

Impacto da colagem na estabilidade da matéria corante de vinhos tintos estagiados em madeira e em inox

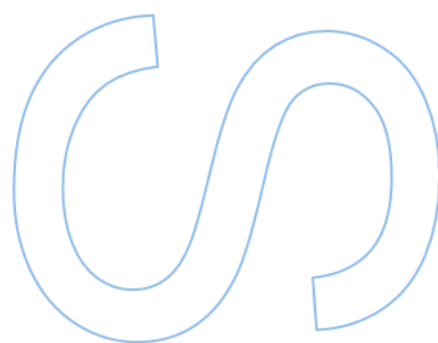
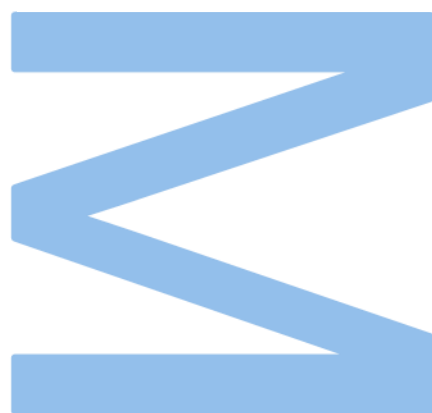
Mariana Moreira Matos

Mestrado em Química

Departamento de Química e Bioquímica

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

2026



Impacto da colagem na estabilidade da matéria corante de vinhos tintos estagiados em madeira e em inox

Mariana Moreira Matos

Relatório de Estágio realizado no âmbito do Mestrado em
Química
Departamento de Química e Bioquímica
2026

Orientador

Professor José António Maia Rodrigues, Professor Auxiliar, FCUP

Supervisor externo na Entidade de Acolhimento

Engenheira Natália Sofia Deus Faleiro, Gestora – Área Técnica,
Churchill Graham



Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor José Rodrigues, pela sua orientação, partilha de conhecimento, ajuda e disponibilidade ao longo de todo o desenvolvimento deste relatório de estágio.

À Engenheira Natália Faleiro, agradeço pelo acolhimento e por toda a ajuda e orientação prestada durante o meu estágio na Churchill Graham. Um muito obrigada também a toda a equipa, que me recebeu tão bem e tornou esta experiência e o ambiente de trabalho mais leves, enriquecedores e bonitos.

Aos meus amigos, agradeço o companheirismo, o suporte e a ajuda nas horas certas. Sem eles, esta jornada académica não teria sido a mesma, tornaram tudo muito mais leve, divertido e memorável.

Aos meus pais e restante família, deixo o agradecimento mais profundo por toda a paciência, apoio e compreensão demonstrados nesta fase que é, inquestionavelmente, uma das mais importantes da minha vida: o culminar de uma era como estudante e a conclusão do curso, um momento tão ambicionado por todos nós. Sem o vosso amparo tudo teria sido infinitamente mais difícil. Sempre me conseguiram dar a força e a motivação necessárias e também acalmar-me nos momentos de maior ansiedade, quando parecia que as coisas não estavam a correr de forma ideal. Sem sombra de dúvidas que lhes devo tudo o que me tornei e o que sou hoje, sem eles nada disto seria possível.

Resumo

O presente trabalho, resultante de um estágio curricular em contexto industrial, teve como principal objetivo avaliar o impacto do processo de colagem na estabilidade da matéria corante de quatro vinhos tintos. O estudo focou-se na comparação direta da reatividade de vinhos com histórico de estágio em barricas de madeira face a vinhos com estágio em depósitos de aço inoxidável, testando-se a eficácia de dois agentes de colagem *vegan* (Claril ZR e Oenovegan EPL) aplicados em diferentes dosagens.

A caracterização analítica incluiu a determinação de parâmetros físico-químicos (pH, turbidez e quantificação de borras), avaliação da estabilidade tartárica e estabilidade da cor, bem como a avaliação sensorial. Adicionalmente, as características cromáticas foram avaliadas no espaço *CIELab* recorrendo a um método digital customizado de análise de imagem e a um protótipo de autoria própria, concebido especificamente para este efeito.

Os resultados demonstraram que as intervenções não comprometeram o pH nem o estado de estabilidade tartárica original das amostras. O processo de clarificação foi eficaz, reduzindo globalmente a turbidez, sendo este efeito superior nos vinhos estagiados em aço inoxidável. Embora ambos os agentes de colagem tenham respeitado, de forma geral, a matriz cromática original, o Oenovegan EPL induziu as modificações visuais mais evidentes e desestabilizou a fração coloidal. Em oposição, o Claril ZR evidenciou um efeito marcadamente estabilizador da cor e maior capacidade de compactação de sedimentos.

Globalmente, a análise cromática e sensorial consolidou o tipo de estágio como um fator determinante na reatividade do vinho. Os vinhos estagiados em madeira demonstraram assinalável resiliência face aos tratamentos, devido ao efeito amortecedor dos seus compostos. Em contrapartida, os vinhos estagiados em aço inoxidável revelaram-se mais difíceis de estabilizar e com respostas díspares, evidenciando num dos casos um forte desbaste sensorial. O estudo valida a premissa de que, sem o suporte da madeira, o impacto físico-químico da colagem fica estritamente dependente da matriz vínica inicial, reforçando a obrigatoriedade de ensaios laboratoriais prévios à aplicação dos agentes de colagem na indústria.

Palavras-chave: Vinho tinto; Colagem vegan; Estágio (madeira e aço inoxidável); Estabilidade da cor

Abstract

This work, resulting from a curricular internship in an industrial context, aimed to evaluate the impact of the fining process on the stability of the coloring matter of four red wines. The study focused on a direct comparison of the reactivity of wines with a history of aging in wooden barrels versus those stored in stainless steel tanks, testing the effectiveness of two vegan fining agents (Claril ZR and Oenovegan EPL) applied at different dosages.

The analytical characterization included the determination of basic physicochemical parameters (pH, turbidity, and lees quantification), evaluation of tartaric stability and color stability, as well as sensory analysis. Additionally, chromatic characteristics were evaluated in the *CIELab* space using a customized digital image analysis method and a prototype of my own authorship, designed specifically for this purpose.

The results demonstrated that the interventions did not compromise the original pH or tartaric stability of the samples. The clarification process was effective, globally reducing turbidity, with this effect being superior in wines aged in stainless steel. Although both fining agents generally respected the original chromatic matrix, Oenovegan EPL induced the most evident visual modifications and destabilized the colloidal fraction. In contrast, Claril ZR showed a markedly stabilizing effect on color and a higher sediment compaction capacity.

