expression of the grape variety, the vineyard's terroir, and the indigenous microbiota, offering wine enthusiasts an exciting and authentic tasting experience.

3.5.4 *Fermentation*

Fermentation involves transforming grape juice into wine, a natural chemical process in which yeast converts sugar into alcohol. It can occur in stainless steel tanks, oak barrels, or concrete vats, each imparting its characteristics to the wine. Wild wine production embraces natural microbial communities, while winemakers are essential in monitoring and guiding fermentation. Factors such as temperature, sugar levels, and nutrient availability are managed to ensure the successful conversion of sugar into alcohol and to prevent the development of off-flavors or undesirable microbial populations. This delicate balance is crucial for maintaining the quality and character of the final product.

In traditional industrial wine production, specific yeast strains are often selected and added to the grape juice to ensure a predictable and controlled fermentation process. Winemakers carefully select the yeast strains to achieve desired flavors and aromas from various commercial ferments. Temperature control is meticulously managed using stainless steel tanks or temperature-regulated fermentation vessels to create optimal

conditions for yeast activity and preserve the desired characteristics of the wine.

In contrast, wild or natural wine production relies on indigenous yeast populations present on the grape skins or naturally occurring in the winery environment (Fig. 3.3). This approach allows a more authentic expression of the *terroir*, as each vineyard and vintage can introduce a unique combination of yeast strains (Varela et al. 2009). Spontaneous fermentation occurs without the addition of commercial yeast, resulting in wines with complex and diverse flavors. Throughout the fermentation process, the winemaker carefully monitors and adjusts factors such as temperature, sugar levels, and nutrient availability to guide the process and successfully convert sugar into alcohol. The duration of fermentation can vary depending on the desired wine style, ranging from a few days to several weeks or even months.

There is a growing trend in studying the microbiota and metabolomics of wild wines, exploring the selection of non-*Saccharomyces* yeast strains for fermentation to introduce new characteristics into industrial wines. The understanding of the microbial dynamics and metabolic interactions during fermentation is advancing, providing winemakers with valuable insights into the intricacies of the process (Borren and Tian, 2020; Comitini et al. 2021; Tufariello et al. 2021; Maicas and Mateo 2023). This knowledge enables them to make informed decisions about the use of specific yeast strains, fermentation techniques, and environmental conditions to craft wines with unique and desirable characteristics.

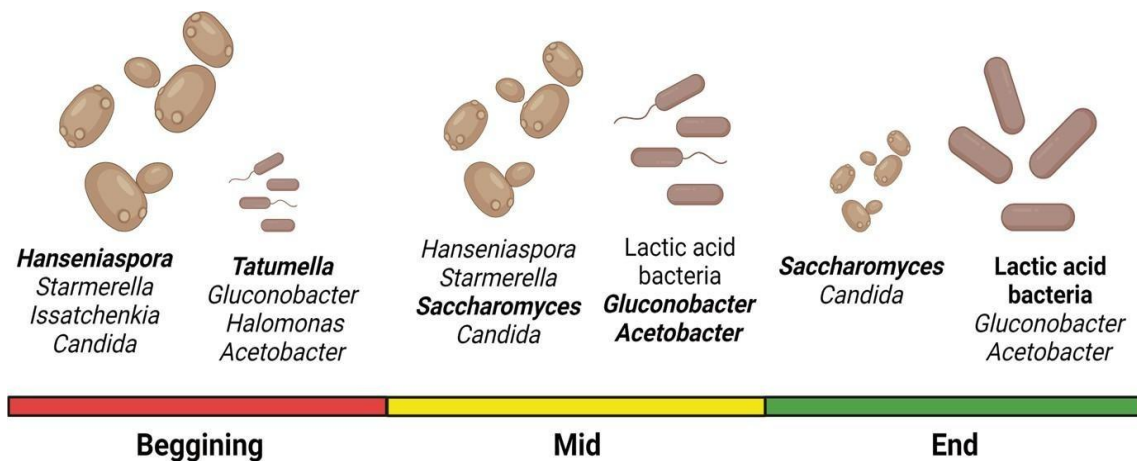


Fig. 3.3 Microbial succession during the spontaneous fermentation of wild wines. In the beginning, aerobic yeast (e.g., *Hanseniaspora*, *Starmerella*) and bacteria (e.g., *Tatumella*) thrive, reducing the oxygen availability and generating some volatile compounds that will contribute to the wine aroma profile. The main microbial group in the mid of fermentation is *Saccharomyces*, responsible for most alcoholic fermentation. In the final stage, lactic acid bacteria, especially *Oenococcus* and *Pediococcus*, convert malic acid to lactic acid, mainly in red wines. Other bacteria present throughout fermentation are acetic acid bacteria, such as *Acetobacter* and *Gluconobacter*; these bacteria should be carefully monitored because, although they can contribute to the particularities of wine flavors, they can convert ethanol to

acetic acid, characterizing the process known as acetification, a common defect in wine. (Created with [BioRender.com](https://www.biorender.com))

Additionally, controlling the fermentation process, including the detection and control of contaminants, has become an important focus in winemaking practices. By closely monitoring and regulating the fermentation environment, they aim to ensure the desired outcomes and prevent unwanted influences on the wine. This includes implementing strict hygiene practices and employing analytical techniques to identify and mitigate potential issues that might arise during fermentation (Janagama et al. 2019, De Bellis et al. 2022).

3.5.5 Malolactic Fermentation

After primary fermentation, wines often undergo additional steps to enhance their complexity, flavor development, stability, and overall quality. Different vessels and techniques contribute with unique characteristics to the final product.

Malolactic fermentation (MLF) is a secondary fermentation process that involves the conversion of malic acid, naturally present in grapes, into lactic acid by lactic acid bacteria (LAB). This process not only softens the wine's acidity but also imparts a smoother mouthfeel while contributing to the development of complex flavors and aromas. While both industrial and wild wine production can incorporate MLF into the production processes, there are notable differences in this step, extending beyond the approach to inoculation.

In industrial wine production, MLF is typically a controlled process. Winemakers often inoculate the wine with specific LAB strains, primarily from the species *Oenococcus oeni*, ensuring a predictable and consistent fermentation. MLF is often encouraged for certain wine styles, such as Chardonnay or red wines with high acidity, to balance the flavors and enhance the overall mouthfeel. This approach allows them to manage temperature, nutrient availability, and pH to achieve the desired outcome. Stainless steel tanks or oak barrels equipped with temperature controls are commonly used for MLF in industrial settings.

On the other hand, wild or natural wine production embraces a spontaneous approach to malolactic fermentation. Rather than inoculating the wine with specific LAB strains, winemakers rely on the indigenous microbiota present in the vineyard and winery environment, including *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Lactococcus*, and *Oenococcus*

strains. This process can occur during aging in oak barrels, concrete tanks, or other vessels. The timing and progression of MLF can be less predictable and vary from vintage to vintage. This unpredictability can result in a broader range of flavors and textures, adding to the complexity and unique character of wild wines. Not all wines undergo MLF. Some white wines, particularly those aiming for a crisper and fresher style, skip this step entirely to retain the grape's natural acidity. Additionally, winemakers can partially or completely block this step by controlling temperature or adding sulfites to preserve the wine's primary fruit flavors and higher acidity.

3.5.6 Aging and Maturation

After primary or malolactic fermentation, certain wines benefit from aging to develop complexity and improve their texture. During this step, the wine is stored in barrels or vessels and is transformed by chemical reactions that contribute to the development of flavors, aromas, and overall complexity for secondary and tertiary flavors, known as the wine's bouquet.

Oxidation Oxygen slowly enters the wine through the small pores in barrels or through minimal contact with air in other aging vessels. This controlled exposure to oxygen triggers oxidation reactions, which can soften harsh tannins, stabilize color, and enhance the development of complex aromas and flavors. However, excessive oxidation can lead to undesirable qualities in the wine, so winemakers carefully monitor and manage oxygen levels.

Polymerization Over time, tannins in the wine can undergo polymerization, forming larger molecules. This process contributes to the wine's structure, texture, and mouthfeel, making it smoother and more rounded. Polymerization can also help to soften astringent tannins, leading to a more integrated and balanced wine.

Esterification During aging, the interaction between acids and alcohols can result in the formation of esters. Esters are responsible for the fruity and floral aromas in wines. With time, esterification reactions can develop more complex and intense aromas, adding layers of depth to the wine's bouquet.

Precipitation and Sedimentation As wines age, certain compounds can undergo precipitation and form sediment at the bottom of the bottle or aging vessel. This sediment primarily consists of tannins, color pigments, and phenolic compounds. Removing sediment through racking or decanting helps clarify the wine and can contribute to its stability and visual appeal.

Flavor Integration Over time, the different components of the wine, such as sugars, acids, tannins, and phenolic compounds, interact and integrate with each other. This integration creates a harmonious balance and smoothness, allowing the wine's flavors to develop and evolve. During this stage, the wine's unique character emerges, reflecting the grape variety, terroir, and winemaking techniques.

These chemical reactions and transformations occur gradually during the aging and maturation process, and their extent and impact depend on various factors, including the wine's composition, aging vessel, temperature, and duration of aging. Oak barrels, commonly made from French or American oak, provide a subtle influence through oxygen exposure and the infusion of flavors from the wood. Aging can also occur in stainless steel tanks or alternative vessels for a more fruit-driven style. Extended aging periods allow flavors to integrate, tannins to soften, and a wine's potential to be fully realized. Skilled winemakers carefully manage these variables to achieve the desired style and characteristics in the final product.

In industrial wine production, aging commonly occurs in oak barrels, stainless steel tanks, or a combination. Oak barrels impart flavors, aromas, and textural elements to the wine through slow oxygen exchange and infusing compounds from the wood. The duration of oak aging can vary, ranging from a few months to several years, depending on the desired style and the winemaker's preference.

Wild wine production, in contrast, embraces a wide array of aging vessels and approaches. While some winemakers use oak barrels, others use vessels such as clay amphorae, concrete tanks, or even glass demijohns. These vessels offer different levels of oxygen exposure, which influences the wine's aging process. Additionally, some wild wines may undergo extended skin contact or be aged on lees (yeast sediments), further enhancing complexity and texture.

3.5.7 Blending and Filtration

Blending plays a crucial role in winemaking, particularly for non-varietal wines or when aiming to achieve specific flavor profiles. Winemakers can balance flavors, enhance complexity, and ensure consistency across vintages by skillfully combining different wines. After blending, wines often undergo filtration or fining processes to remove sediment, yeast, and other particles, ensuring clarity and stability before bottling.

In industrial wine production, blending is frequently employed to maintain consistency across different batches and create wines with a targeted flavor profile. Winemakers meticulously assess each component before blending, carefully balancing acidity, tannins, sweetness, and aromatics to achieve the desired result.

Wild wine production allows for more diverse blending practices. Some winemakers embrace a non-interventionist approach, allowing the wine to express itself without blending. Instead, the focus may be on showcasing the unique characteristics of single vineyards or grape varieties. However, blending can still occur in wild winemaking, often on a smaller scale and with a more experimental or artistic approach.

After blending, wines in both industrial and wild production can be filtered or fined to remove any remaining solids, sediment, or haze. Filtration methods, such as diatomaceous earth, pads, or membranes, clarify the wine and enhance its stability and visual appearance. Fining agents, such as bentonite or egg whites, can also be added to facilitate the precipitation of unwanted particles, further improving clarity and overall quality.

3.5.8 Bottling and Cellaring

The final stage of wine production is bottling, where the carefully crafted liquid is transferred into glass bottles, sealed, and labeled. Winemakers make decisions regarding closure types, such as corks, screw caps, or alternative closures, considering factors like oxygen exposure and aging potential.

After bottling, some wines benefit from additional cellaring, allowing them to evolve further and develop intriguing characteristics over time. During cellaring, chemical reactions and interactions continue to take place, leading to the integration of flavors, the softening of tannins, and the development of tertiary aromas. Proper storage conditions, including temperature, humidity, and light exposure, ensure the wine ages

gracefully and maintains quality.

Cellaring periods vary significantly depending on the wine style, grape variety, and the winemaker's intentions. Some wines are best enjoyed in their youth, while others can age gracefully for several years or even decades, revealing new dimensions and complexities as they mature.

3.6 Conclusion

The resurgence of interest in wild wines reflects a broader movement toward reimagining traditional practices. By eschewing the use of commercial yeasts and additives, winemakers are embracing the historic and authentic methods that were prevalent before the advent of modern winemaking techniques.

In this chapter, we explored the emerging trends in wild wines, a category of wines that embrace the natural and spontaneous fermentation processes driven by indigenous yeasts and bacteria present in the vineyard and winery environments. Moreover, the complex interplay between native yeasts, grape varieties, vineyard soils, and climate conditions gives rise to wines that exhibit unique regional characteristics and a sense of place. This trend aligns with the growing consumer appreciation for wines that reflect a specific origin and display individuality.

Wild winemaking also embraces minimal intervention approaches, focusing on sustainable viticulture and low-intervention winemaking practices. By reducing chemical inputs and relying on natural processes, wild winemakers prioritize environmental stewardship and biodiversity preservation. While wild wines might not be suitable for every wine region or grape variety, they offer an exciting and evolving landscape within the winemaking world. By embracing the trends in wild wines, winemakers could create distinctive, site-specific wines that captivate the senses and connect consumers to the rich tapestry of nature and tradition.

As the popularity of wild wines continues to grow, winemakers need to maintain a delicate balance between spontaneity and consistency. Striking this balance requires careful vineyard management, diligent monitoring of fermentation processes, and ongoing experimentation to refine techniques.

References

- Barbeau G, Morlat R, Asselin C (1998) Relations entre précocité de la vigne et composition des baies de divers cépages du Val de Loire (France),(suite et fin). *Progress Agricole et Viticole* 115(6):127–130
- Bernigaud N, Bondeau A, Guiot J (2021) Understanding the development of viticulture in Roman Gaul during and after the Roman climate optimum: The contribution of spatial analysis and agroecosystem modeling. *J Archaeol Sci Rep* 38:103099. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.103099>
- Berbegal C, Ferrer S, Polo L, Pardo I, García-Esparza MJ, Andrés L, Álvarez I, Lizama V (2023) Diversity of Indigenous *Saccharomyces cerevisiae* Yeast Strains in Cabernet Sauvignon Fermentations from Utiel-Requena Region (Spain) as a Resource to Improve Wine Distinctiveness. *Fermentation* 9(7):654. <https://doi.org/10.3390/fermentation9070654>
- Bokulich NA, Collins T, Masarweh C, Allen G, Heymann H, Ebeler SE, Mills DA (2016) Associations among wine grape microbiome, metabolome, and fermentation behavior suggest microbial contribution to regional wine characteristics. *MBio* 7:1–12. <https://doi.org/10.1128/mBio.00631-16>
- Bonné J (2013) *The new California wine: a guide to the producers and wines behind a revolution in taste*. Ten Speed Press
- Borren E, Tian B (2020) The important contribution of non-*Saccharomyces* yeasts to the aroma complexity of wine: a review. *Foods* 10(1):13. <https://doi.org/10.3390/foods10010013>
- Capozzi V, Garofalo C, Chiriatti MA, Grieco F, Spano G (2015) Microbial terroir and food innovation: The case of yeast biodiversity in wine. *Microbiol Res* 181:75–83. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.10.005>
- Catalano V, Moreno-Sanz P, Lorenzi S, Grando MS (2016) Experimental review of DNA-based methods for wine traceability and development of a single-nucleotide polymorphism (SNP) genotyping assay for quantitative varietal authentication. *J Agric Food Chem* 64(37):6969–6984. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02560>
- Camargo UA (2002) Novas cultivares de videira para vinho, suco e mesa. *Viticultura e Enologia Atualizando Conceitos*. 1º Simpósio Mineiro de Viticultura e Enologia. Andradas-MG, Brasil, 33
- Choné X, Van Leeuwen C, Chery PH, Ribéreau-Gayon P (2001) Terroir influence on water status and nitrogen status of non-irrigated Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera*). Vegetative development, must and wine composition (example of a Medoc top estate vineyard, Saint Julien area, Bordeaux, 1997). *S Afr J Enol Viticult* 22(1):8–15
- Comitini F, Agarbati A, Canonico L, Ciani M (2021) Yeast interactions and molecular mechanisms in wine fermentation: a comprehensive review. *Int J Mol Sci* 22:7754. <https://doi.org/10.3390/ijms22147754>
- Cordero-Bueso G, Arroyo T, Serrano A, Valero E (2011) Influence of different floor management strategies of the vineyard on the natural yeast population associated with grape berries. *Int J Food Microbiol* 148(1):23–29
- De Bellis D, Di Stefano A, Simeone P, Catitti G, Vespa S, Patruno A, Marchisio M, Mari E, Granchi L, Viti C, Chiacchiaretta P, Cichelli A, Tofalo R, Lanuti P (2022) Rapid detection of *Brettanomyces bruxellensis* in wine by polychromatic flow cytometry. *Int J Mol Sci* 23(23):15091. <https://doi.org/10.3390/ijms232315091>
- Dry PR, Loveys BR, McCarthy MG, Stoll M (2001) Strategic irrigation management in Australian vineyards. *OENO One* 35(3):129–139
- FAOSTAT FAO (2021) Ranking of countries by commodity. Food and Agriculture Organization of the United Nations. available at: https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity. Accessed in 09/11/2024
- Da Silva BKS, Silva CAA, Nauar LAM, de Souza EP, Ferreira LE (2022) Poda em culturas alimentares de interesse econômico. In: Melo JOF (Ed) *Ciências Agrárias: O avanço da Ciência no Brasil*, Editora Científica 25:342–355

- Gabardo W (2021) Habitar o terroir do vinho: o sentimento da paisagem de Mendoza, Argentina. *GeoTextos* 17(1):113–128. <https://doi.org/10.9771/geo.v17i1.43686>
- Galati A, Schifani G, Crescimanno M, Migliore G (2019) “Natural wine” consumers and interest in label information: An analysis of willingness to pay in a new Italian wine market segment. *J Clean Prod* 227:405–413. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.219>
- Gobbi A, Acedo A, Imam N, Santini RG, Ortiz-Álvarez R, Ellegaard-Jensen L, Belda I, Hansen LH (2022) A global microbiome survey of vineyard soils highlights the microbial dimension of viticultural terroirs. *Commun Biol* 5(1):241. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03202-5>
- González-Neves G, Franco J, Barreiro L, Gil G, Moutounet M, Carbonneau A (2007) Varietal differentiation of Tannat, Cabernet-Sauvignon and Merlot grapes and wines according to their anthocyanic composition. *Eur Food Res Technol* 225(1):111–117
- Griffith MP (2004) Ancient wine: The search for the origins of viniculture. *Econ Bot* 58(3):488
- Griggs RG, Steenwerth KL, Mills DA, Cantu D, Bokulich NA (2021) Sources and assembly of microbial communities in vineyards as a functional component of winegrowing. *Front Microbiol* 12:673810. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.673810>
- Gurgel M, Gavioli A (2019) *Vinho com design*. Editora SENAC, São Paulo
- Helwi P, Guillaumie S, Thibon C, Keime C, Habran A, Hilbert G, Gomes E, Darriet P, Delrot S, Van Leeuwen C (2016) Vine nitrogen status and volatile thiols and their precursors from plot to transcriptome level. *BMC Plant Biol* 16(1):173
- Irvine R (2009) Wine in the ancient world: the social and economic importance of viticulture and wine production. *Eur Rev Econ Hist* 13(1):51–72
- Janagama HK, Mai T, Han S, Nadala L, Nadala C, Samadpour M (2019) Simultaneous detection of multiple wine-spoilage organisms using a PCR-based DNA dipstick assay. *J AOAC Int* 102(2):490–496. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0144>
- Johnson H, Robinson J (2013) *The world atlas of wine*. Mitchell Beazley
- Keller M (2015) *The science of grapevines: anatomy and physiology*. 2nd ed Elsevier Academic Press
- Knight SJ, Goddard MR (2016) Sporulation in soil as an overwinter survival strategy in *Saccharomyces cerevisiae*. *FEMS Yeast Res* 16:1–8. <https://doi.org/10.1093/femsyr/fov102>
- Kuck LS, Noreña CPZ (2021) Effect of UV-C irradiation on quality from fresh grapes var. Bordô. *Braz Arch Biol Technol* 64:1-11
- Kurt-Celebi A, Colak N, Hayirlioglu-Ayaz S, Kostadinovic SV, Ilieva F, Esatbeyoglu T, Ayaz FA (2020) Accumulation of phenolic compounds and antioxidant capacity during berry development in black ‘Isabel’ Grape (*Vitis vinifera* L. x *Vitis labrusca* L.). *Molecules* 25(17):3845
- Lavandoski J, Tonini H, Barretto M (2012) Uva, vinho e identidade cultural na Serra Gaúcha (RS, Brasil). *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo* 6(2):216–232
- Legeron I (2014) *Natural wine: an introduction to organic and biodynamic wines made naturally*. Cico Books
- Liu D, Chen Q, Zhang P, Chen D, Howell KS (2020) The fungal microbiome is an important component of vineyard ecosystems and correlates with regional distinctiveness of wine. *mSphere* 5:1–15. <https://doi.org/10.1128/msphere.00534-20>
- Lynch K (2013) *Adventures on the wine route: a wine Buyer’s tour of France*. Farrar, Straus and Giroux, New York