Overall, the chromatic and sensory analysis consolidated the aging type as a determining factor in wine reactivity. The wines aged in wood demonstrated remarkable resilience to the treatments, due to the cushioning effect of their compounds. On the other hand, wines aged in stainless steel proved more difficult to stabilize and showed disparate responses, including a severe sensory stripping in one case. The study validates the premise that, without the support of wood, the physicochemical impact of fining depends strictly on the initial wine matrix, reinforcing the obligation of laboratory trials prior to the application of fining agents in the industry.

Keywords: Red wine; Vegan fining; Aging (wood and stainless steel); Color stability

Índice

Lista de Tabelas	vi
Lista de Gráficos	ix
Lista de Figuras	x
Lista de Abreviaturas	xii
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento do estágio curricular	1
1.1.1. Contexto académico e objetivos do estágio	1
1.1.2. Empresa Churchill Graham: breve nota histórica e enquadramento empresarial	2
1.2. Estado da Arte	3
1.2.1. A matéria corante em vinhos tintos: química e estabilidade	3
1.2.2. Impacto do estágio (madeira vs inox) na matriz fenólica	6
1.2.3. O processo de colagem: mecanismos físico-químicos	9
1.2.4. Colagem como ferramenta de estabilização enológica	11
1.2.4.1. Enquadramento enológico da colagem	11
1.2.4.2. Evolução dos agentes de colagem: dos produtos tradicionais às alternativas <i>vegan</i>	12
1.2.4.3. Importância da realização da colagem na estabilidade da matéria corante em vinhos tintos	14
1.3. Objetivos do trabalho experimental	16
2. Secção Experimental	17
2.1. Vinhos em estudo	17
2.2. Materiais e equipamentos analíticos	18
2.3. Protocolo de colagem e filtração posterior	19
2.4. Métodos analíticos realizados	20
2.4.1. Parâmetros físico-químicos de rotina (pH, turbidez)	20
2.4.2. Avaliação das características cromáticas (CIELab: L*, a*, b*)	21

2.4.3.	Ensaio de estabilidade tartárica	24
2.4.3.1.	Teste de frio	25
2.4.3.2.	Teste de estabilidade tartárica por método analítico	25
2.4.4.	Quantificação de sedimentos.....	26
2.5.	Análise Sensorial.....	27
2.6.	Tratamento estatístico dos dados.....	28
3.	Resultados e Discussão	29
3.1.	Eficácia clarificante e impacto nos parâmetros físico-químicos	30
3.2.	Impacto da colagem nas características cromáticas.....	37
3.3.	Estabilidade tartárica e estabilidade da cor	45
3.4.	Análise sensorial dos vinhos	48
3.5.	Influência do tipo de estágio	53
4.	Atividades complementares do estágio	55
5.	Conclusões e perspetivas futuras.....	56
	Referências Bibliográficas	59
	Anexos	62

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Síntese comparativa do impacto do tipo de estágio (madeira vs inox) na evolução da matriz fenólica e na estabilidade cromática dos vinhos tintos.	8
Tabela 2 - Comparação físico-química e regulamentar entre agentes de colagem de origem animal e alternativas vegan.....	13
Tabela 3 - Lista de materiais e equipamentos analíticos utilizados no trabalho experimental.	18
Tabela 4 - Condições de preparação e aplicação dos agentes de colagem, recomendadas pelos fabricantes.	19
Tabela 5 - Critérios de classificação da estabilidade tartárica para vinhos tintos, baseados na variação da condutividade elétrica.....	26
Tabela 6 - Sistema de codificação alfanumérica das amostras de vinho tinto e respetivos tratamentos de colagem.	29
Tabela 7 - Efeito dos diferentes tratamentos de colagem no pH dos vinhos em estudo (A, B, C e D), expressos em valores médios e respetivo desvio padrão, incluindo a variação face à testemunha (Δ pH) e a análise de significância estatística (valor-p)...	31
Tabela 8 - Efeito dos diferentes tratamentos de colagem na turbidez (NTU) dos vinhos em estudo (A, B, C e D), expressos em valores médios e respetivo desvio padrão, incluindo a variação face à testemunha (Δ turbidez) e a análise de significância estatística (valor-p).	32
Tabela 9 - Efeito dos diferentes tratamentos de colagem na quantificação de sedimentos (mL) dos vinhos em estudo (A, B, C e D), expressos em valores médios e respetivo desvio padrão.	35
Tabela 10 - Valores de turbidez (NTU) e de quantificação de sedimentos (mL) obtidos para os diferentes tratamentos aplicados.....	36
Tabela 11 - Efeito dos diferentes tratamentos de colagem no parâmetro L^* dos vinhos em estudo (A, B, C e D), expressos em valores médios e respetivo desvio padrão, incluindo a variação face à testemunha (ΔL^*).	38
Tabela 12 - Efeito dos diferentes tratamentos de colagem no parâmetro a^* dos vinhos em estudo (A, B, C e D), expressos em valores médios e respetivo desvio padrão, incluindo a variação face à testemunha (Δa^*).	39
Tabela 13 - Efeito dos diferentes tratamentos de colagem no parâmetro b^* dos vinhos em estudo (A, B, C e D), expressos em valores médios e respetivo desvio padrão, incluindo a variação face à testemunha (Δb^*).	40

Tabela 14 – Valores obtidos de saturação (C^*) e tonalidade (h°) para todos os tratamentos, calculados a partir dos valores médios das coordenadas cromáticas a^* e b^*	41
Tabela 15 - Valores da Diferença de Cor Global (ΔE) obtidos para as diferentes matrizes vínicas (A, B, C e D) em função dos tratamentos de colagem aplicados.....	43
Tabela 16 - Efeito dos diferentes tratamentos de colagem na estabilidade tartárica (μS) dos vinhos em estudo (A, B, C e D), expressos em valores médios e respetivo desvio padrão, incluindo a variação face à testemunha (Δ estabilidade tartárica) e a análise de significância estatística (valor-p).	46
Tabela 17 - Resultado global da estabilidade da matéria corante (mL) e respetiva classificação do impacto dos diferentes tratamentos de colagem nos vinhos em estudo (A, B, C e D).	48
Tabela 18 - Pontuações médias (1 a 5) da análise sensorial dos vinhos testemunha e dos tratamentos de colagem (Claril ZR e Oenovegan EPL) para os vinhos A, B, C e D.	49
Tabela A1 - Resultados individuais dos três ensaios independentes (réplicas laboratoriais) para a determinação do pH em todos os tratamentos de colagem dos vinhos A, B, C e D.	62
Tabela A2 - Resultados individuais dos três ensaios independentes (réplicas laboratoriais) para a determinação da turbidez (NTU) em todos os tratamentos de colagem dos vinhos A, B, C e D.	63
Tabela A3 - Quadro da análise de variância (ANOVA) de um fator referente aos resultados de turbidez do Vinho A.	64
Tabela A4 - Quadro da análise de variância (ANOVA) de um fator referente aos resultados de turbidez do Vinho B.	64
Tabela A5 - Quadro da análise de variância (ANOVA) de um fator referente aos resultados de turbidez do Vinho C.	65
Tabela A6 - Quadro da análise de variância (ANOVA) de um fator referente aos resultados de turbidez do Vinho D.	65
Tabela A7 - Resultados individuais dos três ensaios independentes (réplicas laboratoriais) para a determinação da quantificação de sedimentos (mL) em todos os tratamentos de colagem dos vinhos A, B, C e D.	66
Tabela A8 - Resultados individuais dos três ensaios independentes (réplicas laboratoriais) para a determinação do parâmetro L^* em todos os tratamentos de colagem dos vinhos A, B, C e D.	67

Tabela A9 - Resultados individuais dos três ensaios independentes (réplicas laboratoriais) para a determinação do parâmetro a^* em todos os tratamentos de colagem dos vinhos A, B, C e D.....	68
Tabela A10 - Resultados individuais dos três ensaios independentes (réplicas laboratoriais) para a determinação do parâmetro b^* em todos os tratamentos de colagem dos vinhos A, B, C e D.....	69
Tabela A11 - Resultados individuais dos três ensaios laboratoriais para a determinação dos parâmetros cromáticos (L^* , a^* e b^*) do Vinho A, correspondentes à testemunha e aos respetivos tratamentos de colagem, incluindo os valores-p decorrentes da comparação estatística face à testemunha.	70
Tabela A12 - Resultados individuais dos três ensaios laboratoriais para a determinação dos parâmetros cromáticos (L^* , a^* e b^*) do Vinho B, correspondentes à testemunha e aos respetivos tratamentos de colagem, incluindo os valores-p decorrentes da comparação estatística face à testemunha.	70
Tabela A13 - Resultados individuais dos três ensaios laboratoriais para a determinação dos parâmetros cromáticos (L^* , a^* e b^*) do Vinho C, correspondentes à testemunha e aos respetivos tratamentos de colagem, incluindo os valores-p decorrentes da comparação estatística face à testemunha.	71
Tabela A14 - Resultados individuais dos três ensaios laboratoriais para a determinação dos parâmetros cromáticos (L^* , a^* e b^*) do Vinho D, correspondentes à testemunha e aos respetivos tratamentos de colagem, incluindo os valores-p decorrentes da comparação estatística face à testemunha.	71
Tabela A15 - Resultados individuais dos três ensaios independentes (réplicas laboratoriais) para a determinação da estabilidade tartárica (μS) em todos os tratamentos de colagem dos vinhos A, B, C e D.....	72
Tabela A16 - Resultados individuais dos três ensaios independentes (réplicas laboratoriais) para a determinação da estabilidade da matéria corante (mL) em todos os tratamentos de colagem dos vinhos A, B, C e D.....	73
Tabela A17 - Resultados individuais da primeira prova de análise sensorial (escala de 1 a 5) dos vinhos testemunha e dos tratamentos de colagem.....	74
Tabela A18 - Resultados individuais da segunda prova de análise sensorial (escala de 1 a 5) dos vinhos testemunha e dos tratamentos de colagem.....	75
Tabela A19 - Resultados individuais da terceira prova de análise sensorial (escala de 1 a 5) dos vinhos testemunha e dos tratamentos de colagem.....	76

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Variação absoluta da turbidez, após a realização da colagem, ($ \Delta\text{Turbidez} $, em NTU) promovida pelas diferentes concentrações dos agentes de colagem (Claril ZR e Oenovegan EPL) nos quatro vinhos estudados.	34
Gráfico 2 - Correlação entre a turbidez (NTU) e o volume de sedimentos gerado (mL), evidenciando a dispersão dos resultados em função do (a) agente de colagem aplicado (Claril ZR e Oenovegan EPL) e em função do (b) tipo de estágio (madeira e aço inoxidável).	36
Gráfico 3 - Diferença de cor global (ΔE) registada nas quatro matrizes vínicas (A, B, C e D) em função dos (a) tratamentos de colagem e respetivas dosagens e em função do (b) tipo de estágio.	43
Gráfico 4 - Perfil sensorial médio (gráfico de radar) do Vinho A: impacto dos agentes clarificantes Claril ZR e Oenovegan EPL face ao perfil original (testemunha).	50
Gráfico 5 - Perfil sensorial médio (gráfico de radar) do Vinho B: impacto dos agentes clarificantes Claril ZR e Oenovegan EPL face ao perfil original (testemunha).	50
Gráfico 6 - Perfil sensorial médio (gráfico de radar) do Vinho C: impacto dos agentes clarificantes Claril ZR e Oenovegan EPL face ao perfil original (testemunha).	51
Gráfico 7 - Perfil sensorial médio (gráfico de radar) do Vinho D: impacto dos agentes clarificantes Claril ZR e Oenovegan EPL face ao perfil original (testemunha).	51

Lista de Figuras

Figura 1 - Estrutura química básica das antocianinas [7].	4
Figura 2 - Equilíbrio das antocianinas em função de diferentes valores de pH [8].	4
Figura 3 - Representação da percepção visual da cor em vinhos tintos, evidenciando diferentes graus de encorpamento, transparência e evolução tonal associados ao envelhecimento [11].	6
Figura 4 - Exemplos de recipientes utilizados no estágio e envelhecimento de vinhos: (a) barricas de madeira e (b) depósitos de aço inoxidável.	7
Figura 5 - Representação esquemática do mecanismo geral de colagem em vinhos, ilustrando a floculação de partículas coloidais naturalmente presentes na matriz vínica e a sua posterior remoção por sedimentação [14].	10
Figura 6 - Fluxograma representativo das operações unitárias inerentes à produção de vinho tinto, evidenciando o posicionamento da colagem como etapa fulcral de estabilização e acabamento.	12
Figura 7 - Estrutura química base do ião flavílio (catião 2-fenilcromenílio), a forma termodinamicamente estável das antocianinas ao pH do vinho responsável pela coloração vermelha [22].	14
Figura 8 - Estrutura base dos flavano-3-óis, a unidade monomérica fundamental que constitui os taninos condensados do vinho tinto [24].	15
Figura 9 - Codificação e caracterização das matrizes vínicas em estudo, em função do tipo de estágio e do ano de colheita.	17
Figura 10 - Dispositivo customizado de análise de imagem desenvolvido no âmbito do trabalho: (a) vista exterior da câmara escura; (b) vista interior com sistema de iluminação LED em toda a base da caixa.	21
Figura 11 – (a) Posicionamento da amostra de vinho no interior da câmara escura para aquisição de imagem por transmissão; (b) seleção de áreas representativas da amostra (destacadas pelos círculos), dentro das quais foi selecionado o ponto de amostragem para extração das coordenadas cromáticas no software de processamento.	22
Figura 12 - Interface da ferramenta "Pipeta" evidenciando a extração das coordenadas cromáticas.	23
Figura 13 - Representação tridimensional do espaço de cor CIELab, ilustrando as coordenadas de luminosidade (L^*), os eixos cromáticos (a^* e b^*) e os parâmetros derivados de saturação (C^*) e tonalidade (h°) [26].	24
Figura 14 - Tubo periforme de sedimentação (100 mL) utilizado no ensaio de estabilidade ao frio [28].	25