- Madden AA, Epps MJ, Fukami T, Irwin RE, Sheppard J, Sorger DM, Dunn RR (2018) The ecology of insect – yeast relationships and its relevance to human industry. *Proc R Soc Biol Sci* 285:20172733. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2733>
- Mahaffee WF, Stoll R (2016) The Ebb and flow of airborne pathogens: monitoring and use in disease management decisions. *Phytopathology* 106:420–431. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-16-0060-RVW>
- Maicas S, Mateo JJ (2023) The life of *Saccharomyces* and non-*Saccharomyces* yeasts in drinking wine. *Microorganisms* 11(5):1178. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11051178>
- Malinowski LI et al (2021) Clima das regiões dos vinhedos de altitude de Santa Catarina. In: Palladini LA, Brighenti AF, Souza A, Silva AL (eds) *Potencial de variedades de uvas viníferas nas regiões de altitude de Santa Catarina*, 1st edn. Epagri, Florianópolis, pp 26–43
- Migliore G, Thrassou A, Crescimanno M, Schifani G, Galati A (2020) Factors affecting consumer preferences for “natural wine”: An exploratory study in the Italian market. *Br Food J* 122(8):2463–2479. <https://doi.org/10.1108/BFJ-07-2019-0474>
- OIV (2024) State of the world vine and wine sector in 2023. International Organisation of Vine and Wine
- Perin C, Verma PK, Harari G, Suued Y, Harel M, Ferman-Mintz D, Drori E, Netzer Y, Fait A (2023) Influence of late pruning practice on two red skin grapevine cultivars in a semi-desert climate. *Front Plant Sci* 14:1114696
- Pinto C, Pinho D, Sousa S, Pinheiro M, Egas C, Gomes AC (2014) Unravelling the diversity of grapevine microbiome. *PLoS One* 9(1):e85622 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085622>
- Sadoudi M, Tourdot-Maréchal R, Rousseaux S, Steyer D, Gallardo-Chacón JJ, Ballester J, Vichi S, Guérin-Schneider R, Caixach J, Alexandre H (2012) Yeast–yeast interactions revealed by aromatic profile analysis of Sauvignon Blanc wine fermented by single or co-culture of non- *Saccharomyces* and *Saccharomyces* yeasts. *Food Microbiol* 32(2):243–253
- Stefanello LO, Schwalbert R, Schwalbert RA, Drescher GL, De Conti L, Pott LP, Brunetto G (2021) Ideal nitrogen concentration in leaves for the production of high-quality grapes cv ‘Alicante Bouschet’ (*Vitis vinifera* L.) subjected to modes of application and nitrogen doses. *Eur J Agron* 123:126200
- Stoll M, Loveys B, Dry P (2000) Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *J Exp Bot* 51(350):1627–1634
- Theise T (2010) *Reading between the wines*. University of California Press, pp 102–109
- Tregoat O, Van Leeuwen C, Choné X, Gaudillère JP (2002) Etude du régime hydrique et de la nutrition azotée de la vigne par des indicateurs physiologiques. Influence sur le comportement de la vigne et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* L. cv Merlot, 2000, Bordeaux). *J Int des Sciences de la Vigne et du Vin* 36(3):133–142
- Tufariello M, Fragasso M, Pico J, Panighel A, Castellarin SD, Flamini R, Grieco F (2021) Influence of non-*Saccharomyces* on wine chemistry: a focus on aroma-related compounds. *Molecules* 26(3):644. <https://doi.org/10.3390/molecules26030644>
- Unwin T (2022) *Cultures of Terroir*. In: Charters S, Demossier M, Dutton J, Harding G, Maguire J, Marks D, Unwin T (eds) *Routledge handbook of wine and culture*. London: Routledge
- van Leeuwen C (2010) Soils and Terroir expression in wines. In: Landa, E., Feller, C. (eds) *Soil and culture*. Springer
- Van Leeuwen C, Seguin G (2006) The concept of terroir in viticulture. *J Wine Res* 17(1):1–10
- Van Leeuwen C, Roby JP, De Resseguié L (2018) Soil-related terroir factors: a review. *OENO*

one 52(2):173–188

- Varela C, Siebert D, Cozzolino D, Rose L, McLean H, Henschke PA (2009) Discovering a chemical basis for differentiating wines made by fermentation with ‘wild’ indigenous and inoculated yeasts: role of yeast volatile compounds. *Aust J Grape Wine Res* 15:238–248. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.00054.x>
- Vecchio R, Annunziata A, Parga Dans E, González PA (2023) Drivers of consumer willingness to pay for sustainable wines: natural, biodynamic, and organic. *Org Agr* 13:247–260. <https://doi.org/10.1007/s13165-023-00425-6>
- Verdenal T, Dienes-Nagy Á, Spangenberg JE, Zufferey V, Spring JL, Viret O, Marin-Carbonne J, van Leeuwen C (2021) Understanding and managing nitrogen nutrition in grapevine: a review. *Oeno One* 55(1):1–43
- Vink SN, Dini-Andreote F, Höfle R, Kicherer A, Salles JF (2021) Interactive effects of scion and rootstock genotypes on the root microbiome of grapevines (*Vitis* spp. l.). *Appl Sci* 11:1–11. <https://doi.org/10.3390/app11041615>
- Wurz DA, Brighenti AF, Allebrandt R, De Bem BP, Rufato L, Bonin B (2021) Ocorrência do míldio da videira (*Plasmopora viticola* L.) em função do aumento da carga de gemas da uva Cabernet Franc cultivada em região de elevada altitude de Santa Catarina. *Revista Thema* 19(2):236–247
- Zhang S, Chen X, Zhong Q, Zhuang X, Bai Z (2019) Microbial community analyses associated with nine varieties of wine grape carposphere based on high-throughput sequencing. *Microorganisms* 7(12):668. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7120668>

4. Capítulo 2

Qualidade e Cultura: Os Vinhos de Jabuticaba de Catas Altas

Resumo

Este estudo analisou a produção de vinho de jabuticaba em Catas Altas, Minas Gerais, abordando aspectos culturais e técnicos. A vitivinicultura local se desenvolveu ao longo de gerações, aproveitando as condições agroclimáticas da região e consolidando-se como prática culturalmente importante da cidade de Catas Altas. Além de destacar o contexto histórico, a pesquisa avaliou a conformidade dos vinhos de jabuticaba das safras de 2022, 2023 e 2024 com as Instruções Normativas 14/2018 e 34/2012, utilizando análises físico-químicas. Ao longo dos três anos, foi observado um progresso significativo na qualidade do vinho produzido. Em 2022, duas amostras (E-01 e F-01) apresentaram teor alcoólico abaixo do padrão mínimo de 4 °GL. Além disso, todas as amostras apresentaram alta acidez fixa que variou de 140 a 260 meq/L, o que foi atribuído à colheita precoce das jabuticabas. Essa prática resultou em mostos com baixos níveis de açúcares e alta acidez, impactando negativamente a fermentação. Em contrapartida, na safra de 2023, todas as amostras analisadas atenderam aos critérios normativos, indicando um aprimoramento nas técnicas de manejo e fermentação. Em 2024, os resultados mostraram um avanço ainda maior, com destaque para a amostra B-01, que apresentou o teor alcoólico mais elevado (13,73°GL). Esse desempenho foi associado a uma colheita realizada no estágio ideal de maturação, que favoreceu um mosto inicial alto teor de açúcares e uma fermentação eficiente. O comportamento linear ao longo dos anos evidencia a evolução no manejo da produção, com ajustes que garantiram maior controle sobre os fatores determinantes da qualidade do vinho. A análise das safras revela que a maturação adequada das jabuticabas e o refinamento das práticas fermentativas são determinantes para a conformidade do vinho com padrões de qualidade, consolidando a relevância cultural e técnica da produção em Catas Altas.

Palavras-chave: fermentação; fermentação natural; levedura selvagem; qualidade de bebidas; cultura.

4.1 Introdução

A produção de vinho de jabuticaba em Catas Altas configura-se como um processo consolidado e historicamente relevante, intrinsecamente associado às particularidades geográficas e climáticas da região. Este cultivo remonta há várias décadas e se sustenta na exploração da jabuticaba, fruto nativo do Brasil [1]. Catas Altas oferece um ambiente agroclimático propício, caracterizado por clima tropical de altitude e estações bem definidas, que otimizam o desenvolvimento da jabuticabeira (*Plinia cauliflora*), favorecendo tanto a qualidade quanto a quantidade da produção [2].

A vitivinicultura de jabuticaba iniciou-se em núcleos familiares rurais de Catas Altas, onde as jabuticabas eram cultivadas em pequenas propriedades, muitas vezes como herança transmitida entre gerações. Este processo de transmissão patrimonial envolvia não apenas o cultivo, mas também o saber técnico referente à fermentação da jabuticaba. Assim, ao longo do tempo, as famílias desenvolveram métodos artesanais de produção de vinho de jabuticaba, gradualmente aperfeiçoando técnicas de fermentação, armazenamento e envelhecimento, consolidando um produto notável e culturalmente representativo [3]. Esse conhecimento acumulado e adaptado ao longo das gerações desenvolveu a coesão social, integrando-se aos costumes e celebrações comunitárias, nas quais o vinho de jabuticaba se firmava não só como bebida, mas também como expressão da identidade local.

Em 1989, o modo de fazer as práticas artesanais de produção de vinho em Catas Altas foram reconhecidas pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), reforçando o valor patrimonial e a necessidade de preservação da vitivinicultura de jabuticaba como manifestação cultural. Essa certificação promoveu o desenvolvimento de políticas para a proteção e manutenção das técnicas tradicionais de vinificação, bem como o incentivo à continuidade dessa prática em um contexto de patrimônio cultural imaterial. A regulamentação posterior intensificou-se com normas que estabeleceram padrões de identidade e qualidade para bebidas fermentadas de frutas, proporcionando uma diferenciação entre o vinho tradicional, derivado exclusivamente de uvas, e fermentados de frutas. Dessa forma, o vinho de jabuticaba, embora distinto do vinho de uva em sua classificação legal, beneficia-se de regulamentação específica que permite sua comercialização no cenário vitivinícola brasileiro [4].

Associação dos Produtores de Vinhos Agricultores Familiares e Demais Produtos Artesanais de Catas Altas (Aprovar) exerce papel estratégico na preservação e desenvolvimento da tradição dos vinhos de Jaboticaba, consolidando-se como entidade centralizadora das atividades vitivinícolas locais. A Aprovar fornece uma plataforma de integração e cooperação técnica entre produtores locais, promovendo a continuidade e a inovação de práticas tradicionais de produção [5-6].

Funcionando como um fórum para troca de conhecimento e experiência, a Aprovar facilita a colaboração entre produtores, o que é essencial para manter as práticas tradicionais ao mesmo tempo, em que promove a evolução técnica. Esse intercâmbio aprimora os processos de produção e a qualidade final dos vinhos, viabilizando a adaptação dos produtores às exigências do mercado e à manutenção de padrões regionais específicos [1].

A associação também lidera iniciativas de promoção do vinho de Jaboticaba ao nível regional e nacional, com esforços que incluem a organização de eventos, participação em feiras e festivais, e parcerias com entidades afins do setor de alimentos e bebidas. Essas ações ampliam a visibilidade e o alcance dos vinhos de Jaboticaba, facilitando a entrada e o posicionamento do produto em novos mercados [5].

Outro papel fundamental da Aprovar é a definição e padronização de diretrizes de produção, que asseguram que os vinhos de Jaboticaba produzidos por seus associados estejam conforme padrões de qualidade e segurança alimentar estabelecidos, contribuindo para a credibilidade e competitividade do produto [1]. Representando dessa forma, os interesses dos produtores junto a entidades reguladoras, atuando como porta-voz unificado em questões legislativas e regulatórias. Assim, a associação assegura que as demandas e preocupações dos produtores sejam incorporadas em políticas públicas e normativas relacionadas à produção vitivinícola local. Com uma atuação multifacetada que abrange a integração dos produtores, promoção de mercado, padronização de qualidade e representação institucional, a Aprovar é um pilar fundamental para a continuidade e valorização da tradição dos vinhos de Jaboticaba em Catas Altas [4].

A Festa do Vinho, um evento anual em Catas Altas, desempenha um papel crucial na promoção da cultura vinícola local, especialmente na valorização dos vinhos de Jaboticaba e na integração entre produtores e a comunidade. Em 2024, o evento ocorreu

entre 17 e 19 de maio, proporcionando uma experiência de degustação, ampliando o conhecimento e a apreciação das práticas vinícolas tradicionais da região, como descrito pelo site oficial da Prefeitura Municipal de Catas Altas.

Durante a festa, produtores locais têm a oportunidade de apresentar seus produtos diretamente ao público, criando um ambiente favorável para interações diretas e para a divulgação de suas produções. Neste contexto, os vinhos de jabuticaba ganham destaque, acompanhados das histórias pessoais dos produtores, que refletem tradições familiares profundamente enraizadas na vitivinicultura [6].

O evento também enfatiza o aspecto gastronômico, com uma seleção de pratos típicos da região desenvolvidos para harmonizar com os vinhos de jabuticaba. Essa combinação oferece uma experiência sensorial completa, integrando sabores autênticos da culinária local aos vinhos tradicionais, reforçando a identidade cultural da região [1].

Além desses aspectos, a Festa do Vinho exerce um papel relevante na valorização do patrimônio vinícola de Catas Altas, permitindo à comunidade celebrar suas tradições, compartilhar seu legado com os visitantes e fortalecer os laços entre produtores, comunidade e apreciadores de vinhos. Essa celebração anual contribui para a preservação das tradições culturais locais e o fortalecimento da herança vinícola de Catas Altas [6].

4.2 Avaliação da qualidade dos vinhos produzidos por associados à APROVART

4.2.1 Parâmetros físico-químicos e de qualidade dos vinhos de jabuticaba

Os parâmetros físico-químicos e de qualidade dos vinhos de jabuticaba foram avaliados para as safras de 2022, 2023 e 2024. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Processos Bioquímicos e Fermentativos (LAPROBQI) e no Laboratório de Fermentações, ambos do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), Universidade Federal de Viçosa (UFV) (Viçosa, MG, Brasil). As amostras foram coletadas, armazenadas, identificadas e transportadas até o laboratório pela Emater, onde permaneciam em ambiente refrigerado (aproximadamente 20 °C) até o momento das análises. Todas as garrafas foram identificadas com códigos de três dígitos, correspondente a diferentes produtos e produtores de Catas Altas.

Foram analisadas, em 2022, 17 amostras. Em 2023, foram 35 amostras e em 2024, 41 amostras. Para cada ano de análise, foram realizadas as análises contratadas (teor de sólidos solúveis, teor alcoólico, acidez total, acidez fixa, acidez volátil e pH). A partir de 2023, foi realizada também análise do teor de etanol e de ácido acético nas amostras por meio da técnica de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), além de teor alcoólico complementar, utilizando o equipamento ABValuer (ISO 4796-10 LABORGLAS®).

4.2.2 Métodos analíticos

4.2.2.1 Teor de sólidos solúveis

Para a determinação do teor de sólidos solúveis, utilizou-se um refratômetro analógico modelo ATC®, com compensação de temperatura automática. Foram transferidos aproximadamente 100 µL de cada amostra de vinho diretamente para a superfície de leitura do refratômetro, garantindo uma distribuição homogênea do líquido sobre a lente do instrumento. Após a aplicação da amostra, realizou-se a leitura do valor de °Brix, expresso em g de sólidos solúveis por 100 g de amostra, permitindo a quantificação da concentração de açúcares e outros compostos solúveis no vinho [7].

4.2.2.2 Teor alcoólico

Vinte e cinco mililitros de vinho foram diluídos com 25 mL de água destilada, e a mistur, foram adicionados 10 mL de óxido de cálcio para neutralizar a acidez do vinho, assegurando que o destilado resultante estivesse isento de ácidos voláteis que pudessem interferir na aferição. O balão de destilação foi conectado a um condensador, e na extremidade deste, um balão volumétrico foi acoplado para coletar 30 mL do destilado. Após a destilação, o volume de destilado foi completado para 50 mL com água destilada. Em seguida, a densidade a 20 °C foi determinada com o auxílio de um picnômetro (10 mL) e o teor alcoólico foi determinado conforme a relação fornecida pela AOAC *International Organization* [8];[9].

4.2.2.3 Determinação do teor alcoólico usando o equipamento ABValuer

Para a determinação do teor alcoólico nas amostras de vinho, foi utilizado o medidor ABValuer® (ISO 4796-10 LABORGLAS®), que requer calibração prévia para garantir precisão nos resultados. Para utilizar o ABValuer corretamente, as amostras devem estar entre 18 e 22 °C, evitando interferências nos resultados. A medição exige 62 ml de solução, composta por 60 mL de água destilada e 2 mL da bebida a ser analisada. O equipamento deve estar devidamente calibrado e livre de resíduos anteriores. Para vinhos (7% a 15% de álcool), a calibração deve abranger os pontos de 5,0%, 12,0% e 39,0%, no qual foi utilizado soluções padrão preparadas com álcool absoluto. Essas soluções são obtidas diluindo quantidades conhecidas de álcool em água, garantindo precisão na medição. Em seguida, as amostras diluídas foram analisadas, e o teor alcoólico foi registrado (v/v). Dados fornecidos pelo Manual do Usuário ABValuer® (ISO 4796-10 LABORGLAS®) NOWA Creations.

4.2.2.4 Acidez total

A acidez total das amostras de vinho foi determinada por meio de titulação ácido-base, utilizando hidróxido de sódio (NaOH) a 0,1 M como titulante. Para o procedimento, 5 mL da amostra de vinho foram transferidos para um frasco Erlenmeyer de 250 mL e diluídos em 100 mL de água destilada para facilitar o processo de titulação e melhorar a precisão dos resultados. Como indicador da reação, foram adicionadas cinco gotas de fenolftaleína 1%, que apresenta uma mudança de cor visível ao atingir o ponto de equivalência pH 8,2. A titulação foi realizada com a solução de NaOH 0,1 N, e o ponto final foi determinado pela mudança de coloração da solução para rosa [10]; [11].

4.2.2.5 Acidez volátil e fixa

A acidez volátil dos vinhos foi determinada por titulometria, após destilação das amostras por arraste de vapor d'água. Dez mililitros da amostra foram colocados no borbulhador, e adicionou-se 250 mL de água destilada no gerador de vapor do aparelho de destilação e conectado ao condensador. Foram recolhidos 100 mL do destilado, posteriormente titulado com hidróxido de sódio a 0,01 N com fator de correção 1,003. Como indicador foi utilizado solução de fenolftaleína a 1% até que fosse atingida uma coloração rosa-claro. A acidez fixa foi calculada pela diferença entre a acidez total e a acidez volátil [11].

4.2.2.6 pH

A avaliação do pH das amostras de vinho foi realizada diretamente, sem diluição. O pHmetro foi calibrado previamente com soluções tampão de pH 4, 7 e 10 para garantir a precisão e a confiabilidade das medições [12]. Após a calibração, foram utilizados 5 mL da amostra de vinho para a leitura do pH.

4.2.2.7 Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE)

A concentração de etanol e ácido acético nas amostras de vinho foi determinada por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE). Para a análise, alíquotas de 2 mL de cada amostra foram diluídas na proporção 1:5 e filtradas por membranas de 0,22 µm, garantindo a remoção de partículas que poderiam comprometer a separação cromatográfica. As amostras foram então injetadas em uma coluna HPX-87H (BioRad), utilizando uma fase móvel composta por uma solução de ácido sulfúrico a 5 mM (VETEC®) com fluxo controlado de 0,6 mL/min. A separação dos compostos ocorreu por exclusão iônica, explorando as interações entre as espécies químicas presentes na amostra e o material da coluna. O sistema foi mantido a 65°C para otimizar a resolução dos picos cromatográficos. A detecção foi realizada por um detector de índice de refração (RID), assegurando a quantificação precisa dos compostos [13]. A quantificação do etanol foi baseada em uma curva de calibração construída com padrões de etanol (Merk®) em concentrações de 5, 10, 15, 25, 50, 100, 200, 300, 400 e 500 mM. Para o ácido acético, foram utilizadas soluções padrão (Sigma®) com concentrações de 5, 10, 20, 40, 60, 80 e 100 mM. A identificação e quantificação dos compostos foram conduzidas a partir do tempo de retenção característico de cada analito e de equações de correlação entre a área do pico cromatográfico e a concentração correspondente.

4.3 Resultados e discussão

Os resultados das análises físico-químicos dos vinhos de jabuticaba de Catas Altas, MG, Brasil, produzidos nos anos anteriores e analisados em 2022 (Tabela 2), 2023 (Tabela 3) e 2024 (Tabela 4), foram comparados aos critérios estabelecidos Instrução normativa Mapa N° 34 de 29/11/2012, anexo do Decreto n° 6.871, PIQ de Jabuticaba (Tabela 1), junto com a análise de conformidade de cada safra a legislação estabelecida.

Tabela 1. Índice de conformidades dos “vinhos” de jabuticaba produzidos pelos produtores da Aprovart nas safras 2022, 2023 e 2024. A porcentagem em cada quadro indica o número de amostras em conformidade com a legislação para fermentados de jabuticaba.

Ano de análise	Nº de vinhos	Açúcares (g/L)	Teor alcoólico (°GL)	Acidez total (mEq/L)	Acidez volátil (mEq/L)	Acidez fixa (mEq/L)
Legislação*		> 3,0 g/L: doce/suave	4,0 a 14,0	50 a 130	0 a 20	Pelo menos 30
2022	17	50 a 296	3,6 a 11,2	147 a 265	3 a 22	140 a 260
Conformidade		100% doce	88%	0%	94%	100%
2023	32	50 a 298	4,8 a 14,9	94 a 282	0,7 a 27	89 - 218
Conformidade		100% doce	97%	22%	97%	100%
2024	41	60 a 260	4,8 a 15,8	64 a 176	4,8 a 73	40 a 165
Conformidade		100% doce	95%	63%	76%	100%

*Instrução normativa Mapa Nº 34 de 29/11/2012, anexo do Decreto nº 6.871, PIQ de Jabuticaba

Fonte. Autora et al., 2025.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos dos vinhos de jabuticaba produzidos pelos produtores associados à APROVART (Associação dos produtores de vinho, agricultura familiar e outros produtos artesanais de Catas Altas), safra 2021/2022.

Amostra	Teor alcoólico (°GL)	pH	Acidez total (meq/L)	Acidez volátil (meq/L)	Acidez fixa (meq/L)	Sólidos solúveis (°Brix)
A-03	8,60	3,30	248	7,00	241	5,20
A-04	10,5	3,34	250	4,00	246	14,0
A-06	6,40	3,39	231	4,00	227	18,2
B-01	9,10	3,41	173	6,00	167	29,6
C-01	8,80	3,55	161	10,0	151	13,2
C-02	7,40	3,45	207	10,0	197	6,80
D-01	9,50	3,43	147	7,00	140	15,4
E-01	3,70	3,37	195	22,0	173	15,2
F-01	3,60	3,40	160	11,0	149	19,0
G-01	6,90	3,33	222	8,00	214	5,00
H-03	7,40	3,44	202	3,00	199	18,8
I-01	8,10	3,33	253	17,0	236	18,2
J-01	9,30	3,11	185	5,00	180	6,00
K-02	8,10	3,37	230	5,00	225	7,20
K-03	11,2	3,32	265	5,00	260	11,6
L-01	8,70	3,43	220	7,00	213	11,6
M-01	7,60	3,29	201	12,0	189	9,20

Fonte. Autora et al., 2025.

Tabela 3. Parâmetros físico-químicos dos vinhos de jabuticaba produzidos pelos produtores associados à APROVART (Associação dos produtores de vinho, agricultura familiar e outros produtos artesanais de Catas Altas), safra 2022/2023.

Amostra	Teor alcoólico (%v/v - °GL)		pH	Acidez total (meq/L)	Acidez volátil (meq/L)	Acidez fixa (meq/L)	Ácido acético (g/L)	Sólidos solúveis (°Brix)
	HPLC	ABValuer						
A-01	12,3	16,6	3,59	170	2,15	168	1,80	19,0
A-02	11,2	15,1	3,61	171	2,85	168	1,11	7,00
A-03	11,5	14,2	3,47	140	1,35	140	1,03	17,0
B-01	13,7	17,5	3,47	181	0,65	180	1,56	18,2
C-01	9,63	13,4	3,28	223	6,15	217	5,04	7,90
C-02	10,5	13,9	3,73	141	3,80	138	3,08	14,7
C-03	9,84	15,1	3,33	185	3,60	181	2,69	16,9
C-04	7,31	14,3	3,42	93,9	5,20	88,7	1,86	29,8
D-01	7,34	11,3	3,31	104	3,20	101	4,47	21,1
D-02	8,94	13,8	3,39	136	4,00	132	3,28	17,7
E-01	6,81	11,2	3,20	245	27,05	218	23,2	18,8
E-02	12,0	16,9	3,26	120	2,15	118	4,36	16,5
F-01	14,8	19,9	3,36	97,0	2,55	94,4	3,53	14,2
F-02	8,32	12,5	3,30	165	3,00	162	2,33	16,8
G-01	7,93	10,8	3,27	189	4,50	184	4,11	17,0
G-02	8,57	12,6	3,33	196	5,0	191	4,45	5,20
H-01	12,1	16,5	3,36	195	1,85	193	0,68	13,6
H-02	2,69	16,8	3,35	201	1,30	200	1,10	10,0
H-03	10,5	15,3	3,38	180	1,95	178	1,42	6,10

J-01	11,9	17,2	3,60	152	2,40	149	2,33	22,8
K-01	12,3	17,2	3,42	170	3,30	166	2,63	17,0
K-02	11,4	15,4	3,50	184	2,30	182	1,45	6,60
K-03	12,1	16,8	3,46	196	3,05	193	2,74	10,1
L-01	9,64	13,8	3,40	193	5,10	188	3,11	10,9
L-02	10,3	14,8	3,35	151	4,30	147	2,82	7,80
L-03	8,69	18,2	3,70	147	16,8	131	16,36	8,00
M-01	10,5	16,2	3,44	157	5,40	151	4,68	13,0
M-02	12,6	12,4	3,35	168	10,4	158	11,04	12,4
N-01	12,8	17,8	3,20	168	0,75	167	2,06	6,90
N-02	13,6	16,5	3,17	159	2,05	157	2,06	6,60
N-03	14,8	19,6	3,33	113	0,65	113	7,78	7,00
O-01	11,6	15,9	3,47	144	0,20	144	0,88	11,4
O-02	11,7	14,8	3,45	158	0,25	157	0,90	9,00
P-01	12,1	16,8	3,54	125,66	2,40	123	1,86	18,9
P-02	9,46	12,8	3,37	114,33	6,85	107	6,07	19,6
P-03	11,8	16,2	3,47	111,24	3,90	107	3,20	19,8
Q-01	14,5	16,5	3,40	119,22	0,35	119	0,91	17,4

Fonte. Autora et al., 2025.

Tabela 4. Parâmetros físico-químicos dos vinhos de jabuticaba produzidos pelos produtores associados à APROVART (Associação dos produtores de vinho, agricultura familiar e outros produtos artesanais de Catas Altas), safra 2023/2024.

Amostra	Teor alcoólico (°GL)	pH	Acidez total (meq/L)	Acidez volátil (meq/L)	Acidez fixa (meq/L)	Sólidos solúveis (°Brix)
A-01	11,52	3,44	161,28	8,16	153,12	16,0
A-02	10,09	3,44	159,44	14,40	145,04	12,0
A-03	12,0	3,41	176,03	11,52	164,51	7,7
A-04	12,1	3,28	100,46	9,12	91,33	16,7
B-01	13,73	3,58	129,95	9,60	120,35	16,0
C-01	8,0	3,39	141,00	16,80	124,20	18,7
C-02	7,6	3,37	128,10	24,72	103,38	12,9
C-03	5,8	3,36	133,63	39,12	94,51	17,7
C-04	9,8	3,22	155,75	56,40	99,35	17,3
D-01	4,8	3,26	94,92	15,84	79,08	18,4
D-02	6,1	3,30	94,92	18,24	76,68	18,0
D-03	7,8	3,26	102,65	19,20	83,45	14,5
D-04	8,7	3,17	121,65	25,44	96,21	17,2
E-01	9,3	3,30	123,49	72,72	50,77	15,0
E-02	10,2	3,32	66,36	26,16	40,20	14,4
F-01	8,7	3,33	152,99	18,24	134,75	15,7
F-02	10,3	3,47	116,12	59,28	56,84	26,0
G-01	7,9	3,38	134,55	27,36	107,19	13,0
G-02	9,0	3,36	141,93	21,60	120,33	7,9
H-01	10,0	3,37	140,08	6,72	133,36	14,3

H-02	8,5	3,37	74,65	12,96	61,69	15,3
H-03	8,7	3,41	110,59	13,44	97,15	12,9
J-01	12,1	3,38	102,30	19,20	83,10	23,7
L-01	7,7	3,51	135,48	12,48	123,00	6,0
L-02	7,4	3,57	134,55	12,48	122,07	12,2
L-03	9,7	3,34	152,99	12,96	140,03	14,0
K-01	9,3	3,40	160,36	15,84	144,52	10,0
K-02	8,0	3,49	143,77	11,52	132,25	9,1
M-01	11,5	3,20	119,81	17,76	102,05	23,7
M-02	10,8	3,21	129,02	16,80	112,22	24,0
N-01	15,8	3,16	73,73	6,72	67,01	12,0
N-02	13,5	3,11	63,59	7,20	56,39	7,0
O-01	11,8	3,50	83,87	4,80	79,07	9,2
P-01	13,0	3,43	109,67	18,24	91,43	19,1
P-02	10,1	3,44	117,96	13,44	104,52	18,0
P-03	10,9	3,42	112,44	12,96	99,48	21,0
P-04	11,6	3,44	122,57	10,08	112,49	19,1
Q-01	12,1	3,45	117,04	12,96	104,08	16,5
Q-02	11,2	3,45	123,49	16,80	106,69	14,0
R-01	13,6	3,46	113,36	21,84	91,52	12,3

Fonte. Autora et al., 2025.

Apesar do alto teor alcoólico observado para a maioria dos vinhos analisados, o teor de sólidos solúveis totais, medido em °Brix, foi também destacadamente alto para praticamente todas as amostras, em todos os anos de análise; devido a isto, todos os vinhos analisados foram classificados como suaves (Tabela 1), com concentrações de sólidos solúveis que variaram entre 5 a 29,8 °Brix, o que corresponde a 50 a 298 g/L de açúcar (se desconsiderarmos a influência de outros compostos do vinho sobre o índice de refração do líquido). Essa doçura é característica dos vinhos locais, os quais são adicionados de sacarose ao final do processo fermentativo, em quantidade definida muitas vezes empiricamente pelo produtor. Um alto teor de sólidos solúveis pode também estar relacionado a falhas fermentativas (como nas amostras E-01, F-01, D-01, C-03, D-02, D-03, D-04, da safra de 2022, indicado na tabela 2, os quais também apresentaram baixos teores alcóolicos), ou ainda à chaptalização excessiva do mosto previamente à fermentação. O alto teor de açúcares destes vinhos favorece o desenvolvimento de bactérias produtoras de ácido acético (BAA), resultando no que é conhecido como avinagramento [14] observado especialmente por meio da alta acidez volátil observada em 25% das amostras analisadas no ano de 2024 (Tabela 1).

A quantificação de acético nessas amostras corrobora essas conclusões (Tabela 3). O ácido acético é um subproduto comum gerado durante o processo de fermentação, sendo o principal componente da acidez volátil. Portanto, apesar de não haver limites para a quantificação direta desse composto previstos pela legislação, os teores de ácido acético são proporcionais à acidez volátil das amostras e refletem as conformidades encontradas. Dessa forma, entre os vinhos analisados em 2023, as amostras E-01, L-03 e M-02 apresentaram concentração de ácido acético superior, consistente com acidez volátil mais elevada (Tabela 3)

O avinagramento de vinhos ocorre principalmente durante o armazenamento dos líquidos [15]. A presença de açúcar e oxigênio favorece o metabolismo das BAA, condição presente no armazenamento inadequado de vinhos suaves, especialmente quando utilizados toneis de madeira. Isso poderia explicar, total ou parcialmente, a acidez volátil em parte dos vinhos analisados. Por outro lado, conforme informado pela Aprovar, no ano de 2024 não foi ministrado curso de formação em BPF aos produtores, e não foram distribuídos toucas, luvas e materiais correlacionados, o que poderia ter favorecido o desenvolvimento de processos de vinificação contaminados. As BAA são frequentemente encontradas em ambientes ricos em açúcar e etanol, sendo conhecidas

por sua capacidade de converter eficientemente o etanol em ácido acético, o que é usado na produção industrial e artesanal de vinagre [16]. Além delas, processos fermentativos podem conter, ainda, bactérias produtoras de ácido láctico (BAL), as quais competem pelos substratos com as leveduras [17]. A contaminação dos mostos com essas bactérias favorece a produção de ácidos orgânicos, especialmente o ácido acético, em detrimento ao etanol, durante a fermentação [18]. É provável, portanto, que isto tenha ocorrido com as amostras E-01, D-04, F-02 e R-01, que apresentaram baixo teor alcoólico e alta acidez volátil durante todas as safras analisadas.

A acidez volátil desempenha um papel fundamental como indicador das boas práticas de fabricação [19]. Valores superiores ao limite de 20 mEq/L são, portanto, indicativos de contaminações microbiológicas. Neste caso, as causas da contaminação podem ser tanto atribuídas à má qualidade das matérias-primas quanto à falta de boas práticas durante os processos de colheita, vinificação e de armazenamento [16]; [20]. A prevenção do crescimento de bactérias do grupo AAB no vinho envolve a redução do contato com o oxigênio, como cobrir o vinho com um gás inerte e garantir que os recipientes de armazenamento estejam completamente cheios [21].

O pH dos vinhos analisados se manteve entre 3 e 4, dentro dos padrões normais para este tipo de bebida. Essa acidez é benéfica, uma vez que evita o crescimento de microrganismos indesejáveis como algumas espécies de bactérias produtoras de ácido acético [22], que poderiam afetar a qualidade da bebida. Para vinhos de uva, pH próximo a 3,4 está relacionado à resistência superior às mudanças oxidativas e à contaminação bacteriana quando comparados àqueles com pH próximo a 3,8 [23].

Apesar da normalidade observada nos valores de pH dos vinhos, entretanto, a acidez total das amostras variou de 147 a 265 mEq/L na safra 2022 (Tabelas 1 e 2), estando integralmente fora do preconizado pela IN14 (de até 130 mEq/L). Uma melhoria foi observada nos anos seguintes, com 22 e 63% de conformidades, respectivamente. Essa alta acidez é derivada da acidez fixa que, embora não tenha os limites superiores delimitados pela legislação, contribuiu de forma decisiva para as inadequações na acidez total das amostras analisadas.

A acidez fixa das matérias-primas uva e jaboticaba é derivada principalmente da presença de ácidos orgânicos naturais, como ácido tartárico, ácido málico e ácido cítrico [24], derivados das matérias-primas utilizadas. Portanto, altos valores de acidez nos vinhos sugerem um possível problema relacionado à colheita precoce dessas frutas,

resultando em um grau de maturação insuficiente e, como resultado, um teor de açúcares mais baixo [25].

Em 2023, os produtores foram alertados, pela equipe responsável pela análise dos “vinhos” de jaboticaba sobre os problemas que a colheita precoce da matéria-prima, pode ocasionar nas características físico-químicas do produto. Em 2024, a acidez dos vinhos diminuiu, com a maior acidez fixa registrada em 164,51 meq/L e acidez total registrada em 176,03 meq/L (A-03) (Tabela 4), indicando uma melhoria no início do processo produtivo.

A fim de confirmar a hipótese de que a alta acidez volátil dos “vinhos” de jaboticaba produzidos em Catas Altas é derivada dos frutos, os quais seriam colhidos de forma precoce, os mostos provenientes dos frutos colhidos no ano de 2023 e que deram origem aos “vinhos” analisados no ano de 2024, foram analisados e comparados aos respectivos “vinhos” produzidos por fermentação natural (Tabela 5).

Tabela 5. Qualidade dos mostos de Jabuticaba, coletados em 2023 antes da maceração (AM) e pós-maceração (PM), comparados à qualidade dos vinhos gerados

Amostra	Data da coleta	Etapa do processo	Sólidos solúveis (°Brix)	pH		Acidez Total (meq/L)	
				Mosto	“Vinho” derivado	Mosto	“Vinho” derivado
A-01	13/10	AM	11,4	3,65	3,44	142,08	161,28
A-02	14/10	AM	13	3,52	3,44	170,88	159,44
A-03	16/10	AM	11	3,71	3,41	105,6	176,03
A-04	14/10	AM	11	3,75	3,28	57,6	100,46
B-01	14/10	AM	11,2	3,65	3,58	109,44	129,95
	21/10	PM	12,2	3,46		96	
C-01	13/10	AM	9	3,49	3,39	130,56	141,00
	NI	NI	10	3,31		42,24	
	NI	NI	3,4	3,26		140,16	
C-02	06/10	AM	10,6	3,34	3,37	109,44	128,10
C-03	17/10	AM	9	3,87	3,36	76,8	133,63
C-04	19/10	AM	11,8	3,86	3,22	90,24	155,75
D-01	11/10	AM	10	3,68	3,26	105,6	94,92
	18/10	PM	13,8	3,47		65,28	
D-02	10/10	AM	10,4	3,57	3,30	86,4	94,92
	18/10	PM	12,4	3,58		67,2	
E-01	13/10	AM	10,2	3,29	3,30	149,76	123,49
	NI	PM	3,6	3,4		134,4	
E-02	13/10	AM	11,4	3,45	3,32	65,28	66,36
	21/10	PM	2,8	3,55		28,8	

F-01	19/10	AM	8,6	4,09	3,33	59,52	152,99
	28/10	PM	3,8	3,55		105,6	
F-02	28/10	AM	4,6	3,6	3,47	138,24	116,12
	04/11	PM	7,6	3,45		53,76	
G-01	13/10	AM	10,2	3,61	3,38	126,72	134,55
	20/10	PM	3,8	3,75		124,8	
G-02	15/10	AM	9,2	3,79	3,36	72,96	141,93
	22/10	PM	2,2	3,65		53,76	
H-01	23/10	AM	5	3,43	3,37	165,12	140,08
H-02	3/10	AM	6	3,62	3,37	165,12	74,65
	16/10	AM	9	3,53		86,4	
H-03	17/10	AM	10	3,62	3,41	90,24	110,59
	24/10	PM	4,6	3,72		138,24	
J-01	18/10	AM	6	3,65	3,38	182,4	102,30
K-01	14/10	AM	12,4	3,64	3,40	111,36	160,36
	22/10	PM	6,6	3,43		153,6	
K-02	15/10	AM	11,2	3,78	3,49	140,16	143,77
	23/10	PM	6,8	3,41		165,12	
K-03	16/10	AM	11	3,82	NI	134,4	NI
	24/10	PM	5	3,43		153,6	
K-04	18/10	AM	9,4	3,71	NI	96	NI
	26/10	PM	3,8	3,77		82,56	

L-01	14/10	AM	2,6	3,5	3,51	97,92	135,48
	19/10	AM	3	3,4		71,04	
	21/10	PM	12,2	3,7		101,76	
L-02	14/10	AM	8	3,46	3,57	124,8	134,55
L-03	15/10	AM	5,2	3,54	3,34	120,96	152,99
M-01	11/10	AM	9	3,14	3,20	109,44	119,81
M-02	16/10	AM	2	3,48	3,21	103,68	129,02
O-01	22/10	AM	12,2	3,74	3,50	94,08	83,87
	28/10	PM	5,4	3,67		90,24	
P-01	12/10	AM	5,2	3,52	3,43	138,24	109,67
	20/10	PM	12,2	3,32		163,2	
P-02	17/10	AM	10,4	3,65	3,44	119,04	117,96
	25/10	PM	4,8	3,59		105,6	
P-03	27/10	AM	7	3,57	3,42	147,84	112,44
	18/10	AM	6	3,32		132,48	
	03/11	PM	12,4	3,54		128,64	
P-04	20/10	AM	8	3,29	3,44	151,68	122,57
	27/10	PM	13	3,61		111,36	
Q-01	14/10	AM	6,4	3,23	3,45	61,44	117,04
	23/10	PM	10,4	3,57		142,08	

NI: não informado

Fonte. Autora et al., 2025.

Mostos com maior acidez total (182,4 meq/L) e °Brix mais elevado possuem maior concentração de ácido e açúcares, favorecendo o equilíbrio sensorial e a preservação durante o processamento. Esses mostos apresentam maior estabilidade microbiológica e potencial para fermentações controladas. Já mostos com menor acidez total (28,8 meq/L) e °Brix mais baixos têm menor intensidade sensorial e maior suscetibilidade a alterações durante o armazenamento e processamento. A relação entre acidez total e °Brix indica que a qualidade do mosto pode variar significativamente com o teor ácido, sendo essencial o controle desses parâmetros para aplicações consistentes e de alta qualidade [26].

A composição inicial do mosto exerce influência direta sobre as características finais do vinho, especialmente no que diz respeito ao teor alcoólico, pH e acidez total [27]. A amostra C-03, por exemplo, apresentou um teor alcoólico de 5,8 °GL, (Tabela 4) sendo oriunda de um mosto com apenas 9 °Brix (Tabela 5). Essa relação evidencia que mostos com baixa concentração de sólidos solúveis, especialmente açúcares fermentáveis como glicose e frutose, resultam em fermentações limitadas e, conseqüentemente, em produtos com menor graduação alcoólica. Esse fator impacta diretamente na estabilidade físico-química do vinho, uma vez que teores alcoólicos mais baixos podem torná-lo mais suscetível ao desenvolvimento microbiano, visto que o etanol exerce um papel fundamental na preservação e maturação da bebida ao atuar como agente antimicrobiano e solvente para compostos aromáticos [28].