Figura 15 - Representação esquemática da separação do vinho límpido por decantação, evidenciando o controlo visual para evitar o arrastamento dos sedimentos [29]. 27

Lista de Abreviaturas

DOC	DENOMINAÇÃO DE ORIGEM CONTROLADA
OIV	ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DA VINHA E DO VINHO
NTU	UNIDADES NEFELOMÉTRICAS DE TURBIDEZ
IC	ÍNDICE DE COLMATAGEM
LED	<i>LIGHT EMITTING DIODE</i>
OPR	<i>OXIDAÇÃO – POTENCIAL – REDUÇÃO</i>

1. Introdução

1.1. Enquadramento do estágio curricular

O presente relatório resulta do estágio curricular desenvolvido no âmbito do segundo ano do Mestrado em Química, constituindo um requisito obrigatório para a conclusão do ciclo de estudos. O estágio foi realizado em contexto empresarial, na empresa Churchill Graham S.A, situada em Vila Nova de Gaia. A empresa dedica-se à produção de vinhos do Porto e vinhos com denominação de origem controlada (DOC) Douro, integrada na Região Demarcada do Douro [1].

O trabalho desenvolvido incidirá sobre o estudo do impacto da colagem na estabilidade da matéria corante de vinhos tintos, considerando o efeito do tipo de estágio (madeira e inox) e a aplicação de diferentes agentes de colagem. O estágio decorreu ao longo de sete meses e meio e integrou atividades laboratoriais, acompanhamento de processos enológicos e análise de resultados experimentais, culminando na elaboração do presente relatório.

1.1.1. Contexto académico e objetivos do estágio

O estágio curricular teve como principal objetivo o estudo do impacto da colagem na estabilidade da matéria corante de vinhos tintos. O trabalho desenvolvido permitiu a aplicação de conhecimentos de química analítica a um sistema complexo de relevância industrial, como a matriz vínica.

De forma específica, pretendeu-se avaliar o efeito de diferentes agentes de colagem e respetivas concentrações, bem como comparar o comportamento de vinhos com estágio em madeira e em inox. Adicionalmente, foram analisados os efeitos dos tratamentos aplicados nos parâmetros físico-químicos, nas características cromáticas e na sua estabilidade, na estabilidade tartárica e nas propriedades sensoriais dos vinhos.

1.1.2. Empresa Churchill Graham: breve nota histórica e enquadramento empresarial

A Churchill Graham S.A é uma empresa vitivinícola de carácter familiar dedicada à produção de vinhos do Porto e vinhos DOC Douro, com sede em Vila Nova de Gaia e atividade vitivinícola na Região Demarcada do Douro [1]. A empresa foi fundada em 1981 por John Graham, com o objetivo de desenvolver um projeto independente no setor dos vinhos do Porto, distinguindo-se desde a sua origem por uma identidade própria e por uma abordagem orientada para a qualidade [2].

A atividade produtiva da empresa está fortemente associada à Quinta da Gricha, localizada na sub-região do Cima Corgo, na margem sul do rio Douro. Esta propriedade assume um papel central na identidade da empresa, estando na base da produção de parte significativa dos vinhos do Porto e dos vinhos tranquilos DOC Douro. A estratégia produtiva da Churchill Graham assenta na valorização das características naturais e vitícolas da região, aliada a um controlo técnico rigoroso das diferentes etapas do processo de vinificação, estágio e estabilização dos vinhos [1].

Para além da produção de vinhos do Porto, a empresa desenvolve uma gama de vinhos tranquilos DOC Douro, integrando diferentes estilos e modalidades de estágio. A Churchill Graham dispõe de infraestruturas adequadas para operações de estágio em madeira e em inox, bem como para a realização de práticas enológicas como colagem, filtração e controlo analítico dos vinhos, fundamentais para a garantia da estabilidade e qualidade do produto final. A empresa evidencia igualmente uma preocupação crescente com práticas sustentáveis, integrando abordagens orientadas para a redução do impacto ambiental e para a adaptação a exigências atuais do mercado vitivinícola [1].

Este enquadramento empresarial revelou-se particularmente adequado para a realização do presente estágio, permitindo a execução do plano experimental em contexto industrial real e conferindo relevância prática e aplicabilidade direta aos resultados obtidos.

1.2. Estado da Arte

O presente capítulo tem como objetivo enquadrar cientificamente o trabalho desenvolvido, através da síntese do conhecimento existente relevante para a compreensão do impacto da colagem na estabilidade da matéria corante de vinhos tintos. Para esse efeito, são abordados os principais aspetos relacionados com a química da matéria corante e a sua estabilidade, a influência do tipo de estágio (madeira ou inox) na matriz fenólica dos vinhos, bem como os fundamentos físico-químicos do processo de colagem e o seu papel enquanto ferramenta de estabilização enológica. Este enquadramento permite fundamentar o desenho experimental adotado e sustentar a análise e discussão dos resultados obtidos à luz da literatura científica.

1.2.1. A matéria corante em vinhos tintos: química e estabilidade

A cor constitui um dos principais atributos sensoriais dos vinhos tintos, exercendo uma influência determinante na perceção global da qualidade e na aceitação por parte do consumidor, uma vez que condiciona as expectativas relativamente à estrutura, ao envelhecimento e ao valor do vinho [3]. A intensidade e a tonalidade da cor são frequentemente associadas à qualidade percebida, enquanto a perda de vivacidade cromática ou o desenvolvimento precoce de tonalidades acastanhadas são interpretados como indicadores de envelhecimento excessivo ou de instabilidade visual do produto. A evolução da cor ao longo do tempo assume, assim, um papel central na avaliação da aptidão ao envelhecimento dos vinhos tintos, estando intimamente relacionada com a composição fenólica da matriz vínica e com os mecanismos químicos responsáveis pela estabilidade da matéria corante [3, 4].