Além da fermentação alcoólica, a acidez do mosto também desempenha um papel crucial na definição das propriedades do vinho final. Em diversas amostras, foi possível observar que um mosto com alta acidez inicial (acidez total) tende a gerar vinhos igualmente ácidos, ainda que variações ocorram durante a fermentação devido à produção ou consumo de ácidos orgânicos [29]. Como indicado na tabela 5, a amostra A-01 apresentou um mosto com pH 3,66 e acidez total de 142,06 meq/L, resultando em um vinho com pH reduzido para 3,44 e acidez total aumentada para 161,12 meq/L. Esse aumento pode estar associado à liberação de ácidos secundários, como ácido acético e málico, durante o metabolismo das leveduras. Um comportamento semelhante foi observado na amostra P-01, cujo mosto possuía uma acidez total de 163,2 meq/L e gerou um vinho com acidez ainda mais elevada, atingindo 169,67 meq/L. Esse leve acréscimo

pode ser atribuído à conversão de alguns compostos presentes no mosto ou à atividade metabólica das leveduras que contribuiu para a formação de novos ácidos orgânicos [30].

Por outro lado, algumas amostras demonstraram uma maior estabilidade da acidez ao longo do processo fermentativo, sugerindo uma conversão mínima de ácidos primários ou um equilíbrio entre a produção e o consumo de ácidos durante a fermentação. A amostra G-01 (Tabela 5) possuía um mosto com pH 3,26 e acidez total de 140,16 meq/L, enquanto o vinho correspondente apresentou um leve aumento no pH para 3,42 e acidez praticamente inalterada em 141 meq/L, evidenciando uma baixa influência do metabolismo fermentativo sobre esse parâmetro. Esse comportamento está relacionado à composição inicial do mosto. Em contrapartida, a amostra R-03 seguiu uma tendência oposta, apresentando um declínio na acidez total ao longo da fermentação. O mosto possuía pH 3,52 e acidez total de 138,24 meq/L, mas o vinho resultante demonstrou um pH ligeiramente mais baixo, 3,42, e uma acidez reduzida para 132,44 meq/L. Essa diminuição pode ser explicada pela precipitação de ácidos orgânicos ao longo do processo fermentativo ou pela conversão parcial desses compostos em substâncias voláteis. De forma geral, os dados demonstram que a acidez total do mosto exerce um papel determinante sobre o perfil ácido do vinho final, com algumas variações dependentes do metabolismo das leveduras e da conversão de ácidos orgânicos durante a fermentação. Mostos com alta acidez inicial tendem a gerar vinhos igualmente ácidos, enquanto aqueles com níveis moderados podem sofrer pequenas alterações devido ao balanço químico entre a formação e a degradação de ácidos ao longo do processo [31].

4.4 Considerações finais

4.4.1 Desafios de reconhecimento do vinho de jabuticaba relacionados à legislação brasileira

O termo “vinho”, em biotecnologia, pode ser definido como o produto do mosto fermentado. Dessa forma, na produção de cachaça o caldo de cana, após fermentação, é chamado “vinho”, termo que posteriormente dá origem ao “vinhoto”, subproduto da destilação. No Brasil, entretanto, muitas legislações foram criadas e homologadas sem que especialistas fossem consultados, levando a discrepâncias culturais e tecnológicas que causam grande prejuízo à população e indústria.

A produção, registro e comercialização de vinhos e fermentados de frutas são regulamentadas por leis que definem a denominação dos produtos e as características que devem possuir. A Lei nº 7.678, de 8 de Novembro de 1998, atualizada pela lei nº 12.959, de 2014 apresenta as definições e restrições para a fabricação e comercialização de vinhos e derivados da uva e, segundo ela, em seu Art. 3º, “vinho” é definido estritamente como “a bebida resultante da fermentação alcoólica do mosto simples de uva sã, fresca e madura”. Em vista disso, qualquer bebida alcoólica obtida a partir da fermentação de outras frutas não pode ser comercializada com a denominação “vinho”, devendo ser classificada como “fermentado de fruta” lei nº 12.959, de 2014. Essa legislação segue a legislação da maior parte dos países europeus, de onde a cultura da vinificação foi importada.

A exclusividade da denominação “vinho” para produtos derivados de uvas (Art. 3º, Parágrafo Único), protege a identidade cultural e mercadológica do vinho de uva. Por outro lado, impede que fermentados de outras frutas sejam identificados como “vinho de”, ainda que sejam produzidos por processos similares. Essa questão, representa um desafio e uma dor para produtores de outras bebidas fermentadas, como os produtores de Catas Altas. Para eles, o termo “fermentado de” possui conotação depreciativa em relação ao termo “vinho” no Brasil, sugerindo tratar de produtos de qualidade inferior. Além disso, a produção do vinho de jabuticaba em Catas Altas iniciou séculos antes da homologação da lei, impondo, de forma arbitrária e unilateral, uma série de restrições à identidade cultural local.

A legislação europeia sobre vinhos e fermentados é igualmente rigorosa e visa proteger as denominações tradicionais e geograficamente específicas, como as indicações de origem. O Regulamento (UE) nº 1308/2013, conhecido como a Organização Comum de Mercado dos Produtos Agrícolas *Organizzazione Comune di Mercato Vitivinicolo - OCM* Nel 2013, estabelece normas detalhadas para a produção e rotulagem de vinhos e outros fermentados [32]. Similarmente à legislação brasileira, outros produtos fermentados de frutas não podem ser rotulados como vinho, devendo ser classificados com base em sua matéria-prima [33];[34]. No entanto, a legislação europeia amplia a proteção para denominações geográficas, como *Champagne* ou *Porto*, protegidas por indicações de origem, assegurando exclusividade para produtos provenientes de regiões específicas [35]. Com isso, a legislação europeia determina que todas as etapas de

produção estejam registradas e atendam aos padrões estabelecidos pela União Europeia, garantindo rastreabilidade e qualidade dos produtos.

A categorização dos vinhos europeus em Denominações de Origem Protegida (DOP) e Indicações Geográficas Protegidas (IGP), garantem exclusividade de produção e rótulo a certas regiões e práticas tradicionais, promovendo sua valorização e competitividade. Enquanto a legislação brasileira se concentra na definição do vinho a partir de uma perspectiva técnica, limitando o uso da denominação aos fermentados de uva, a legislação europeia adiciona uma camada de proteção baseada na origem geográfica e nas práticas regionais tradicionais. Essa diferença impõe desafios ainda maiores para produtores brasileiros que buscam competir no mercado europeu, onde indicações geográficas e a exclusividade de regiões são altamente valorizadas. Por outro lado, o modelo europeu, nesse caso, poderia ser utilizado como ponto de partida para atualização da legislação, flexibilizando as regras de denominação para valorização dos produtos locais.

4.4.2 Avanços tecnológicos em favor da qualidade com a manutenção da tradição

As indústrias do setor de bebidas têm um interesse constante em melhorar a qualidade e o sabor de seus produtos. Para isso, é necessário adotar novas tecnologias no processo de produção. Produtos com o selo de Patrimônio Cultural do Brasil, como é o caso dos vinhos de jaboticaba de Catas Altas, devem ser produzidos a partir dos métodos de produção tradicionais registrados, utilizando técnicas artesanais. Por exemplo, a utilização de leveduras selvagens oferece uma gama variada de características sensoriais dos produtos, mas também traz desafios à padronização do produto, devido à diversidade microbiana presente. Assim, torna-se imperativo empregar processos padronizados nas etapas de produção, especialmente na fermentação, evitando a proliferação de microrganismos indesejáveis durante o processo [36].

A manutenção dos métodos tradicionais, portanto, traz desafios ao controle de qualidade e à padronização das características do produto gerado, o que impacta diretamente sua comercialização, pela constante variação na qualidade e característica do vinho. Nesse contexto, para estes produtos torna-se ainda mais essencial a aplicação das boas práticas de fabricação (BPF), em todas as etapas de produção [37].

Com o avanço tecnológico, é possível desenvolver estratégias que podem ser aplicadas no processo produtivo para a obtenção de um vinho de qualidade, sem interferências às técnicas tradicionais. Essas técnicas têm como principal objetivo auxiliar no aumento da produtividade e garantia da qualidade. Para isso, torna-se necessário o mapeamento dos processos e conhecimento dos parâmetros que possam influenciar não apenas a atividade dos microrganismos, mas também a qualidade geral dos vinhos [38]. Assim, a associação de conhecimento técnico sobre as plantas, técnicas orgânicas de cultivo, conhecimento sobre o ponto de coleta dos frutos e técnicas adequadas de colheita soma-se àquele relacionado ao processo produtivo, como uso de vasilhames de aço inoxidável, uso de toucas e máscaras para produção, além do conhecimento sobre as condições ideais de processo. A partir da formação adequada dos produtores, portanto, tem-se visíveis melhorias, refletidas no aumento do índice de conformidades dos vinhos ao longo dos anos de análise (Tabelas 4 e 5).

4.5 Conclusão

Os vinhos selvagens produzidos pelos produtores associados à Aprovart, em Catas Altas, MG, constituem um patrimônio histórico carente de maior reconhecimento, inclusive pela legislação brasileira. Uma das formas de valorizá-los se dá pelo aprimoramento e pelo aprofundamento do conhecimento relacionado à sua qualidade técnica, objetivo deste trabalho. Os vinhos de uva e jabuticaba analisados neste estudo foram parte do concurso de vinhos da Festa do Vinho realizadas nos anos de 2022, 2023 e 2024. A qualidade dos vinhos de jabuticaba tem apresentado melhorias contínuas, fruto do crescente aperfeiçoamento dos produtores por instituições como a Emater, a Aprovart e a Prefeitura de Catas Altas, parceiros indissociáveis na luta pelo reconhecimento da cultura local. Contudo, ainda há desafios para alcançar os padrões de qualidade previstos na legislação. O principal deles está relacionado à redução da acidez fixa dos frutos, o que poderá ser obtido a partir da readequação das técnicas agrícolas e do ponto de colheita. A integração de métodos tradicionais, valorizados por seu apelo cultural, com tecnologias modernas e boas práticas de fabricação, é essencial para superar desafios relacionados à padronização e controle de qualidade de produtos artesanais. Dessa forma, é possível otimizar o rendimento e garantir que o produto final atenda aos critérios técnico-sensoriais desejados, alinhando tradição e inovação no desenvolvimento sustentável desse mercado em expansão.

Agradecimentos

As melhorias alcançadas na qualidade dos vinhos de jabuticaba não seriam possíveis sem o apoio fundamental dos órgãos de fomento à pesquisa, dos dedicados produtores de Catas Altas, da Aprovar, Emater e Prefeitura Municipal de Catas Altas. Esses atores têm atuado em sinergia para garantir a valorização dos produtos e produtores locais. A todos, nosso agradecimento e compromisso pelo seu reconhecimento.

Referências bibliográficas

1. de Podestá M. Arca do Gosto: Minas Gerais - 100 alimentos da sociobiodiversidade. 2021. p. 528–535.
2. de Oliveira JB, Rodrigues SC, Menezes HC, de Souza PP, Cardeal Z de L. Volatilome Study of Jabuticaba (*Plinia cauliflora*) Using a Hydrophilic Microporous Cartridge with Direct Immersion Solid Phase Microextraction and Gas Chromatography System With a Hybrid Quadrupole Time-Of-Flight Mass Spectrometry. *J Sep Sci*. 2024 Dec 1;47(23).
3. Borges ÁM, Orey DC. A Etnomodelagem na Produção de Vinho: Diálogos entre os Saberes Matemáticos Locais e os Conhecimentos Matemáticos Escolares. *J Math Cult*. 2023;(1):17.
4. Ferreira Bernardino Í, Preto O. Universidade Federal De Ouro Preto Departamento De História Graduação Em Bacharelado Em História Entre Sabores E Saberes: Um Mapeamento Da Eficácia Do Icms Cultural Para A Proteção Do Patrimônio Imaterial Da Cidade De Catas Altas Trabalho De Conclusão De. Ouro Preto; 2024.
5. Catas Altas e o vinho. Territórios Gastronômicos, em junho 3, 2019. [Internet]. 2019 [cited 2024 Nov 15]<<https://territoriosgastronomicos.uai.com.br/2019/06/03/catas-altas-e-o-vinho/>>. Acesso em: 15 nov.2024.
6. Melo-Silva, G.; Emmendoerfer, M. L.; Araújo, J. F. E. F. De. Desenvolvimento de produtos tradicionais artesanais e destinos turísticos regionais no contexto da indústria criativa. *Caderno Virtual de Turismo*. Rio de Janeiro. 2017 Dec; 17(3): 131-147.
7. Leite Cavalcanti B, de Oliveira F, Paiva S, Rabelo Dias V, da Costa P, Kaelinne S, et al. Universidade Federal da Paraíba [Internet]. 6(1). *Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada*; 2006. 5764 p. Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63760110>

8. Codony F, Agustí G, Barreto L, Asensio D. Relevance of Secondary Enrichment in the Detection of Salmonella spp. in Food Samples by qPCR According to DIN 10135. *Journal of AOAC International*. 2024 Mar 1;107(2):371–4.
9. Horwitz W. Official methods of analysis of AOAC International. AOAC International; 2006.
10. Darias-Martín J, Socas-Hernández A, Díaz-Romero C, Díaz-Díaz E. Comparative study of methods for determination of titrable acidity in wine. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2003;16(5):555–62.
11. Internationale La Vigne O DE, Vin D. Recueil Des Methodes Internationales D'analyse Des Vins Et Des Mouts. 2021st ed. Paris: ORGANISATION INTERNATIONALE DE LA VIGNE ET DU VIN - OIV; 1969.
12. Tavares S, Wilker É, Almeida A, Santos D, Coordenador A, et al. Elaborado por: Victor de Souza Tavares. 26 Apr 2019.
13. Cecchi H M. Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos. Editora da UNICAMP. 2003.
14. Carlos J, Mauricio G, Jesús J, Camacho R. Tesis Doctoral Programa de Doctorado: Biociencias y Ciencias Agroalimentarias [Internet]. Available from: <https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/>
15. Mota J, Vilela A. Exploring Microbial Dynamics: The Interaction between Yeasts and Acetic Acid Bacteria in Port Wine Vinegar and Its Implications on Chemical Composition and Sensory Acceptance. Vol. 10, Fermentation. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2024.
16. Kubizniaková P, Kyselová L, Brožová M, Hanzalíková K, Matoulková D. The role of acetic acid bacteria in brewing and their detection in operation. *KVASNY PRUMYSL*. 2021; 67(5): 511-522.
17. Yi L, Hui L, Xinlei H, Chenhao Z, Ling G, Zhenyu W, Xiaole X. Unraveling the Metabolic Behavior and Interspecific Interaction Pattern of Lactic Acid Bacteria within Chinese Rice Wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2024; 72 (26): 14899-14911.
18. Scutarașu EC, Teliban IV, Zamfir CI, Luchian CE, Colibaba LC, Niculaua M, Cotea VV. Effect of Different Winemaking Conditions on Organic Acids Compounds of White Wines. *Foods*. 2021; 10(11): 2569.
19. Török DF. Machine Learning for Predicting Wine Quality and its Key Determinants Based on Physicochemical Properties. *Sage Science Review of Applied Machine Learning*. 2023; 6(11): 1–21.

20. Rizzon LA. Metodologia para análise de vinho / editor técnico– Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2010; 120.
21. Vicente J, Baran Y, Navascués E, Santos A, Calderón F, Marquina D, et al. Biological management of acidity in wine industry: A review. *Int J Food Microbiol.* 2022 Aug 16;375:109726.
22. Tedesco F, Siesto G, Pietrafesa R, Romano P, Salvia R, Scieuzo C, Falabella P, Capece A. Chemical Methods for Microbiological Control of Winemaking: An Overview of Current and Future Applications. *Beverages.* 2022; 8 (3): 58.
23. Aquarone E, Borzani W, Schmidell W, Lima U A. *Biotecnologia Industrial.* São Paulo: Edgard Blucher, São Paulo; 2001. v. 4, 1 Ed. p. 523.
24. Tsegay ZT. Total titratable acidity and organic acids of wines produced from cactus pear (*Opuntia-ficus-indica*) fruit and Lantana camara (*L. Camara*) fruit blended fermentation process employed response surface optimization. *Food Sci Nutr.* 2020 Aug 1;8(8):4449–62.
25. Kalopesa E, Karyotis K, Tziolas N, Tsakiridis N, Samarinas N, Zalidis G. Estimation of Sugar Content in Wine Grapes via In Situ VNIR–SWIR Point Spectroscopy Using Explainable Artificial Intelligence Techniques. *Sensors.* 2023; 23(3): 1065.
26. Li B, Wang J, Zhang R. Detection and analysis of electrochemical signals in wine fermentation process. *Food Measure.* 2023; 17: 5103–5109.
27. Van Leeuwen C. Terroir: The effect of the physical environment on vine growth, grape ripening, and wine sensory attributes. *Manag Wine Qual Vol One Vitic Wine Qual.* 2022 Jan 1;341–93.
28. Mas A, Portillo MC. Strategies for microbiological control of the alcoholic fermentation in wines by exploiting the microbial terroir complexity: A mini-review. *Int J Food Microbiol.* 2022 Apr 16;367:109592.
29. Dennis-Eboh U, Achuba FI, George BO. Wine Making: Influence of pH on Physicochemical Parameters of Wine Must Produce from Hot Water Extract of Broom-cluster Fig (*Ficus capensis*) Leaf using *Saccharomyces cerevisiae*. *J Appl Sci Environ Manag.* 2023 Jan 31;27(1):177–82.
30. Nardi T, Romano P. The changing role of Women in Food Microbiology: the case history of wine microbiologists in Italy. Vol. 14, *Frontiers in Microbiology.* Frontiers Media SA; 2023.
31. Vicente J, Baran Y, Navascués E, Santos A, Calderón F, Marquina D, et al. Biological management of acidity in wine industry: A review. *Int J Food Microbiol.* 2022 Aug 16;375:109726.

32. Unione Europea. Regulamento (ue) n. 1308/2013 del parlamento europeo e del consiglio. CEE. 2013.
33. Brasil, 2014. Base Legislação da Presidência da República - Lei no 12.959 de 19 de março de 2014. Presidencia.gov.br. [Internet]. 2014 [cited 2024 Nov 15]. Available from: <<https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=12959&ano=2014&ato=71boXRE9ENVpWTde1#:~:text=ALTERA%20A%20LEI%20N%C2%BA%207.678,A%20FISCALIZA%C3%87%C3%83O%20DO%20ESTABELECIMENTO%20PRODUTOR>>
34. Brasil, 2014. Legislação de Vinhos e Bebidas. Ministério da Agricultura e Pecuária. Decreto nº 8.198, de 20 de fevereiro de 2014. [Internet]. 2014 [cited 2024 Nov 16]. Available from: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-de-produtos-origem-vegetal/bebidas#:~:text=Os%20vinhos%20e%20derivados%20da,20%20de%20fevereiro%20de%202014.>>
35. Checchinato F, Finotto V, Mauracher C, Rinaldi C. Spreading the gains from geographical indications: A longitudinal study on the extension of the Prosecco GI. *J Rural Stud.* 2024 Jul 1;109:103336.
36. Pinto L, Baruzzi F, Cocolin L, Malfeito-Ferreira M. Emerging technologies to control *Brettanomyces* spp. in wine: Recent advances and future trends. *Trends in Food Science & Technology.* 2020; 99: 88-100.
37. Neves N.A, Stringheta PC, García-Romero E, Gómez-Alonso S. Elaboration and characterization of jabuticaba alcoholic fermented (*Plinia jaboticaba*) handcrafted. *Research, Society and Development.* 2021; 10(4): 3010413799.
38. de Oliveira JB, Rodrigues SC, Menezes HC, de Souza PP, Cardeal Z de L. Volatilome Study of Jabuticaba (*Plinia cauliflora*) Using a Hydrophilic Microporous Cartridge with Direct Immersion Solid Phase Microextraction and Gas Chromatography System With a Hybrid Quadrupole Time-Of-Flight Mass Spectrometry. *J Sep Sci.* 2024 Dec 1;47(23).
39. Brasil, 1998. Legislação de Vinhos e Bebidas. Ministério da Agricultura e Pecuária. Lei nº 7.678, de 8 de novembro de 1988. [Internet]. 1988 [cited 2025 Jan 15]. Available from: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1980-1988/17678.htm#:~:text=2%C2%BA%20Os%20vinhos%20e%20derivados,pelo%20%C3%B3rg%C3%A3o%20indicado%20no%20regulamento>
40. Brasil, 2018. Legislação de Vinhos e Bebidas. Ministério da Agricultura e Pecuária. Instrução normativa nº 14, de 08 de fevereiro de 2018. [Internet]. 2018 [cited 2025 Jan 22]. Available from < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa->

atualiza-padroes-de-vinho-uva-e-derivados/INMAPA142018PIQVinhoseDerivados.pdf=>

5. Capítulo 3

Wild Yeasts in Wine Production: Exploration for the Development of New Products

Abstract

In this study, 63 jabuticaba's musts, collected in 2023 from the Catas Altas region, MG, were used to screen yeasts with fermentative potential. Forty-nine isolates were characterized based on morphological traits and screened for their ability to grow in media containing glucose (0 to 35% w/v), ethanol (0 to 18% v/v), or sodium metabisulfite (0 to 200 mg/L). Subsequently, they were identified by sequencing the ITS - Internal Transcribed Spacer region. The 20 most resistant isolates were used for the fermentation of grape must at 16 °Brix for seven days at 18 °C. The process was monitored by measuring levels of reducing sugars, free amino nitrogen, ethanol, and acetic acid concentrations. The main species isolated from the musts were *Saccharomyces cerevisiae* (35%), *Hanseniaspora guilliermondii* (15%), and *Kurtzmaniella quercitrusa* (15%). The isolates G-011 (*Saccharomyces cerevisiae* NRRL Y-12632), G-041 (*Kurtzmaniella quercitrusa* CBS 4412), and C-032 (*Kurtzmaniella quercitrusa* CBS 4412) stood out due to their balance between high or moderate alcohol production and low production of organic acids, measured by HPLC (glucose, fructose, glycerol, acetic acid, methanol, ethanol, citric acid, tartaric acid, and malic acid), as well as their resistance to stress under different parameters (osmotolerance, ethanol resistance, and sodium metabisulfite resistance), making them promising candidates for winemaking. The results reinforce the importance of rigorous yeast selection to enhance wine quality.