A cor dos vinhos tintos resulta maioritariamente da presença de antocianinas, compostos fenólicos localizados nas películas das uvas tintas, responsáveis pelas tonalidades vermelhas, violáceas e azuladas observadas nos vinhos jovens. Estas moléculas apresentam uma estrutura química sensível às condições do meio, sendo a sua forma e estabilidade influenciadas por fatores como o pH, a presença de dióxido de enxofre, a concentração de outros compostos fenólicos e o teor alcoólico do vinho. Ao longo do tempo, as antocianinas livres tendem a sofrer transformações químicas, originando pigmentos derivados mais estáveis ou sendo parcialmente perdidas por reações de precipitação ou adsorção, o que se reflete na evolução da intensidade e tonalidade da cor. A estabilidade da matéria corante está, assim, diretamente relacionada com o equilíbrio entre antocianinas livres, pigmentos derivados e a matriz fenólica global do vinho, condicionando a sua aptidão ao envelhecimento [4-6].

A estrutura química básica das antocianinas (Figura 1 [7]) condiciona o seu comportamento ácido-base, traduzido no equilíbrio entre diferentes formas moleculares em função do pH, conforme ilustrado na Figura 2 [8].

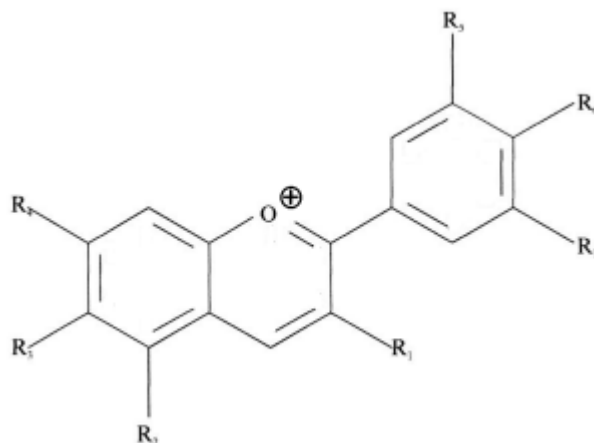


Figura 1 - Estrutura química básica das antocianinas [7].

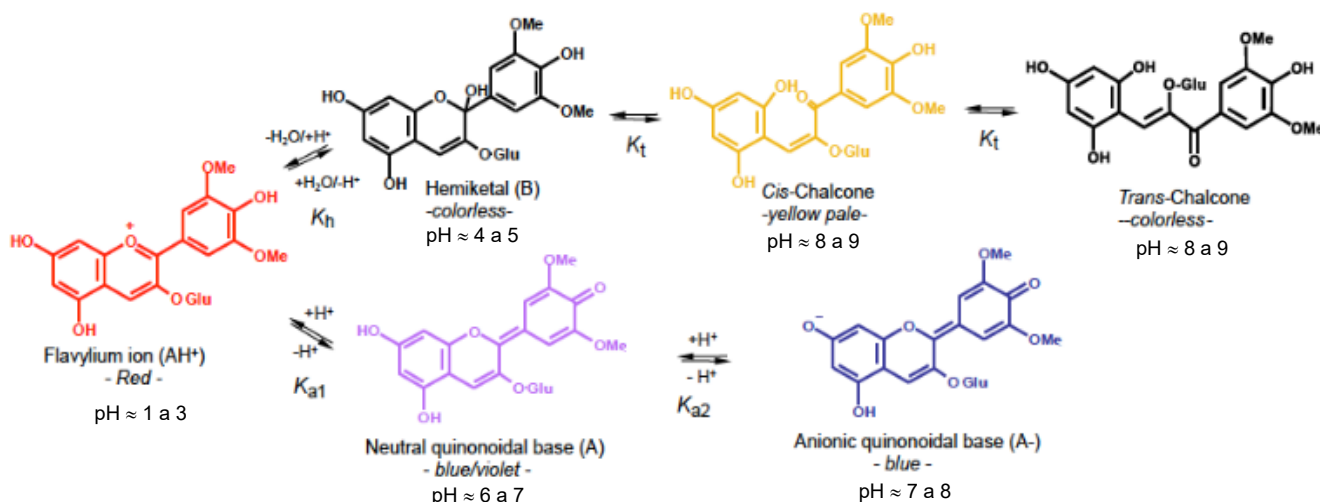


Figura 2 - Equilíbrio das antocianinas em função de diferentes valores de pH [8].

Para além das antocianinas livres, a estabilidade da cor dos vinhos tintos depende fortemente das interações entre antocianinas e taninos, sendo estes últimos um grupo de compostos fenólicos de elevada massa molecular, provenientes maioritariamente das películas, grainhas e engaços da uva, bem como do estágio em madeira. Os taninos desempenham um papel central na estrutura fenólica do vinho e participam ativamente na formação de pigmentos mais complexos e estruturalmente mais estáveis. Estas interações podem ocorrer por mecanismos de copigmentação ou por reações de condensação direta e mediada por acetaldeído, originando pigmentos

poliméricos menos sensíveis a variações de pH, à ação do dióxido de enxofre e aos processos de oxidação. A formação destes pigmentos contribui para a manutenção da intensidade cromática e para a evolução gradual da tonalidade ao longo do envelhecimento, reduzindo a perda de cor associada à degradação das antocianinas livres. Assim, a proporção relativa entre antocianinas, taninos e pigmentos derivados assume um papel determinante na estabilidade visual dos vinhos tintos e na sua aptidão ao envelhecimento [4, 6, 9, 10].

A estabilidade da cor dos vinhos tintos ao longo do envelhecimento resulta de um equilíbrio dinâmico entre transformações químicas que promovem a formação de pigmentos mais estáveis e processos que conduzem à perda de matéria corante. Com o tempo, verifica-se uma diminuição progressiva da fração de antocianinas livres, acompanhada pelo aumento relativo de pigmentos poliméricos formados a partir das interações entre antocianinas e taninos. Estes pigmentos apresentam maior resistência à descoloração por variações de pH, à ação do dióxido de enxofre e aos fenómenos oxidativos, contribuindo para uma maior persistência cromática durante o envelhecimento. No entanto, a estabilidade visual do vinho depende não apenas da formação destes compostos, mas também da composição fenólica inicial e das condições de vinificação e conservação, que condicionam a velocidade e a extensão das reações envolvidas. Assim, a estabilidade da matéria corante constitui um parâmetro crítico na avaliação da aptidão ao envelhecimento dos vinhos tintos e na manutenção da sua qualidade ao longo do tempo [4, 6].