Keywords: Biotechnology; Wild Wine; Jabuticaba; Yeast isolation; Fermentation; Wine production.

5.1 Introduction

Throughout centuries, wine has solidified its status as a universal cultural symbol, permeating religious, social, and artistic traditions, while serving as a foundation for the economy and identity of various regions worldwide [1]. The impact of wine extends beyond consumption; it has shaped landscapes, driven regional development, and established excellence standards linked to its origins, contributing to gastronomy and tourism [2].

Despite its successful historical and economic trajectory, the potential for innovation in the wine sector remains largely unexplored, especially in applied microbiology and fermentation. Fermentation, as one of the most critical stages of wine production, fundamentally depends on the action of yeasts and, occasionally, bacteria. Large-scale production has traditionally favored commercial selected yeasts due to their predictability and efficiency. However, recent studies highlight the importance of wild yeasts, which offer a promising alternative for enological diversification and terroir appreciation [3, 4].

Wild or indigenous yeasts, naturally present in specific winemaking environments, possess unique metabolic characteristics that directly influence wine's sensory attributes, such as aroma, flavor, and texture. Furthermore, their use can contribute to valuing local microbial biodiversity, reinforcing the identity and authenticity of wines from a given region. Research indicates that these yeasts can produce distinct aromatic compounds and reduce defects associated with uncontrolled fermentations, representing an opportunity for the production of distinctive, high-quality wines [5].

The Catas Altas region in Minas Gerais has a rich winemaking tradition essential to the local economy and national culture. Despite its historical and cultural significance, many intrinsic aspects of this region remain underexplored, including local raw materials, production processes, and the specificities of its products. This knowledge gap represents an opportunity for discovering new resources and practices capable of driving innovation and diversification in the wine industry. One of the untapped potentials in Catas Altas is its microbial biodiversity, particularly regarding wild yeasts associated with alcoholic fermentation. The presence of indigenous yeasts in the production of wines and

derivatives, such as jabuticaba wine, presents an opportunity to imprint distinctive sensory characteristics while adding value to local production [6].

This approach not only reinforces the regional identity of wines but also meets the growing global market demand for authentic and sustainable products. In this context, this research aimed to explore the microbial diversity of the Catas Altas region, with an emphasis on identifying wild yeast strains and their enological applications in red wine production. Besides seeking technological and qualitative innovations, the study also aimed to enhance Catas Altas' winemaking heritage, contributing to the region's socioeconomic development. By documenting and deepening the knowledge of local natural resources and winemaking practices, this study aims to boost the competitiveness of the wine industry and strengthen its contribution to Brazil's culture and economy [6].

5.2 Methodology

5.2.1 Yeast Isolation

Sixty-three jabuticaba must produced in 2023 in the Catas Altas region were collected, frozen, identified, and delivered to the Biochemical and Fermentative Processes Laboratory at the Department of Food Technology, UFV, in November 2023. These musts were used as a source of microorganisms for screening yeasts with fermentative potential.

Microorganisms were isolated from 1 mL aliquots of each wine, which were spread-plated on Petri dishes containing Potato Dextrose Agar (PDA) supplemented with 1% w/v tartaric acid. The Petri dishes were inverted and incubated at 28 °C for 48 h to allow colony growth. Visually distinct colonies on each plate were successively streaked onto the same medium until pure cultures were obtained, confirmed by optical microscopy (MODEL BX41TF 100-120 / 220-240 V~ 0.8/0.4 A 50/60 Hz No.1J16239) at 40X magnification. A microorganism was considered isolated when it generated uniform-appearing colonies composed of morphologically identical individuals [7].

The isolates were multiplied in liquid YM medium (0.5% malt extract, 0.3% yeast extract, and 2% dextrose), pH 5.0. Cells were recovered by centrifugation, washed, and resuspended in YM medium containing 20% sterilized glycerol, then stored at -20 °C [8].

For each test, a tube was thawed and reactivated in liquid YM medium using 50 mL Falcon tubes (CRALPLAST®), incubated at 28 °C for 24 h. A Neubauer chamber was used to verify an initial concentration of 10⁶ CFU/mL before proceeding with further experimental analyses.

5.2.2 Morphological Analysis

Morphological analysis was performed using optical microscopy with methylene blue staining to verify viability, budding, and cell size and shape. A 10 µL aliquot of yeast suspension (activated in liquid YM medium) was placed on a glass slide, followed by 10 µL of 10% methylene blue. The dye was allowed to act for one to two minutes before covering with a coverslip and observing under a 40X optical microscope. Viable cells appeared colorless due to active metabolism that excluded the dye, whereas non-viable cells stained blue due to membrane permeability loss. Cell morphology characteristics, such as shape (oval, spherical, or elongated), budding presence, and pseudohyphal chain formation in certain species, were recorded [9]. Photographic records of the 49 yeast isolates were taken, with emphasis given to the 20 strains selected during yeast screening.

5.2.3 Identification of Isolates

The 49 isolates were identified through sequencing of the ITS (Internal Transcribed Spacer) region; this step was carried out by the Laboratory of Taxonomy, Biodiversity, and Biotechnology at the Institute of Biological Sciences of UFMG, coordinated by Professor Carlos Rosa. The obtained sequences were compared with yeast sequences stored in the NCBI (National Center for Biotechnology Information) genome database (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). Identification was conducted considering nucleotide similarity and the extent of correspondence with reference sequences, allowing for the assignment of their genus and, when possible, their corresponding species.

5.2.4 Stress Tolerance Test

The 49 isolates were exposed to media containing different concentrations of glucose, ethanol, and sodium metabisulfite to evaluate their ability to withstand and maintain metabolism under conditions common to fermentation processes. For this, treatments were performed independently, following the design:

1. **Osmotolerance test:** Grape juice (Campo Largo brand, batch L4330), with a content of 0; 15; 20; 25; 30, and 35% w/v glucose in a 1:1 ratio, where glucose was added to the must proportionally to its initial sugar content, and the 0% content was carried out in the absence of grape juice must.
2. **Ethanol tolerance test:** Grape juice (Campo Largo brand, batch L4330), enriched with 16% w/v sucrose, containing ethanol at 0; 4; 8; 12, and 18% v/v.
3. **Sulfite tolerance test:** Grape juice (Campo Largo brand, batch L4330), enriched with 16% w/v sucrose, without ethanol, and supplemented with 0; 50; 100; 150, and 200 mg/L sodium metabisulfite.

Each treatment was performed in triplicate. The tests were conducted in 96-well plates, where each well corresponded to a replicate (n) of a treatment. The plates were incubated in a microplate reader at 20 °C for 72 h, during which microbial growth was monitored every 30 min by measuring absorbance (600 nm) [10].

To characterize the effect of different concentrations of glucose, ethanol, and sodium metabisulfite on yeast growth, growth curves were generated from absorbance data over time. From these curves, kinetic parameters such as maximum optical density (DO_{max}), adaptation time (lag phase), and specific growth rate (μ) were determined. Treatment effects were compared using analysis of variance (ANOVA), followed by Tukey's test at a significance level of 5% ($p < 0.05$). Statistical analyses were performed using OriginLab® software.

5.2.5 Evaluation of Fermentative Potential of Isolates

The grape must used for the fermentation test was produced from commercially available grape juice (Campo Largo brand, batch L4330). The total soluble solids content (°Brix) of the must was measured throughout the fermentation period (7 days), following the experimental protocol conducted by Yaa'ri [11]. Then, 150 mg/L of potassium metabisulfite was added to the must to inhibit the growth of wild microorganisms.

The prepared must was inoculated with the isolated microorganisms from wild wines that showed fermentative potential. These were pre-activated and inoculated separately in sufficient quantity to reach a concentration of at least 10^6 cells per milliliter in the must. Fermentation took place in fermentation incubators (BOD) at a controlled temperature of 18 °C to ensure effective extraction of color and tannins. The liquid was

stirred twice daily for three consecutive days at the start of fermentation to promote maceration of these compounds. Fermentation was monitored daily for total sugar concentration (°Brix), reducing sugar concentration (DNS), and free amino nitrogen (FAN) concentration in the samples. For the analysis of organic compounds by HPLC, the process was repeated using biological duplicates, and after beverage stabilization, they were characterized by glucose, fructose, glycerol, acetic acid, methanol, ethanol, citric acid, tartaric acid, and malic acid content [12].

5.2.5 Analytical Methods

Determination of Reducing Sugars

According to Cioch-Skoneczny [13], reducing sugars were determined using the 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) method. A standard curve was prepared with glucose solutions of known concentrations ranging from 0.1 g/L to 2 g/L. These solutions were distributed in test tubes for subsequent analysis. Then, 50 μ L aliquots of fermented grape juice samples were pipetted into separate 2 mL Eppendorf tubes. In each Eppendorf containing samples or standards, 150 μ L of DNS reagent was added. The tubes were heated in a water bath at 90°C for ten minutes to promote the reaction between reducing sugars and the reagent. After heating, the tubes were cooled in an ice bath for 10 minutes. Subsequently, sample and standard absorbance were measured in a spectrophotometer set to 540 nm. The standard curve equation obtained was used to calculate the reducing sugar concentration in the samples.

Measurement of Free Amino Nitrogen (FAN)

To determine the protein content in grape must, the Nilidrina/FAN method was applied, following Abernathy [14]. A standard curve was prepared using protein standard solutions of known concentrations (0.05 g/L to 2 g/L). These solutions were transferred to test tubes for analysis. Aliquots of 15 μ L of fermented grape juice samples were pipetted into 2 mL Eppendorf tubes, to which 100 μ L of Nilidrina/FAN reagent was added. The Eppendorf tubes were heated in a water bath at 90 °C for ten minutes to allow the reaction between proteins and the reagent. After heating, 1.4 mL of cold distilled water was added to stop the reaction. Absorbance was then measured at 570 nm. Using the standard curve, the concentration of proteins in the samples was determined.

Determination of Organic Acids by HPLC

The methodology for quantifying glucose, fructose, glycerol, acetic acid, methanol, ethanol, citric acid, tartaric acid, and malic acid used High-Performance Liquid Chromatography (HPLC). The procedure began with sample collection in sterile test tubes to ensure integrity. Samples were filtered through 0.2 µm filters to remove solid particles. Analyses were conducted at the Laboratory of Molecular Biotechnology, Department of Biochemistry and Molecular Biology, Federal University of Viçosa, Brazil, under the coordination of Professor Luciano Gomez Fietto. Samples submitted to HPLC corresponded to biological duplicates of the previously processed yeasts. After preparation, samples were sent for analysis [15].

5.2.6 Statistical Analysis

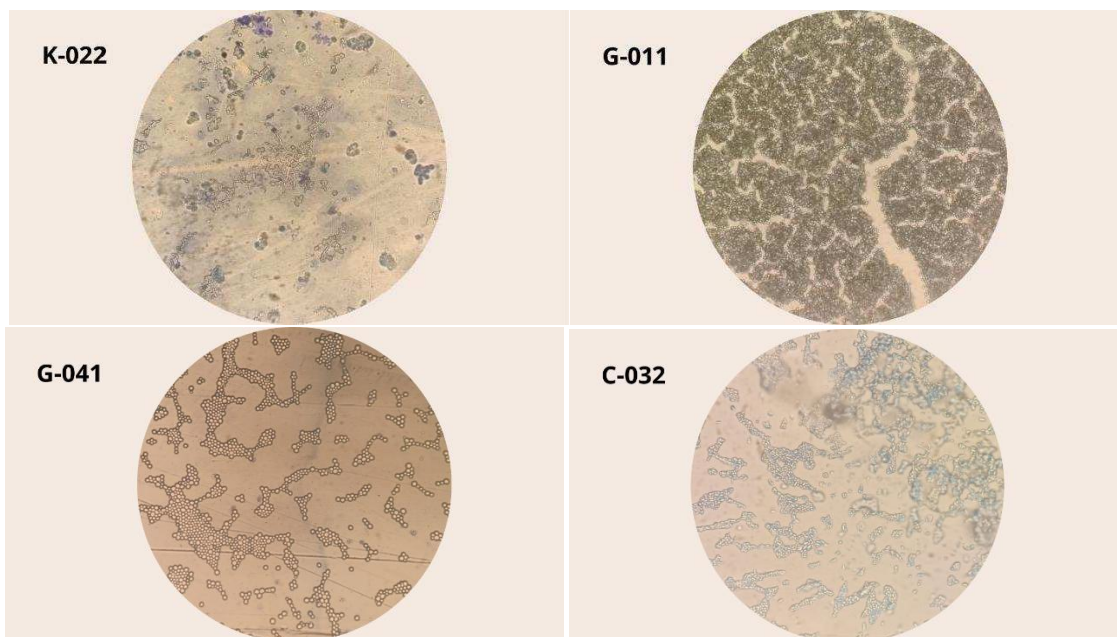
Results are presented as the means of three replicates. Means in the same column sharing the same letter do not show statistically significant differences according to Tukey's test ($p < 0.05$). ANOVA was performed for the evaluation of 20 treatments for the analysis of organic compounds by HPLC. Each sample was analyzed in biological duplicate, and the average value of duplicate yeast measurements was used for statistical analysis [12]. Statistical analyses allowed for a deeper understanding of differences between wine samples and relationships among variables, contributing to a comprehensive evaluation of the experiments using OriginLab® software [16].

5.3 Results and discussion

Forty-nine yeasts were isolated from the 63 must collected and submitted to morphological analysis by light microscopy and subsequent molecular identification. The morphological analysis revealed a diversity of cell characteristics among the isolates, with variations in the shape, size and aggregation pattern of the cells. Some yeasts showed dispersed growth, while others showed the formation of cell chains or pseudohyphal structures. Microscopic images of strains K-022 (*Metschnikowia orientalis* UWO(PS)); G-011 (*Saccharomyces cerevisiae* NRRL Y-12632), G-041 (*Kurtzmaniella quercitrusa* CBS 4412), C-032 (*K. quercitrusa* CBS 4412), illustrate some of these morphological differences (Figure 1). Isolate K-022, for example, showed irregularly shaped cells and scattered clusters, while G-011 showed highly branched growth, suggesting a behavior characteristic of certain fermentative species. G-041, on the other hand, showed a more

homogeneous cellular organization, with rounded cells arranged in aggregate patterns. While strain C-032 showed greater cell dispersion and more elongated cells, which is typical of the *Kurtzmaniella* spp. genus [17].

Figure 1. Morphology of yeasts isolated from jaboticaba must. K-022 (*Metschnikowia orientalis*) G-011 (*Saccharomyces cerevisiae*), G-041 (*Kurtzmaniella quercitrusa*), and C-032 (*Kurtzmaniella quercitrusa*).



Fonte. Autora, 2023.

Molecular identification of the isolates was carried out by DNA sequencing, allowing species to be determined and their similarity to strains deposited in the database: NCBI - National Center for Biotechnology Information (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). The results indicated the presence of different yeast species, *Hanseniaspora guilliermondii*, *Meyerozyma carpophila*, *K. quercitrusa*, *S. cerevisiae*, *Pichia terricola* and *Metschnikowia orientalis*. Among the isolates identified as *S. cerevisiae*, the similarity with the reference strain NRRL Y-12632 varied between 99 and 100%, confirming their identity with high reliability (Table 1).

Table 1. Alignment of isolate sequences via Blast® software.

Isolate	Species	Strain	Access	Identity	Gaps
B-012	<i>Hanseniaspora guilliermondii</i>	CBS:465	KY107797.1	538/541(99%)	0/541(0%)
C-011	<i>Hanseniaspora guilliermondii</i>	CBS:465	KY107797.1	535/538(99%)	0/538(0%)
C-012	<i>Meyerozyma carpophila</i>	CBS 5256	MK394110.1	494/494(100%)	0/494(0%)
C-031	<i>Kurtzmaniella quercitrusa</i>	CBS 4412	MK394107.1	545/546(99%)	0/546(0%)
C-032	<i>Kurtzmaniella quercitrusa</i>	CBS 4412	MK394107.1	529/531(99%)	0/531(0%)
C-042	<i>Meyerozyma carpophila</i>	CBS 5256	MK394110.1	536/537(99%)	0/537(0%)
O-011	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	NRRL Y-12632	NG_042623.1	551/551(100%)	0/551(0%)
O-012	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	NRRL Y-12632	NG_042623.1	550/551(99%)	0/551(0%)
G-011	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	NRRL Y-12632	NG_042623.1	496/496(100%)	0/496(0%)
G-012	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	NRRL Y-12632	NG_042623.1	492/492(100%)	0/492(0%)
G-021	<i>Pichia terricola</i>	CBS:2617	KY108920.1	472/474(99%)	0/474(0%)
G-022	<i>Hanseniaspora guilliermondii</i>	CBS:465	KY107797.1	514/519(99%)	0/519(0%)
G-041	<i>Kurtzmaniella quercitrusa</i>	CBS 4412	MK394107.1	529/531(99%)	0/531(0%)
K-021	<i>Pichia terricola</i>	CBS:2617	KY108920.1	517/521(99%)	0/521(0%)
K-022	<i>Metschnikowia orientalis</i>	UWO(PS)99-733.2	AF313363.1	297/333(89%)	12/333(3%)
K-031	<i>Candida railenensis</i>	CBS:8164	KY106716.1	491/493(99%)	1/493(0%)
K-041	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	NRRL Y-12632	NG_042623.1	537/538(99%)	0/538(0%)
L-042	<i>Sequenciamiento incompleto</i>	-	-	-	-
M-011	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	NRRL Y-12632	NG_042623.1	495/495(100%)	0/495(0%)
JP14	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	S2-6	KU862641.1	100%	0%

Source: Author, 2025.

Among the isolates analyzed, K-022 showed the lowest percentage of identity (89%) with the *M. orientalis* UWO(PS)99-733.2 strain, as well as a relatively high number of gaps in the sequence (12/333), which suggests the possibility of genetic variations within the species or even the presence of a distinct strain. Isolate L-042 could not be identified due to sequencing problems, requiring further analysis to confirm its identity. Given the screening of yeasts with fermentative potential, it was concluded that 20 treatments would be used from an initial figure of 49 isolated yeasts, the exclusion of yeasts was made on the basis of the repetition of yeast species treated, other factors such as resistance to stress and fermentative capacity were not excluded, since the research was based on deepening the interaction of wild yeasts from jabuticaba must with commercial grape must.

5.3.1 Stress tolerance test

Under the stress conditions evaluated, osmotic tolerance proved to be a determining factor in the selection of strains. As shown in Table 2 and Figure 2, strain G-041 stood out consistently in glucose concentrations between 15% and 25%, confirming resistance in sugar-rich media. Strain C-032 also showed promising performance, particularly at concentrations of 20% to 30%, demonstrating its adaptability in environments with a higher concentration of sugars. On the other hand, K-021 showed inferior performance in all concentrations, indicating a significant limitation for applications in media with a high sugar content, which compromises its industrial viability. According to Carrasco [18] the strains can show considerable tolerance to the stress caused by glucose deprivation, with the cells maintaining growth for some time, possibly due to the use of accumulated glycogen. This analysis can be related to the osmotolerance of the strains studied in this experiment.

Table 2. Specific growth speed (h^{-1}) of the wild yeasts isolated from Jabuticaba must under different concentrations of glucose as the stress factor. The results shown are the average of three replicates. Averages in the same column that share the same letter do not show statistically significant differences according to Tukey's test ($p < 0.05$).