A evolução da cor dos vinhos tintos, desde tonalidades mais intensas e violáceas em vinhos jovens até matizes mais acastanhadas em vinhos envelhecidos, reflete-se em parâmetros visuais como o encorpamento e a transparência, conforme ilustrado na Figura 3 [11].



Figura 3 - Representação da percepção visual da cor em vinhos tintos, evidenciando diferentes graus de encorpamento, transparência e evolução tonal associados ao envelhecimento [11].

1.2.2. Impacto do estágio (madeira vs inox) na matriz fenólica

O tipo de estágio constitui um fator determinante na evolução da matriz fenólica dos vinhos tintos, influenciando a composição, a reatividade e a estabilidade dos compostos responsáveis pela cor e pela estrutura do vinho. Os principais recipientes utilizados no estágio e envelhecimento de vinhos tintos incluem barricas de madeira e depósitos de aço inoxidável, exemplificados na Figura 4.

O estágio em recipientes de aço inoxidável caracteriza-se por um ambiente essencialmente inerte, com trocas gasosas mínimas, favorecendo a preservação de características típicas de vinhos jovens, nomeadamente maior intensidade cromática, tonalidades violáceas, predominância de antocianinas monoméricas, frescura aromática e menor grau de evolução fenólica. Em contraste, o estágio em madeira introduz condições específicas, nomeadamente uma micro-oxigenação natural e a libertação de compostos fenólicos da própria madeira, que condicionam de forma significativa a

evolução química e sensorial do vinho. Estas diferenças estruturais entre os meios de estágio refletem-se diretamente na transformação dos compostos fenólicos ao longo do tempo, com impacto na estabilidade da matéria corante e na aptidão ao envelhecimento [12].



Figura 4 - Exemplos de recipientes utilizados no estágio e envelhecimento de vinhos: (a) barricas de madeira e (b) depósitos de aço inoxidável.

Em sistemas de inox, a ausência de oxigenação significativa contribui para a manutenção de uma maior proporção de antocianinas monoméricas, associadas a uma cor mais intensa e a tonalidades típicas de vinhos jovens. Pelo contrário, o estágio em madeira promove uma diminuição progressiva destas antocianinas livres, acompanhada pela formação de pigmentos poliméricos resultantes de reações de condensação entre antocianinas e taninos. Estes pigmentos apresentam maior estabilidade face a variações de pH, à ação do dióxido de enxofre e aos fenómenos oxidativos, contribuindo para uma maior persistência cromática ao longo do envelhecimento, ainda que frequentemente associada a uma evolução tonal para matizes mais alaranjadas ou acastanhadas. Estudos experimentais que comparam diretamente diferentes métodos de envelhecimento evidenciam, assim, diferenças claras na retenção de cor e na estabilidade cromática entre vinhos estagiados em inox e em madeira. Este comportamento explica porque vinhos estagiados em inox tendem a apresentar cores mais vivas, enquanto vinhos estagiados em madeira exibem cores mais estáveis ao longo do tempo [12, 13].

Para além da cor, o tipo de estágio condiciona a evolução global da fração fenólica. O estágio em inox tende a preservar taninos de menor grau de polimerização e uma matriz fenólica mais reativa. Em contraste, o estágio em madeira favorece a

extração de elagitaninos, taninos hidrolisáveis característicos da madeira de carvalho, capazes de participar em reações redox e de interagir com a fração fenólica do vinho. Adicionalmente, a presença de oxigénio em baixos níveis promove reações oxidativas suaves que conduzem à polimerização progressiva dos taninos. Estas transformações resultam numa matriz fenólica mais estável e menos suscetível a variações bruscas durante o envelhecimento, influenciando igualmente a resposta do vinho a práticas enológicas posteriores. Assim, as diferenças induzidas pelo tipo de estágio assumem particular relevância no contexto da aplicação de tratamentos tecnológicos, como a colagem, nos quais a natureza e a disponibilidade dos compostos fenólicos condicionam a intensidade e a seletividade das interações estabelecidas [12, 13].

A Tabela 1 sintetiza as principais implicações do tipo de estágio (madeira vs inox) na evolução fenólica e na estabilidade cromática dos vinhos tintos.

Tabela 1 - Síntese comparativa do impacto do tipo de estágio (madeira vs inox) na evolução da matriz fenólica e na estabilidade cromática dos vinhos tintos.

Aspeto considerado	Inox	Madeira
Trocas gasosas	Mínimas	Micro-oxigenação natural
Compostos exógenos	Ausentes	Elagitaninos da madeira
Antocianinas livres	Maior proporção	Diminuição progressiva
Pigmentos poliméricos	Menor proporção	Maior proporção
Perfil cromático	Maior intensidade cromática inicial	Maior estabilidade cromática ao longo do envelhecimento
Grau de evolução fenólica	Reduzido	Mais elevado
Resposta a tratamentos enológicos	Matriz mais reativa	Matriz mais estável e menos suscetível

1.2.3. O processo de colagem: mecanismos físico-químicos

A colagem é uma prática enológica amplamente utilizada com o objetivo de melhorar a limpidez, a estabilidade coloidal e a qualidade global dos vinhos, através da remoção seletiva de compostos indesejáveis presentes na matriz vínica. Este processo baseia-se na adição de substâncias capazes de interagir sob o ponto de vista físico-químico com partículas coloidais, proteínas e compostos fenólicos, promovendo a sua agregação e posterior separação da fase líquida por sedimentação ou filtração, como se encontra representado na Figura 5 [14]. Em vinhos tintos, a colagem assume particular relevância devido à elevada complexidade da fração fenólica, sendo considerada uma etapa crítica na gestão do equilíbrio entre estabilização tecnológica e preservação das características cromáticas e sensoriais do vinho [6, 14].