Isolate	Species	Glucose concentration (m/v)					
		0%	15%	20%	25%	30%	35%
G-021	<i>Pichia terricola</i>	0,397 ± 0,03 a	0,309 ± 0,098 ab	0,351 ± 0,01 a	0,469 ± 0,05 a	0,263 ± 0,04 b	0,263 ± 0,12 b
K-022	<i>Metschnikowia orientalis</i>	0,258 ± 0,01 b	0,396 ± 0,03 a	0,295 ± 0,09 b	0,383 ± 0,06 a	0,289 ± 0,07 b	0,204 ± 0,13 bc
G-011	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,307 ± 0,1 b	0,156 ± 0,04 cd	0,279 ± 0,07 b	0,392 ± 0,05 a	0,211 ± 0,15 bc	0,226 ± 0,09 bc
C-031	<i>Kurtzmaniella quercitrusa</i>	0,369 ± 0,12 a	0,151 ± 0,03 cd	0,109 ± 0,17 cd	0,311 ± 0,08 ab	0,396 ± 0,05 a	0,196 ± 0,06 c
L-042	-	0,451 ± 0,13 a	0,295 ± 0,06 b	0,426 ± 0,02 a	0,381 ± 0,07 a	0,192 ± 0,08 c	0,231 ± 0,04 b
K-041	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,268 ± 0,03 b	0,248 ± 0,16 bc	0,355 ± 0,01 a	0,209 ± 0,17 bc	0,247 ± 0,16 bc	0,268 ± 0,1 b
G-041	<i>Kurtzmaniella quercitrusa</i>	0,213 ± 0,02 bc	0,382 ± 0,17 a	0,416 ± 0,04 a	0,412 ± 0,07 a	0,375 ± 0,04 a	0,195 ± 0,02 c
K-021	<i>Pichia terricola</i>	0,267 ± 0,08 b	0,307 ± 0,01 ab	0,437 ± 0,03 a	0,177 ± 0,09 c	0,176 ± 0,05 c	0,171 ± 0,07 c
G-012	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,451 ± 0,08 a	0,276 ± 0,03 b	0,197 ± 0,13 c	0,396 ± 0,02 a	0,268 ± 0,09 b	0,129 ± 0,12 c
G-022	<i>Hanseniaspora guilliermondii</i>	0,331 ± 0,02 a	0,418 ± 0,14 a	0,319 ± 0,03 b	0,429 ± 0,09 a	0,169 ± 0,04 c	0,262 ± 0,01 b
O-012	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,426 ± 0,09 a	0,195 ± 0,03 c	0,347 ± 0,05 ab	0,439 ± 0,02 a	0,207 ± 0,07 c	0,278 ± 0,07 b
M-011	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,419 ± 0,06 a	0,384 ± 0,04 a	0,332 ± 0,07 ab	0,357 ± 0,07 a	0,249 ± 0,08 b	0,215 ± 0,03 bc
B-012	<i>Hanseniaspora guilliermondii</i>	0,384 ± 0,09 a	0,324 ± 0,05 ab	0,392 ± 0,07 a	0,274 ± 0,05 b	0,298 ± 0,08 b	0,327 ± 0,04 ab
O-011	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,319 ± 0,04 ab	0,418 ± 0,09 a	0,412 ± 0,03 a	0,348 ± 0,02 a	0,283 ± 0,05 b	0,263 ± 0,11 b

C-012	<i>Meyerozyma carpophila</i>	0,331 ± 0,04 ab	0,274 ± 0,05 b	0,352 ± 0,06 a	0,319 ± 0,08 ab	0,331 ± 0,07 ab	0,328 ± 0,08 ab
C-032	<i>Kurtzmaniella quercitrusa</i>	0,397 ± 0,06 a	0,372 ± 0,07 a	0,395 ± 0,07 a	0,426 ± 0,09 a	0,368 ± 0,07 a	0,401 ± 0,02 a
C-042	<i>Meyerozyma carpophila</i>	0,227 ± 0,08 bc	0,394 ± 0,09 a	0,359 ± 0,08 a	0,396 ± 0,07 a	0,211 ± 0,03 bc	0,301 ± 0,08 ab
K-031	<i>Candida railenensis</i>	0,216 ± 0,04 bc	0,368 ± 0,05 a	0,369 ± 0,09 a	0,362 ± 0,01 a	0,248 ± 0,04 bc	0,227 ± 0,09 bc
C-011	<i>Hanseniaspora guilliermondii</i>	0,417 ± 0,03 a	0,289 ± 0,13 b	0,227 ± 0,01 b	0,354 ± 0,08 a	0,298 ± 0,03 b	0,392 ± 0,07 a
Control (JP14)	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,234 ± 0,16 b	0,301 ± 0,04 b	0,345 ± 0,17 ab	0,367 ± 0,02 a	0,324 ± 0,09 ab	0,252 ± 0,02 b

Source. Author, 2025.

Figure 2. Growth curves of the wild yeasts isolated from Jaboticaba must under different concentrations of glucose as the stress factor. The results shown are the average of three repetitions. Graphs created using OriginLab® software.

Source. Author, 2025.

In addition to the content of aromatic compounds, several technological characteristics are considered when selecting yeasts for winemaking, which have an impact on the efficiency of the fermentation process, such as tolerance to ethanol and sulfite. In relation to tolerance to different concentrations of ethanol [19]. Indicated by Table 3 and Figure 3, strain G-041 again showed high efficiency, excelling at concentrations of 8% and 12%, while C-012 showed good adaptation over a wider range, from 4% to 12%. The resilience of these strains to high levels of ethanol makes them ideal for winemaking, where high concentrations of this compound are inherent to the process. In contrast, G-011 performed poorly at most concentrations, suggesting low viability in fermentations aimed at producing high-alcohol wines. High levels of ethanol end up inhibiting the production of yeast cells. However, yeasts have several effective mechanisms to repair damage caused by ethanol and improve their tolerance to the compound [20].

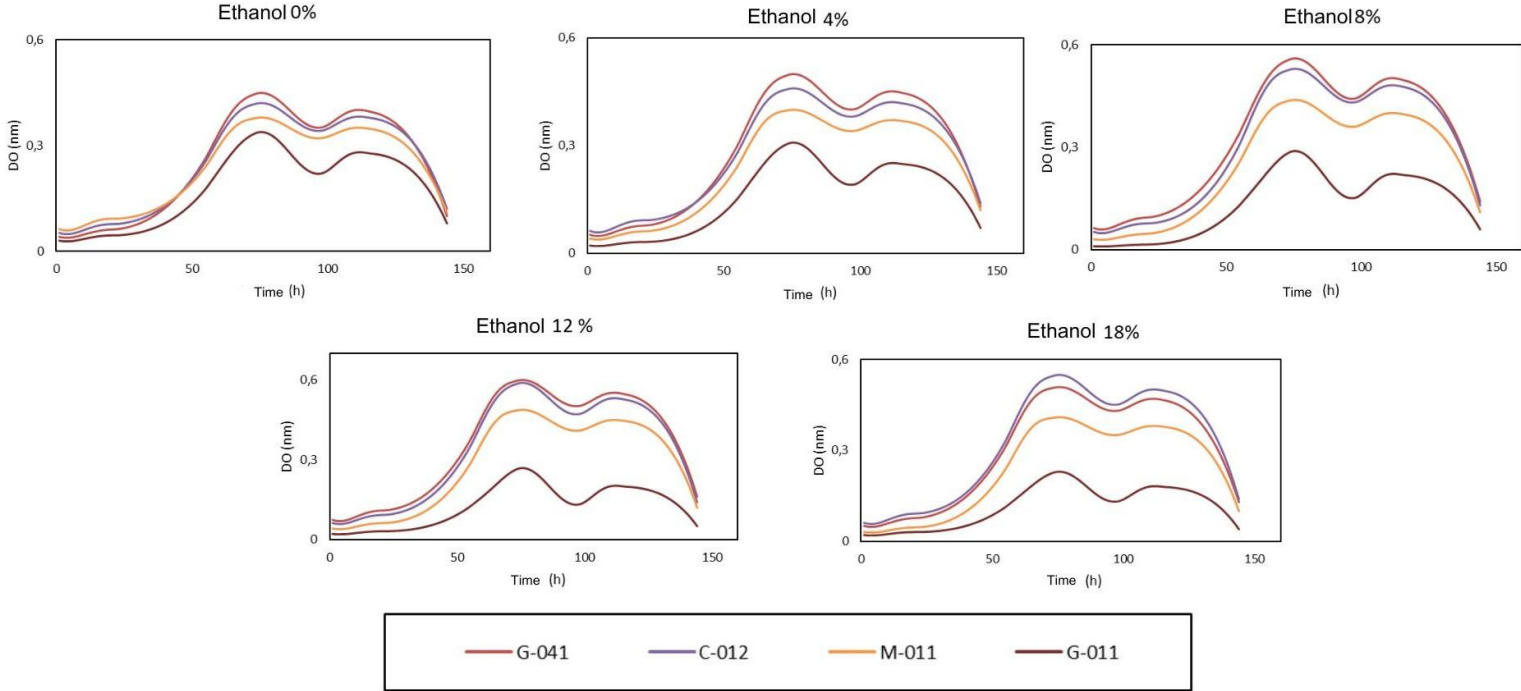
Table 3. Specific growth speed (h^{-1}) of the wild yeasts isolated from Jabuticaba must under different concentrations of ethanol as the stress factor. The results shown are the average of three replicates. Averages in the same column that share the same letter do not show statistically significant differences according to Tukey's test ($p < 0.05$).

Isolate	Species	Ethanol concentration (v/v)				
		0%	4%	8%	12%	18%
G-021	<i>Pichia terricola</i>	0,307 ± 0,04 ab	0,229 ± 0,07 bc	0,281 ± 0,03 b	0,339 ± 0,05 ab	0,173 ± 0,02 c
K-022	<i>Metschnikowia orientalis</i>	0,178 ± 0,02 c	0,296 ± 0,02 b	0,195 ± 0,05 c	0,283 ± 0,05 b	0,189 ± 0,04 c
G-011	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,207 ± 0,09 bc	0,106 ± 0,03 d	0,179 ± 0,05 c	0,292 ± 0,04 b	0,151 ± 0,11 c
C-031	<i>Kurtzmaniella quercitrusa</i>	0,269 ± 0,09 b	0,101 ± 0,02 d	0,079 ± 0,13 d	0,211 ± 0,07 bc	0,296 ± 0,04 b
L-042	-	0,351 ± 0,10 a	0,195 ± 0,04 c	0,276 ± 0,01 b	0,281 ± 0,06 b	0,122 ± 0,06 d
K-041	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,164 ± 0,16 c	0,141 ± 0,08 cd	0,285 ± 0,01 b	0,117 ± 0,03 d	0,131 ± 0,07 cd
G-041	<i>Kurtzmaniella quercitrusa</i>	0,113 ± 0,02 d	0,282 ± 0,13 b	0,316 ± 0,02 ab	0,312 ± 0,06 ab	0,275 ± 0,03 b
K-021	<i>Pichia terricola</i>	0,167 ± 0,06 c	0,207 ± 0,01 bc	0,337 ± 0,02 ab	0,127 ± 0,08 d	0,126 ± 0,04 d
G-012	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,168 ± 0,02 c	0,148 ± 0,11 cd	0,255 ± 0,02 b	0,109 ± 0,12 d	0,147 ± 0,12 cd
G-022	<i>Hanseniaspora guilliermondii</i>	0,158 ± 0,04 c	0,217 ± 0,07 bc	0,341 ± 0,09 ab	0,130 ± 0,05 cd	0,119 ± 0,07 d
O-012	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,351 ± 0,06 a	0,176 ± 0,02 c	0,147 ± 0,09 cd	0,296 ± 0,01 b	0,168 ± 0,08 c

M-011	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,231 ± 0,02 bc	0,318 ± 0,11 ab	0,219 ± 0,02 bc	0,329 ± 0,07 ab	0,089 ± 0,03 d
B-012	<i>Hanseniaspora guilliermondii</i>	0,135 ± 0,09 cd	0,253 ± 0,06 b	0,291 ± 0,06 b	0,239 ± 0,02 bc	0,203 ± 0,04 bc
O-011	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,175 ± 0,02 c	0,207 ± 0,04 bc	0,248 ± 0,09 bc	0,219 ± 0,08 bc	0,117 ± 0,04 d
C-012	<i>Meyerozyma carpophila</i>	0,219 ± 0,03 bc	0,318 ± 0,07 ab	0,312 ± 0,02 ab	0,248 ± 0,01 bc	0,183 ± 0,03 c
C-032	<i>Kurtzmaniella quercitrusa</i>	0,173 ± 0,06 c	0,164 ± 0,04 c	0,289 ± 0,02 b	0,238 ± 0,04 bc	0,194 ± 0,02 c
C-042	<i>Meyerozyma carpophila</i>	0,329 ± 0,06 ab	0,173 ± 0,06 c	0,268 ± 0,02 b	0,265 ± 0,08 b	0,156 ± 0,01 c
K-031	<i>Candida railenensis</i>	0,251 ± 0,03 b	0,297 ± 0,04 b	0,191 ± 0,07 c	0,232 ± 0,05 bc	0,263 ± 0,06 b
C-011	<i>Hanseniaspora guilliermondii</i>	0,273 ± 0,01 b	0,264 ± 0,06 b	0,193 ± 0,03 c	0,236 ± 0,04 bc	0,211 ± 0,02 bc
Control (JP14)	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,229 ± 0,01 bc	0,147 ± 0,05 cd	0,224 ± 0,02 b	0,291 ± 0,07 b	0,164 ± 0,02 c

Source: Author, 2025.

Figure 3. Growth curves of the wild yeasts isolated from Jaboticaba must under different concentrations of ethanol as the stress factor. The results shown are the average of three repetitions. Graphs created using OriginLab® software.



Source. Author, 2025.

In terms of tolerance to sodium metabisulphite, strains C-012 and B-012 showed high resistance, especially at concentrations of 100 mg/L and 50 mg/L, respectively (Table 4; Figure 4). These levels are critical in wineries that use metabisulphite as a preservative, highlighting the potential of these strains to withstand antimicrobial conditions without compromising fermentation. However, K-041 showed consistently poor performance, reinforcing its unsuitability in conditions that require high resistance to chemical agents. The ability of yeast strains to tolerate adverse environmental conditions directly influences fermentation efficiency. In wine production, sulfur dioxide is added to grape must to inhibit contaminating microorganisms and favor the growth of sulfite-tolerant yeast strains [20].

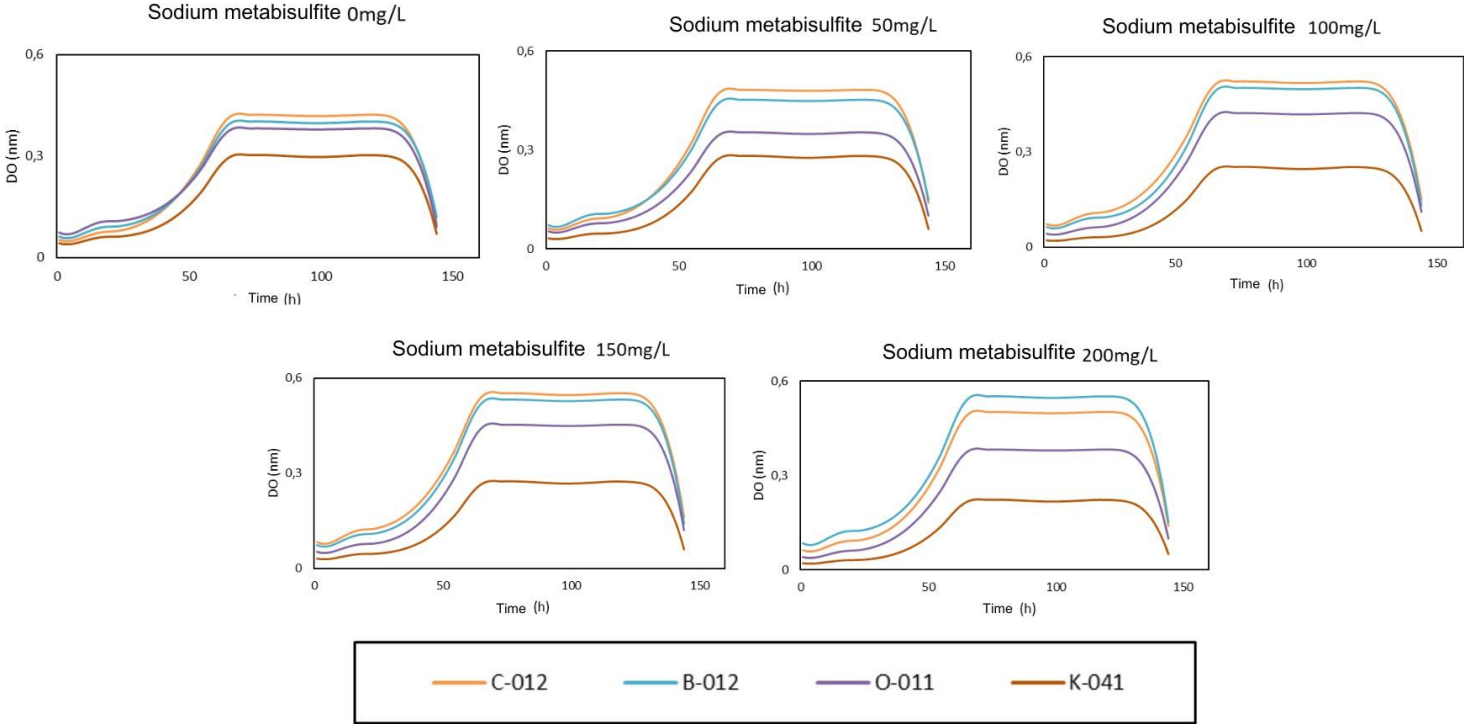
Table 4. Specific growth speed (h^{-1}) of the wild yeasts isolated from Jabuticaba must under different concentrations of Sodium Metabisulphite as the stress factor. The results shown are the average of three repetitions. Averages in the same column that share the same letter do not show statistically significant differences according to Tukey's test ($p < 0.05$).

Isolate	Species	Sodium metabissulfide concentration (mg/L)				
		0	50	100	150	200
G-021	<i>Pichia terricola</i>	0,373 ± 0,03 a	0,303 ± 0,05 ab	0,274 ± 0,03 b	0,229 ± 0,05 bc	0,073 ± 0,01 d
K-022	<i>Metschnikowia orientalis</i>	0,187 ± 0,1 c	0,312 ± 0,02 ab	0,218 ± 0,12 bc	0,283 ± 0,09 b	0,189 ± 0,04 c
G-011	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,358 ± 0,09 a	0,318 ± 0,03 ab	0,261 ± 0,03 b	0,192 ± 0,04 c	0,151 ± 0,11 c
C-031	<i>Kurtzmaniella quercitrusa</i>	0,294 ± 0,04 b	0,216 ± 0,01 bc	0,309 ± 0,13 ab	0,211 ± 0,07 bc	0,296 ± 0,04 b
L-042	-	0,315 ± 0,10 ab	0,307 ± 0,09 ab	0,287 ± 0,02 b	0,231 ± 0,06 bc	0,122 ± 0,06 d
K-041	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,206 ± 0,02 bc	0,159 ± 0,11 c	0,166 ± 0,08 c	0,109 ± 0,12 d	0,147 ± 0,12 cd
G-041	<i>Kurtzmaniella quercitrusa</i>	0,227 ± 0,03 bc	0,293 ± 0,12 b	0,313 ± 0,01 ab	0,262 ± 0,06 b	0,275 ± 0,03 b
K-021	<i>Pichia terricola</i>	0,305 ± 0,06 ab	0,217 ± 0,01 bc	0,247 ± 0,03 bc	0,127 ± 0,08 d	0,126 ± 0,04 d
G-012	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,213 ± 0,02 bc	0,259 ± 0,1 b	0,306 ± 0,06 ab	0,216 ± 0,12 bc	0,147 ± 0,12 cd
G-022	<i>Hanseniaspora guilliermondii</i>	0,311 ± 0,10 ab	0,317 ± 0,03 ab	0,347 ± 0,13 ab	0,227 ± 0,08 bc	0,216 ± 0,04 bc
O-012	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,234 ± 0,04 bc	0,298 ± 0,02 b	0,159 ± 0,09 c	0,196 ± 0,01 c	0,168 ± 0,08 c

M-011	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,209 ± 0,08 bc	0,331 ± 0,12 ab	0,302 ± 0,06 ab	0,229 ± 0,07 bc	0,089 ± 0,03 d
B-012	<i>Hanseniaspora guilliermondii</i>	0,309 ± 0,07 ab	0,364 ± 0,1 a	0,302 ± 0,03 ab	0,229 ± 0,02 bc	0,213 ± 0,04 bc
O-011	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,317 ± 0,03 ab	0,364 ± 0,14 a	0,358 ± 0,10 a	0,249 ± 0,08 b	0,117 ± 0,04 d
C-012	<i>Meyerozyma carpophila</i>	0,294 ± 0,07 b	0,226 ± 0,07 bc	0,219 ± 0,09 bc	0,117 ± 0,02 d	0,278 ± 0,01 b
C-032	<i>Kurtzmaniella quercitrusa</i>	0,302 ± 0,13 ab	0,288 ± 0,03 b	0,310 ± 0,07 ab	0,242 ± 0,06 bc	0,286 ± 0,08 b
C-042	<i>Meyerozyma carpophila</i>	0,304 ± 0,07 ab	0,282 ± 0,09 b	0,304 ± 0,02 ab	0,218 ± 0,02 bc	0,220 ± 0,01 bc
K-031	<i>Candida railenensis</i>	0,397 ± 0,06 a	0,328 ± 0,10 ab	0,342 ± 0,09 ab	0,226 ± 0,05 bc	0,072 ± 0,05 d
C-011	<i>Hanseniaspora guilliermondii</i>	0,289 ± 0,05 b	0,309 ± 0,02 ab	0,258 ± 0,04 b	0,211 ± 0,06 bc	0,169 ± 0,01 c
Control (JP14)	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,362 ± 0,09 a	0,349 ± 0,04 a	0,361 ± 0,04 a	0,253 ± 0,06 b	0,254 ± 0,02 c

Source. Author, 2025.