Do ponto de vista físico-químico, a colagem assenta essencialmente em interações eletrostáticas, hidrofóbicas e de afinidade estrutural entre o agente de colagem e os constituintes do vinho. Electrocineticamente, este processo baseia-se na neutralização das cargas superficiais das partículas coloidais (negativas ao pH do vinho) pelos clarificantes (positivos), reduzindo o Potencial Zeta e permitindo a floculação. Termodinamicamente, a associação é espontânea ($\Delta G < 0$), sendo impulsionada pelo ganho de entropia ($\Delta S > 0$) resultante da libertação de moléculas de água durante a interação entre as proteínas e os polifenóis. Estas interações são fortemente influenciadas pelas propriedades da matriz vínica, nomeadamente o pH, a força iónica, o teor alcoólico e a composição fenólica. A natureza coloidal do vinho faz com que pequenas alterações no equilíbrio destas interações conduzam à formação de agregados insolúveis, cuja eficiência de remoção depende não apenas do processo aplicado, mas também do estado químico do vinho no momento da colagem. Assim, a eficácia da colagem resulta da combinação entre as características intrínsecas do vinho e os mecanismos de interação estabelecidos a nível molecular [14-16].

Os principais objetivos tecnológicos da colagem incluem a clarificação do vinho, a melhoria da estabilidade coloidal e a prevenção de turvações durante o armazenamento e a comercialização. Em vinhos tintos, a colagem é também utilizada como ferramenta de modulação da estrutura fenólica, permitindo ajustar atributos como adstringência, aspereza e equilíbrio global. No entanto, devido à afinidade entre agentes de colagem e compostos fenólicos responsáveis pela cor, esta prática pode conduzir a perdas indesejáveis de matéria corante se não for adequadamente controlada. Deste modo, a colagem deve ser encarada como um compromisso tecnológico entre a

necessidade de estabilização e a preservação da identidade cromática e sensorial do vinho [6, 15].

A resposta do vinho à colagem está intimamente relacionada com a composição e o grau de evolução da sua matriz fenólica, os quais são fortemente condicionados pelas etapas tecnológicas anteriores, nomeadamente o tipo de estágio. Vinhos com matrizes fenólicas menos evoluídas tendem a apresentar maior reatividade face a processos de colagem, enquanto vinhos com maior grau de polimerização fenólica exibem, em geral, uma resposta mais moderada. Este enquadramento reforça a importância de compreender a colagem não como uma operação isolada, mas como uma etapa integrada na gestão global da estabilidade e da qualidade do vinho ao longo do seu processo de elaboração [14, 16].

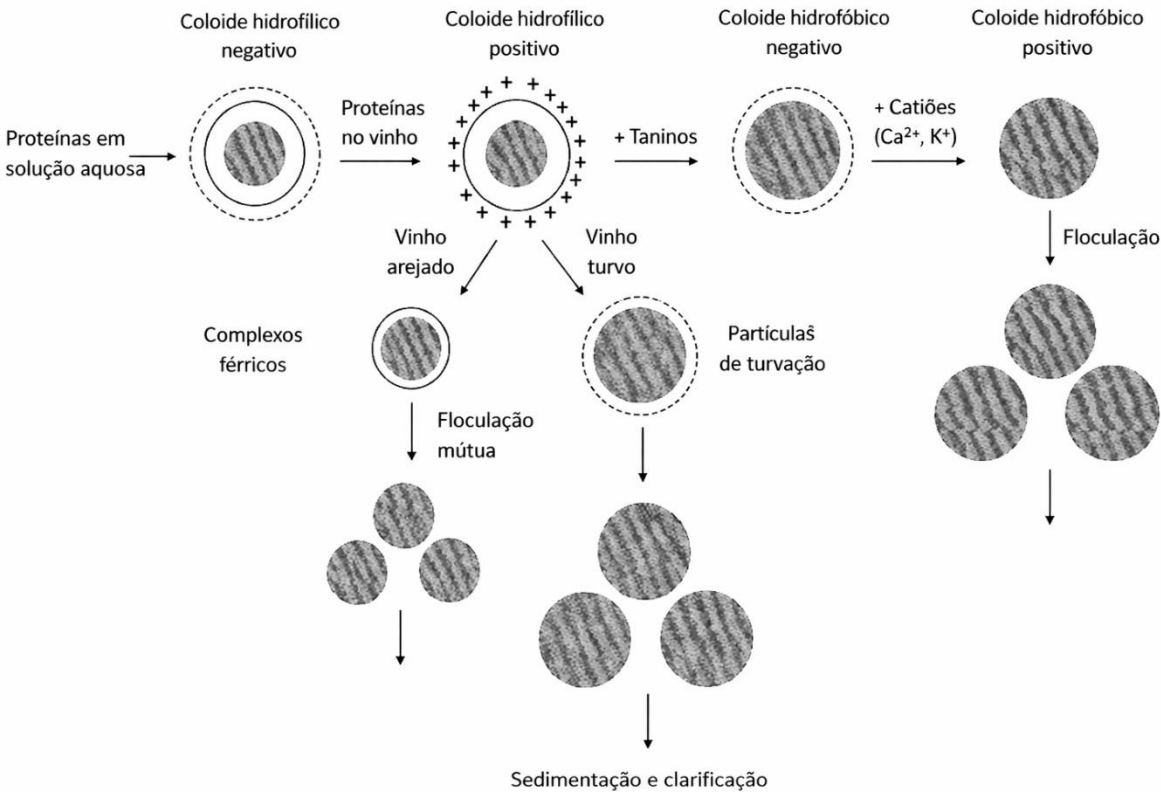


Figura 5 - Representação esquemática do mecanismo geral de colagem em vinhos, ilustrando a floculação de partículas coloidais naturalmente presentes na matriz vínica e a sua posterior remoção por sedimentação [14].

1.2.4. Colagem como ferramenta de estabilização enológica

A colagem transcende a mera ocorrência de interações físico-químicas, assumindo-se como uma operação tecnológica indispensável no processo de vinificação. O presente subcapítulo visa contextualizar esta prática no âmbito das operações de adegas, explorar a evolução dos agentes clarificantes, com particular ênfase na transição para alternativas de origem não animal (*vegan*), e, fundamentalmente, analisar a sua implicação crítica na preservação e estabilidade da matéria corante dos vinhos tintos.

1.2.4.1. Enquadramento enológico da colagem

Na produção de vinho, a colagem é uma operação enológica fundamental, realizada habitualmente na fase de acabamento, ou seja, após o estágio e antes do engarrafamento, conforme esquematizado na Figura 6. Durante o estágio (seja em barricas de madeira ou em depósitos de inox), ocorre uma clarificação natural, na qual as partículas em suspensão se depositam no fundo por gravidade. No entanto, este processo espontâneo é, muitas vezes, insuficiente para garantir a limpidez total e a estabilidade do vinho a longo prazo. Como os vinhos estão sujeitos a variações de temperatura e agitação durante a sua expedição e comercialização, a colagem funciona como uma medida preventiva, promovendo a agregação e precipitação de moléculas instáveis que, caso contrário, poderiam turvar o vinho mais tarde, já na garrafa [14, 17].