Figure 4. Growth curves of the wild yeasts isolated from Jaboticaba must under different concentrations of Sodium Metabisulphite as the stress factor. The results shown are the average of three repetitions. Graphs created using OriginLab® software.



Source. Author, 2025.

5.3.2 Fermentation potential of the isolated yeast strains

The fermentation tests allowed for a more comprehensive analysis of the strains' behavior under winemaking conditions. The G-011 strain (*S. cerevisiae*) emerged as the most promising, combining a very high alcohol content (17.870 ± 0.19 %) with low levels of malic acid (0.0372 ± 0.09 g/L) and acetic acid (0.322 ± 0.01 g/L), guaranteeing a balanced and pleasant sensory profile (Table 5). In addition, the high concentration of reducing sugars (23.76 ± 0.73 g/L), which is only slightly lower than the strain with the highest concentration of reducing sugars, C-011 (29.64 ± 1.05 g/L) as shown in Figure 5, and glycerol (3.539 ± 0.06 g/L) contribute to the complexity and body of the wine produced. These attributes make G-011 an excellent candidate for higher quality wines, especially those that demand a higher alcohol content and smoothness on the palate.

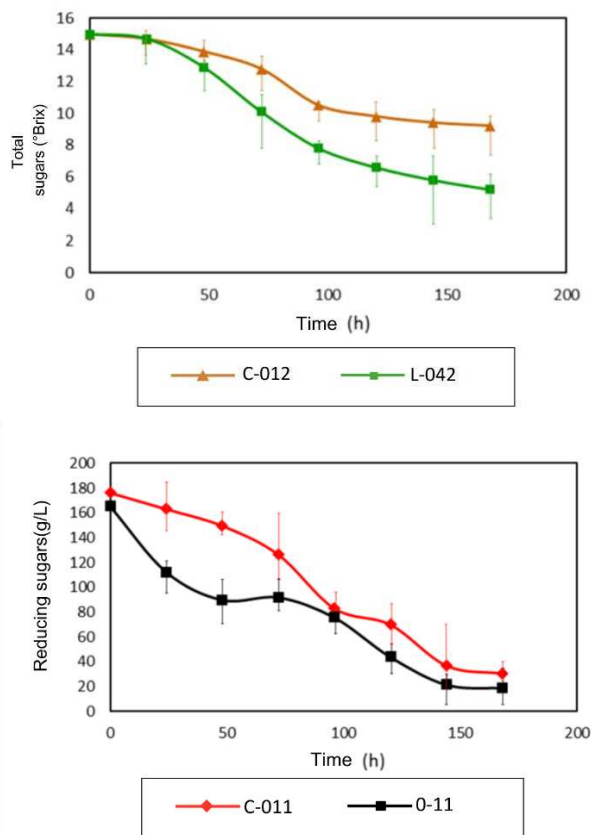
Table 5. Composition of the wines produced by the yeasts isolated from Jabuticaba must.

Strain	Species	Component concentration										
		Soluble solids (°Brix)	Reducing sugars (g/L)	Glucose (g/L)	Fructose (g/L)	Glycerol (g/L)	Acetic acid (g/L)	Methanol (g/L)	Ethanol (%)	Citric acid (g/L)	Tartaric acid (g/L)	Malic acid (g/L)
G-021	<i>Pichia terricola</i>	5,2 ± 0,29 c	21,52 ± 0,52 b	-	14,02 ± 0,31 d	1,657 ± 0,05 c	0,590 ± 0,14 d	0,419 ± 0,06 c	10,872 ± 0,34 c	0,303 ± 0,04 b	0,229 ± 0,19 bc	0,0295 ± 0,009 d
K-022	<i>Metschnikowia orientalis</i>	5,4 ± 0,35 cd	26,81 ± 0,90 a	8,31 ± 0,02 a	16,486 ± 0,1 c	2,089 ± 0,12 bc	0,794 ± 0,03 cd	0,462 ± 0,13 c	7,269 ± 0,01 d	0,426 ± 0,16 ab	0,315 ± 0,08 b	8,472 ± 0,36 a
G-011	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	7,1 ± 0,30 b	23,76 ± 0,73 ab	2,72 ± 0,41 d	21,114 ± 0,18 ab	3,539 ± 0,06 a	0,322 ± 0,01 d	0,859 ± 0,09 a	17,870 ± 0,19 a	0,745 ± 0,08 a	0,539 ± 0,24 a	0,0372 ± 0,09 d
C-031	<i>Kurtzmaniella quercitrusa</i>	6,5 ± 0,32 bc	22,09 ± 1,35 b	9,67 ± 0,05 a	15,265 ± 0,37 cd	1,202 ± 0,47 d	0,723 ± 0,04 cd	-	9,199 ± 0,29 cd	0,176 ± 0,19 c	0,141 ± 0,07 bc	8,579 ± 0,46 a
L-042	-	5,2 ± 0,31 d	21,92 ± 0,52 b	4,149 ± 0,38 c	15,107 ± 0,15 cd	1,416 ± 0,09 cd	0,460 ± 0,09 d	0,370 ± 0,03 cd	15,489 ± 0,06 b	0,236 ± 0,27 bc	0,182 ± 0,01 bc	5,871 ± 0,13 b
K-041	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	7,0 ± 0,35 b	23,36 ± 0,95 ab	3,569 ± 0,07 c	20,591 ± 0,43 b	3,214 ± 0,38 a	5,403 ± 0,17 bc	0,874 ± 0,07 a	12,799 ± 0,02 bc	0,308 ± 0,02 b	0,233 ± 0,18 b	2,343 ± 0,33 d
G-041	<i>Kurtzmaniella quercitrusa</i>	5,3 ± 0,29 d	21,78 ± 0,62 b	3,621 ± 0,13 c	18,717 ± 0,06 c	3,694 ± 0,09 a	0,213 ± 0,07 d	0,898 ± 0,01 a	11,369 ± 0,17 bc	0,396 ± 0,07 b	0,295 ± 0,06 b	3,889 ± 0,19 c
K-021	<i>Pichia terricola</i>	6,0 ± 0,28 cd	22,59 ± 0,32 b	3,148 ± 0,09 cd	19,435 ± 0,05 b	2,981 ± 0,15 ab	1,494 ± 0,05 c	1,124 ± 0,16 a	9,663 ± 0,08 c	0,169 ± 0,01 c	0,136 ± 0,01 bc	6,368 ± 0,08 b
G-012	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	6,7 ± 0,34 bc	22,80 ± 1,85 b	5,070 ± 0,03 b	17,914 ± 0,32 c	3,226 ± 0,02 a	11,220 ± 0,03 b	1,021 ± 0,03 a	8,303 ± 0,03 cd	0,168 ± 0,09 c	0,135 ± 0,08 bc	4,411 ± 0,31 bc
G-022	<i>Hanseniaspora guilliermondii</i>	5,5 ± 0,32 d	22,00 ± 2,80 b	3,137 ± 0,31 cd	19,499 ± 0,61 b	3,527 ± 0,08 a	1,192 ± 0,19 c	1,210 ± 0,08 a	19,176 ± 0,28 a	0,304 ± 0,17 b	0,230 ± 0,15 b	3,637 ± 0,19 c
O-012	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	8,5 ± 0,42 a	24,37 ± 0,25 a	3,019 ± 0,04 cd	21,200 ± 0,05 b	3,086 ± 0,24 ab	0,376 ± 0,16 d	0,501 ± 0,14 c	14,335 ± 0,07 b	0,0057 ± 0,009 d	0,0211 ± 0,003 d	3,425 ± 0,29 c
M-011	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	8,0 ± 0,38 ab	23,99 ± 0,18 ab	3,011 ± 0,13 cd	20,776 ± 0,16 b	2,629 ± 0,06 b	35,835 ± 0,08 a	0,633 ± 0,04 c	10,228 ± 0,01 c	0,492 ± 0,26 ab	0,362 ± 0,02 ab	2,014 ± 0,38 d

B-012	<i>Hanseniaspora guilliermondii</i>	7,6 ± 0,35 ab	15,76 ± 0,87 d	3,955 ± 0,03 c	12,408 ± 0,26 d	3,416 ± 0,02 a	2,937 ± 0,09 c	0,706 ± 0,08 b	7,939 ± 0,49 d	0,369 ± 0,03 b	0,275 ± 0,31 b	4,671 ± 0,08 b
O-011	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	6,3 ± 0,30 cd	12,50 ± 1,85 d	4,813 ± 0,07 bc	8,522 ± 0,09 d	3,789 ± 0,07 a	0,783 ± 0,23 cd	0,989 ± 0,19 a	10,966 ± 0,04 c	0,147 ± 0,05 c	0,120 ± 0,19 bc	8,970 ± 0,27 a
C-012	<i>Meyerozyma carpophila</i>	8,9 ± 0,48 a	24,94 ± 0,28 a	3,758 ± 0,14 c	21,826 ± 0,07 b	3,028 ± 0,14 ab	5,842 ± 0,04 bc	0,878 ± 0,03 a	13,950 ± 0,13 b	0,181 ± 0,16 c	0,144 ± 0,09 bc	4,198 ± 0,19 c
C-032	<i>Kurtzmaniella quercitrusa</i>	6,9 ± 0,35 bc	25,76 ± 0,93 a	3,856 ± 0,09 c	22,361 ± 0,13 a	3,493 ± 0,05 a	1,079 ± 0,07 c	0,862 ± 0,07 a	8,725 ± 0,09 d	0,726 ± 0,09 a	0,526 ± 0,01 a	3,462 ± 0,07 c
C-042	<i>Meyerozyma carpophila</i>	5,8 ± 0,30 d	22,21 ± 0,85 b	3,856 ± 0,43 c	19,361 ± 0,07 b	2,423 ± 0,28 bc	1,913 ± 0,11 c	0,918 ± 0,01 a	10,492 ± 0,05 c	0,398 ± 0,07 b	0,726 ± 0,18 a	5,462 ± 0,35 b
K-031	<i>Candida railenensis</i>	6,4 ± 0,28 bc	19,60 ± 1,32 c	5,993 ± 0,23 b	14,253 ± 0,08 d	4,134 ± 0,03 a	14,355 ± 0,13 b	0,690 ± 0,07 b	13,139 ± 0,18 bc	0,536 ± 0,01 a	0,393 ± 0,24 ab	3,274 ± 0,41 c
C-011	<i>Hanseniaspora guilliermondii</i>	8,3 ± 0,38 a	29,64 ± 1,05 a	4,991 ± 0,27 bc	25,844 ± 0,16 a	2,773 ± 0,06 b	0,154 ± 0,06 d	0,653 ± 0,01 b	15,445 ± 0,11 ab	0,159 ± 0,08 c	0,129 ± 0,05 bc	10,528 ± 0,12 a
Control e (JP14)	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	6,3 ± 0,29 cd	18,60 ± 0,62 cd	3,331 ± 0,03 c	15,335 ± 0,53 d	2,712 ± 0,09 b	1,022 ± 0,05 c	1,046 ± 0,02 a	7,160 ± 0,29 d	0,282 ± 0,12 c	0,215 ± 0,28 b	6,806 ± 0,29 ab

Source. Author, 2024

Figure 5. Concentration of soluble solids and reducing sugars (g/L) throughout the fermentation process for wine production by yeasts isolated from jabuticaba must. The results shown are averages from three repetitions. Averages in the same column that share the same letter are not statistically significant according to Tukey's test ($p < 0.05$).

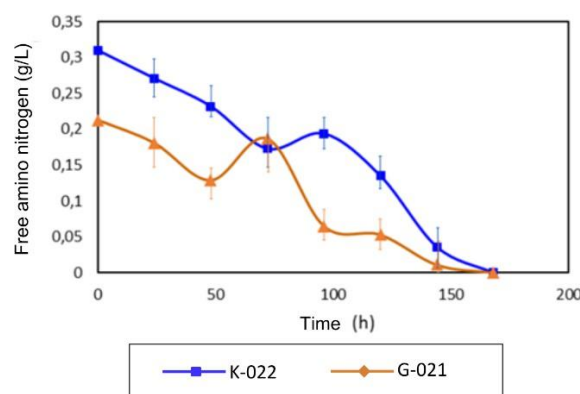


Source. Author, 2024

However, these days wines that have a high alcohol content are becoming a concern for wine producers, as it has implications for the quality and marketing of the wine. According to Henderson and Block [21], a high percentage of alcohol in the product can cause technological problems, such as being a stress factor for the yeasts used in fermentation and, as a result, resulting in interrupted or slow fermentation. However, ethanol is sensorially important for wine and is indispensable for its stability during the ageing process and the wine's organoleptic properties. And according to Boulton [22], its absence could even interfere or even serve as an inhibitory source for malolactic fermentation, which directly interferes with the palatability characteristics of a wine. From a sensory point of view, it can cause astringency and acidity, detracting from the wine's flavor and aroma. However, the higher alcohol content is attracting less attention from consumers, especially those who consider its negative effects on human health, preferring a lighter and more balanced diet, as well as being cheaper, since wines with lower alcohol content tend to be cheaper due to lower taxes on the product and therefore more accessible to the population [23].

When it came to the efficiency of the yeasts in consuming the free amino nitrogen present in the grape must, the initial concentration of 0.2 to 0.3 g/L of free amino nitrogen showed that the yeasts consumed all of it in the first 4 days of fermentation, with K-022 consuming it more slowly and strain G-021 consuming the free amino nitrogen present in the must more efficiently (Figure 6). The availability of free amino nitrogen in grape must is a parameter of great importance for the progress of wine fermentation, since it is a nutrient that allows yeast to grow and, for most fermentations, is the limiting factor for biomass production. Once the nitrogen source is insufficiently available in the must, fermentation is interrupted or has low efficiency, meaning that the wine fermentation process is not suitable for achieving the wine's organoleptic characteristics [24].

Figure 6. Free Amino Nitrogen concentration (mg/mL) throughout the fermentation process for wine production by yeasts isolated from jaboticaba must. The results shown are averages from three repetitions. Averages in the same column that share the same letter do not show statistically significant differences according to Tukey's test ($p < 0.05$).



Source. Author, 2025.

As for strain C-032, although promising in many respects, it had some limitations. Despite its moderate ethanol (8.725 ± 0.09 %) and high concentration of reducing sugars (25.76 ± 0.93 g/L), malic acid levels (3.462 ± 0.07 g/L) were higher than ideal, indicating greater acidity in the final product. However, its high glycerol production (3.493 ± 0.05 g/L) and moderate amount of methanol (0.862 ± 0.07 g/L) make it an adaptable strain for wines that require specific sensory characteristics. For example, glycerol contributes to increasing the sensation of body and weight of the wine in the mouth. It adds sweetness to the product which allows a balance with the acidity and tannins present in the wine, creating a more palatable wine for the consumer. While methanol has no significant

impact on the sensory properties of wine under normal conditions, it is associated with the overall quality of the production [25].

On the other hand, G-041 showed a remarkable balance between ethanol (11.369 ± 0.17 %), acetic acid (0.213 ± 0.07 g/L) and glycerol (3.694 ± 0.09 g/L), suggesting its potential for producing medium-alcoholic wines with controlled acidity. However, its moderate concentration of reducing sugars (21.78 ± 0.62 g/L) may limit its application in fermentations aimed at sweeter wines.

On the other hand, strain M-011 was clearly unsuitable for producing quality wines. Despite having moderate ethanol (10.228 ± 0.01 %) and low methanol concentration (0.633 ± 0.04 g/L), its extremely high acetic acid content (35.835 ± 0.08 g/L) compromised the sensory profile and overall quality of the wine. This result reinforces the importance of selecting strains that combine fermentation efficiency with volatile acidity control, an essential factor in avoiding serious sensory defects.

In summary, strains G-011, G-041 and C-032 proved to be the most promising for application in winemaking, where they showed significant differences between them for different compounds analyzed, standing out for their fermentative performance and ability to withstand stress conditions. These characteristics are crucial for the production of high-quality wines, while strains such as K-041 and M-011 should be avoided due to their significant limitations. The results presented provide subsidies for choosing the most suitable strains for red wine production through natural or wild fermentation, contributing to the optimization of oenological processes and the production of wines with differentiated and consistent sensory profiles.

5.4 Conclusion

The diversity of yeast microbiota is influenced by environmental and geographical factors and agricultural practices, playing a crucial role in characterizing terroir and wine production. In this study, strains G-011, G-041 and C-032 stood out as the most suitable for winemaking, due to their superior fermentative performance and resistance to stress conditions. On the other hand, K-041 and M-011 showed significant limitations. These results contribute to the selection of more suitable strains, optimizing oenological processes and wine quality.

5.5 References

1. Nardi T, Romano P. The changing role of Women in Food Microbiology: the case history of wine microbiologists in Italy. Vol. 14, *Frontiers in Microbiology*. Frontiers Media SA; 2023.
2. Marco-Lajara B, Martínez-Falcó J, Millan-Tudela LA, Sánchez-García E. Analysis of the structure of scientific knowledge on wine tourism: A bibliometric analysis. Vol. 9, *Heliyon*. Elsevier Ltd; 2023.
3. Canonico L, Solomon M, Comitini F, Ciani M, Varela C. Volatile profile of reduced alcohol wines fermented with selected non-*Saccharomyces* yeasts under different aeration conditions. Vol. 84:103247, *Food Microbiology*; 2019.
4. Liu D, Chen, Q., Zhang, P., Chen, D., Howell, K. S. The fungal microbiome is an important component of vineyard ecosystems and correlates with regional distinctiveness of wine. Vol. 5, *mSphere*; 2020.
5. Andrade-Suárez M, Caamaño-Franco I. The Relationship between Industrial Heritage, Wine Tourism, and Sustainability: A Case of Local Community Perspective. Vol. 12(18):7453, *Sustainability*; 2020.
6. de Podestá M. Arca do Gosto: Minas Gerais - 100 alimentos da sociobiodiversidade. 2021. 528–535 p.
7. Fugelsang KC. Leveduras e bolores. In: *Wine Microbiology*. Vol.1(1):68-116, Springer, Boston, MA. 1997.
8. Libkind D, Čadež N, Opulente DA, Langdon, QK, Rosa CA, Sampaio JP, Hittinger, C. T. Towards yeast taxogenomics: lessons from novel species descriptions based on complete genome sequences. Vol. 20(6):42, *FEMS Yeast Research*, 2020.
9. Querol A, Barrio E, Ramón D. A Comparative Study of Different Methods of Yeast Strain Characterization. Vol. 15(3):439–446, *Systematic and Applied Microbiology*, 1992.
10. Brandt B, Jansen T, Volschenk H, Görgens J, Van Zyl W, Den Haan R. Stress modulation as a means to improve yeasts for lignocellulose bioconversion. 105 p., *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2021.
11. Yaa'ri R, Schneiderman E, Ben Aharon V, Stanevsky M, Drori E. Development of a Novel Approach for Controlling and Predicting Residual Sugars in Wines. Vol. 10: 125, *Fermentation*, 2024.
12. Ucar F, Erden G, Ginis Z, Ozturk G, Sezer S, Gurler M, et al. Estimation of biological variation and reference change value of glycated hemoglobin (HbA1c) when two analytical methods are used. Vol. 46(15):1548–53, *Clin Biochem*, 2013.

13. Cioch-Skoneczny M, Satora P, Skoneczny S. Determination of the oenological properties of yeast strains isolated from spontaneously fermented grape musts obtained from cool climate grape varieties. Vol. 246:2299–2307, *Eur Food Res Technol*, 2020.
14. Abernathy Dg, Spedding G, Starcher B. Analysis of protein and total usable nitrogen in beer and wine using a microwell ninhydrin assay. Vol. 115 (2):122-127, *Journal of the Institute of Brewing*, 2009.
15. Forino M, Gambuti A, Luciano P, Moio L. Malvidin-3-O-glucoside Chemical Behavior in the Wine pH Range. Vol. 68, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020.
16. Larroque Mf, Carrau L, Fariña E, Boido E, Dellacassa Medina K. Effect of *Saccharomyces* and non-*Saccharomyces* native yeasts on beer aroma compounds. 337 p., *International Journal of Food Microbiology*, 2020.
17. Arrey G, Li G, Murphy R, Guimaraes L, Alizadeh S, Poulsen M, Regenberg B. Isolation, characterization, and genome assembly of *Barnettozyma botsteinii* sp. nov. And novel strains of *Kurtzmaniella quercitrusa* isolated from the intestinal tract of the termite *Macrotermes bellicosus*. Vol. 11(12), G3: Genes, Genomes, Genetics, 2021.
18. Carrasco P, Querol A, Del Olmo, M. Analysis of the stress resistance of commercial wine yeast strains. Vol. 175:450–457, *Arch Microbiol*, 2001.
19. Xin Y, Yang M, Yin H, Yang J. Improvement of Ethanol Tolerance by Inactive Protoplast Fusion in *Saccharomyces cerevisiae*. *Biomed Res Int*. 2020;2020.
20. Lai YT, Hsieh CW, Lo YC, Liou BK, Lin HW, Hou CY, et al. Isolation and identification of aroma-producing non-*Saccharomyces* yeast strains and the enological characteristic comparison in wine making. *LWT*. 2022 Jan 15;154.
21. Henderson CM, Block DE. Examining the role of membrane lipid composition in determining the ethanol tolerance of *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied and Environmental Microbiology*. 2014 80; 2966–2972.
22. Boulton RB., Singleton VL., Bisson LF, Kunkee RE. Principles and Practices of Winemaking. Vol. 1, Chapman and Hall Publishers, 1996.
23. Martínez-Pérez M P, Bautista-Ortín A B, Pérez-Porras P, Jurado R, Gómez-Plaza E. A New Approach to the Reduction of Alcohol Content in Red Wines: The Use of High-Power Ultrasounds. Vol. 9(6):726, *Foods*, 2020.
24. Su Y, Seguinot P, Sanchez I, Ortiz-Julien A, Heras J M, Querol A, Camarasa C, Guillamón J M. Nitrogen sources preferences of non-*Saccharomyces* yeasts to sustain growth and fermentation under winemaking conditions. Vol. 85, *Food Microbiology*, 2020.

25. Nardi T, Romano P. The changing role of Women in Food Microbiology: the case history of wine microbiologists in Italy. Vol.14:1217385, Front. Microbiol, 2023.

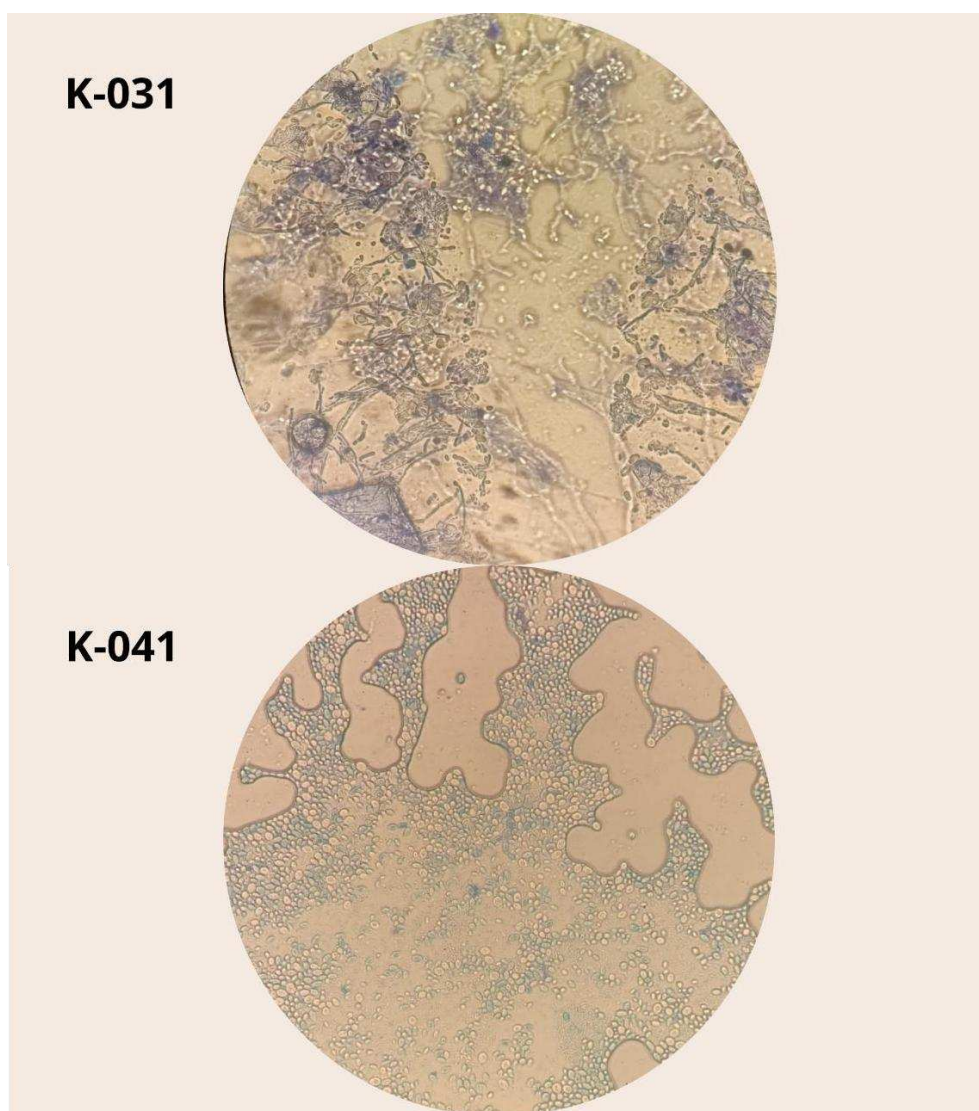
6. CONCLUSÕES GERAIS

A produção de vinho é uma prática milenar, profundamente associada à evolução de diversas culturas. No século 20, a industrialização permitiu a escalabilidade da produção, garantindo o amplo consumo de vinhos ao redor do mundo. No entanto, nos últimos anos, há uma crescente valorização dos vinhos selvagens, que resgatam métodos tradicionais ao utilizarem fermentações espontâneas e microbiotas locais, proporcionando uma conexão com o terroir, os processos históricos de vinificação e com processos sustentáveis de produção vitivinícola. Esse movimento acompanha uma demanda crescente por vinhos com mínima interferência e aditivos, sendo muitas vezes associados a métodos artesanais de produção, como os feitos em Catas Altas, com isso existe uma valorização crescente do tradicional e regional

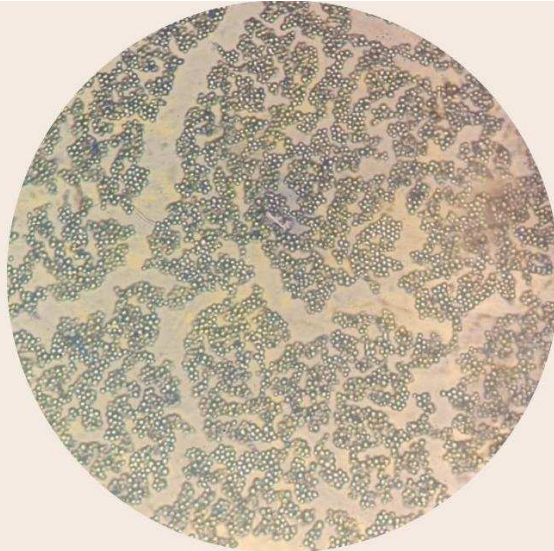
Portanto, este estudo contribui para a consolidação da vitivinicultura artesanal ao fornecer subsídios técnicos para a melhoria contínua dos processos fermentativos, A caracterização e seleção de leveduras específicas, aliadas ao controle dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos de maturação e fermentação, apresentam-se como estratégias fundamentais para elevar a qualidade do vinho de jabuticaba, tornando-o cada vez mais competitivo no cenário enológico. Além dos processos produtivos, a seleção de leveduras permite um refinamento das práticas fermentativas e com isso o ganho de características organolépticas associadas ao vinho produzido. Assim, a triagem e caracterização de 49 isolados de leveduras a partir de mostos de jabuticaba permitiram identificar espécies com potencial fermentativo promissor, especialmente *Saccharomyces cerevisiae*, *Hanseniaspora guilliermondii* e *Kurtzmaniella quercitrusa*. Destacam-se os isolados G-011, G-041 e C-032, que apresentaram resistência a diferentes condições de estresse fermentativo e desempenho superior na produção alcoólica, aliada à baixa formação de ácidos orgânicos indesejáveis. Essas análises reforçam a importância das leveduras selvagens na vinificação e como pode ser usada como estratégia tecnológica para o aprimoramento dos vinhos de jabuticaba e a utilização de leveduras próprias de Catas Altas para a produção de vinho tinto.

7. ANEXOS

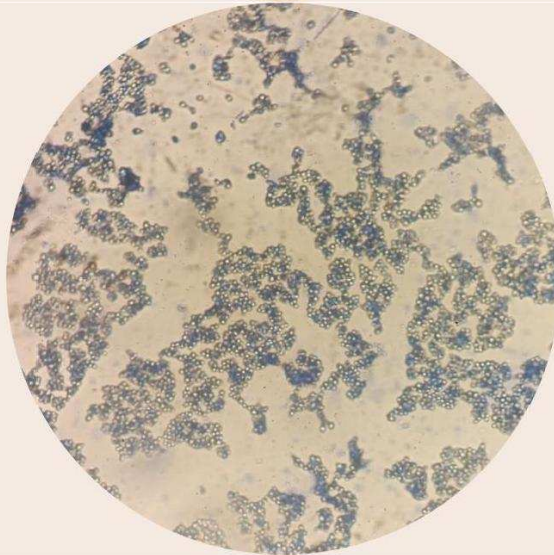
Anexo 1. Fotografias das estirpes de leveduras selvagens isoladas de mostos de jabuticaba obtidos da região de Catas Altas, Minas Gerais.



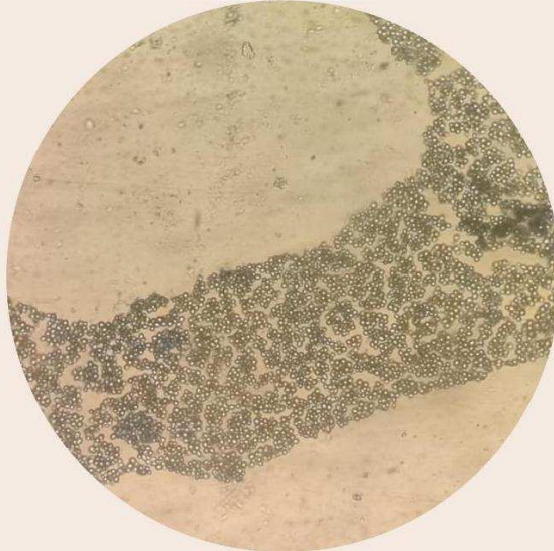
L-042



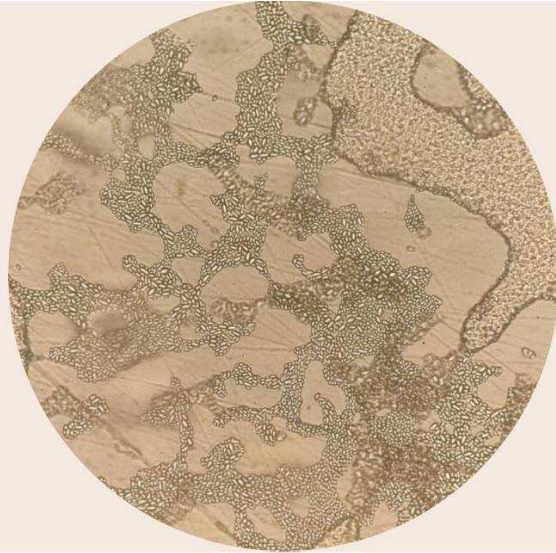
M-011



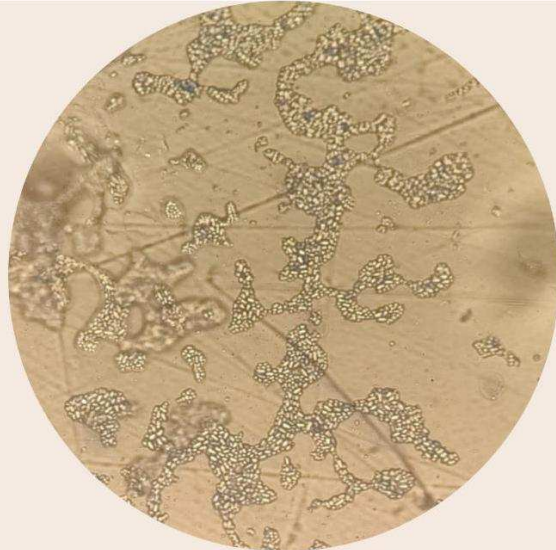
G-012



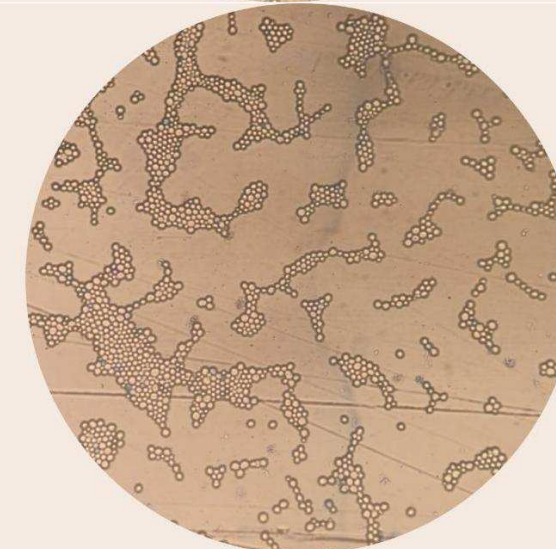
G-021



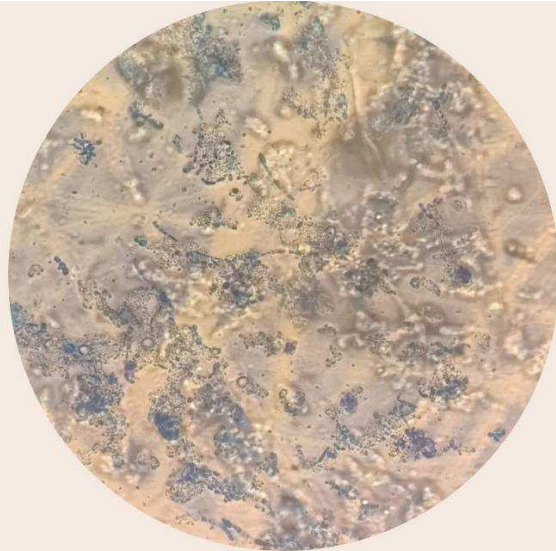
G-022



G-041



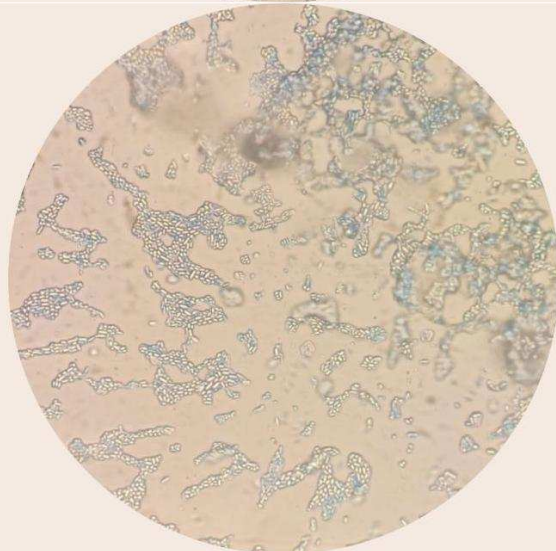
K-021



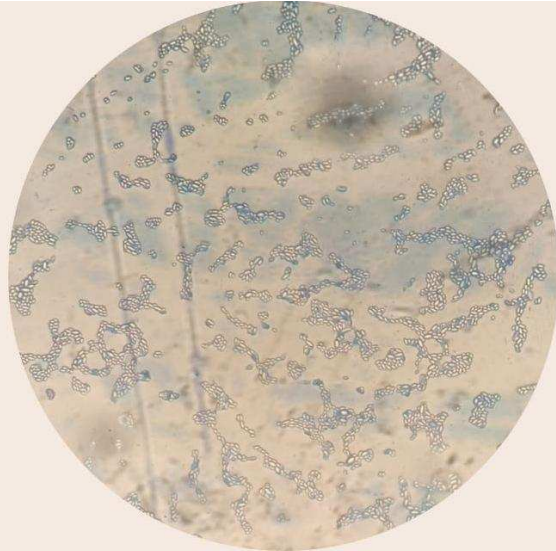
K-022



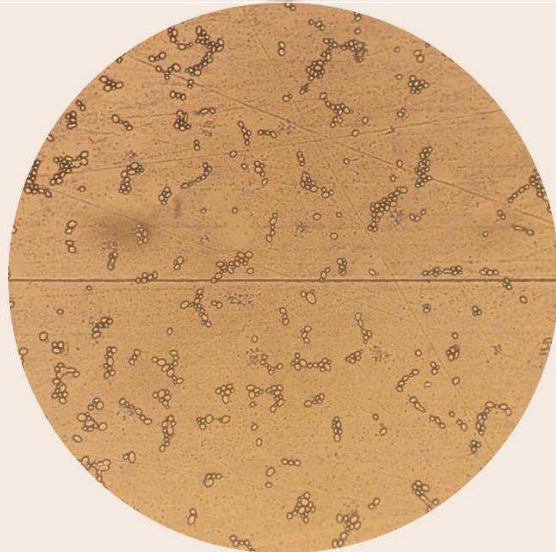
C-032



C-042



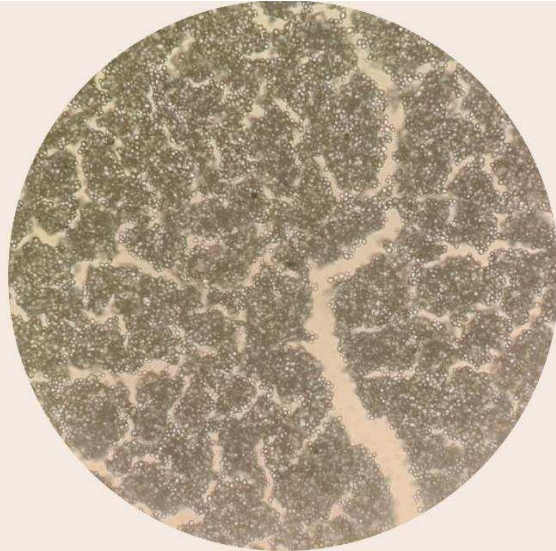
O-011



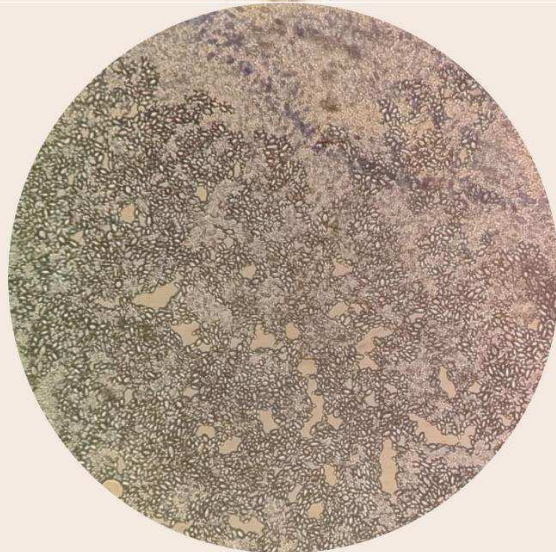
O-012



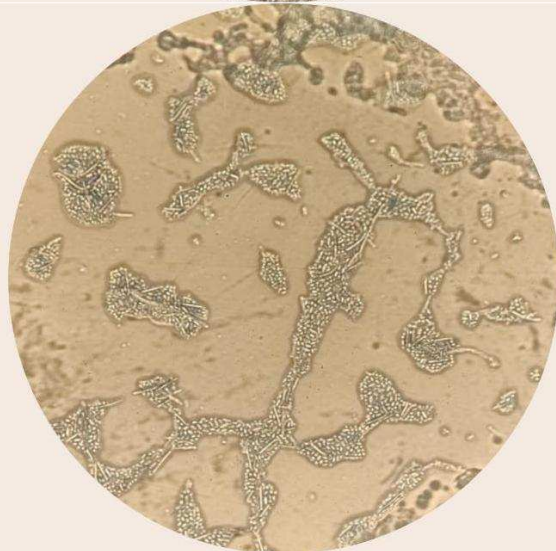
G-011



B-012



C-011



C-012



C-031