Para além de limpar e estabilizar o vinho, a colagem é também uma ferramenta essencial para o seu afinamento sensorial e correção tecnológica. Nos vinhos tintos, que possuem uma matriz fenólica complexa, este processo permite ao enólogo atenuar características como a adstringência ou o amargor excessivo. Isto consegue-se através da remoção seletiva de certos taninos mais reativos ou de compostos propensos à oxidação [6]. Desta forma, a colagem assegura não só o equilíbrio gustativo e visual do produto final, mas também facilita as operações seguintes, melhorando a filtrabilidade do vinho e reduzindo o risco de entupimento dos filtros antes do engarrafamento [17].

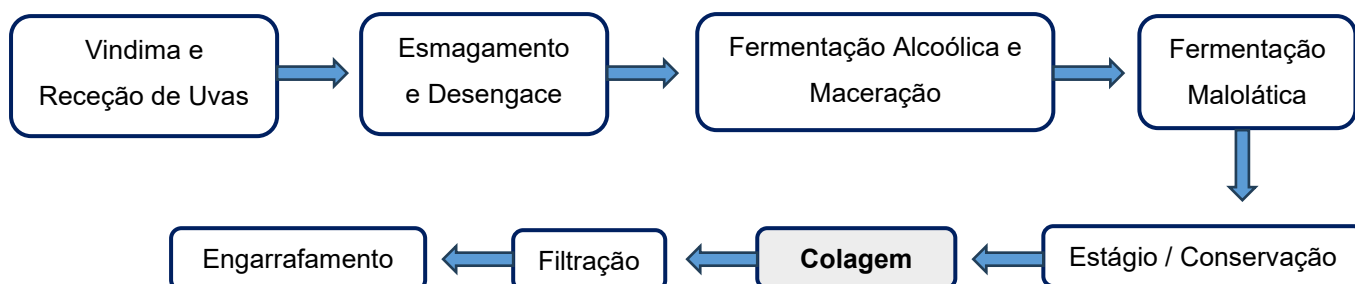


Figura 6 - Fluxograma representativo das operações unitárias inerentes à produção de vinho tinto, evidenciando o posicionamento da colagem como etapa fulcral de estabilização e acabamento.

1.2.4.2. Evolução dos agentes de colagem: dos produtos tradicionais às alternativas *vegan*

No enquadramento técnico da produção vinícola, a escolha do agente de colagem baseia-se historicamente numa lista rigorosa de práticas enológicas admitidas pela Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV). Tradicionalmente, a estabilização e clarificação dos vinhos tintos têm sido asseguradas por macromoléculas proteicas de origem animal. Entre os agentes clássicos mais utilizados destacam-se a gelatina (derivada de colagénio), a caseína (proteína láctea), a albumina (proveniente da clara de ovo) e a ictiocola (extraída de bexigas-natatórias de peixes). Estes produtos convencionais demonstraram, ao longo de décadas, uma elevada eficácia tecnológica na modelação fenólica e clarificação, promovendo a floculação de taninos e partículas em suspensão [14, 17].

As tendências atuais da indústria enológica refletem, contudo, uma profunda transição para alternativas de origem não animal. Esta mudança de paradigma é impulsionada por dois fatores fundamentais. Em primeiro lugar, as rigorosas exigências regulamentares relativas à segurança alimentar ditaram a obrigatoriedade de menção no rótulo de potenciais alergénios, o que afeta e penaliza diretamente a utilização de derivados de ovo e leite. Em segundo lugar, verifica-se uma crescente pressão do mercado e dos consumidores por produtos sustentáveis, eticamente produzidos e estritamente compatíveis com dietas *vegan* [16, 18].

Para dar resposta a estas exigências legais e comerciais, o leque de clarificantes admitidos pela OIV foi alargado para incluir proteínas de origem vegetal e derivados microbiológicos. O enquadramento técnico atual destaca a eficácia das frações proteicas extraídas da ervilha (*Pisum sativum*) e da batata (*Solanum tuberosum*), bem como a aplicação de extratos proteicos de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*) [19, 20].

A comparação tecnológica entre os agentes tradicionais e estas novas alternativas revela resultados práticos muito promissores. Estudos demonstram que as proteínas vegetais, nomeadamente as de batata e ervilha, apresentam uma capacidade de remoção de taninos reativos perfeitamente comparável à da gelatina e da albumina, permitindo atenuar a adstringência sem comprometer a integridade e a estrutura do vinho [21]. Adicionalmente, os derivados de leveduras oferecem vantagens multifuncionais: atuam não só na estabilização física e clarificação coloidal, mas também na proteção antioxidante da matriz do vinho. Deste modo, a transição para clarificantes vegan consolida-se não apenas como uma resposta a constrangimentos legais, mas como uma evolução tecnológica inteiramente validada na enologia moderna [18].

A Tabela 2 sintetiza as principais diferenças físico-químicas, tecnológicas e regulamentares entre os agentes de colagem tradicionais e as alternativas vegan emergentes.

Tabela 2 - Comparação físico-química e regulamentar entre agentes de colagem de origem animal e alternativas vegan.

Característica	Agentes de Origem Animal	Alternativas Vegan (Vegetal/Microbiológica)
Exemplos	Gelatina, caseína, albumina, ictiocola.	Proteína de batata/ervilha, derivados de levedura, quitosano.
Natureza Química	Proteínas ricas em prolina e fosfoproteínas.	Proteínas globulares e polissacarídeos policatiónicos.
Mecanismos de Ação	Ligações de hidrogénio e interações hidrofóbicas com taninos.	Interações hidrofóbicas, atração eletrostática e quelação de metais.
Alergénios (Legislação UE)	Declaração obrigatória.	Isentos de alergénios de declaração obrigatória.

1.2.4.3. Importância da realização da colagem na estabilidade da matéria corante em vinhos tintos

Do ponto de vista físico-químico, a cor dos vinhos tintos jovens é fundamentalmente conferida pelas antocianinas, compostos da família dos flavonoides extraídos das películas da uva durante a maceração. Ao pH típico do vinho (aproximadamente 3,2 a 3,8), o equilíbrio termodinâmico destas moléculas determina que apenas uma pequena fração se encontre na forma de ião flavílio (Figura 7 [22]), a estrutura catiónica responsável pela coloração vermelho-púrpura intensa. Contudo, as antocianinas monoméricas livres são moléculas altamente reativas e instáveis, suscetíveis a fenómenos de hidratação (formando bases carbinol incolores), oxidação ou branqueamento pelo dióxido de enxofre (SO₂) [23].

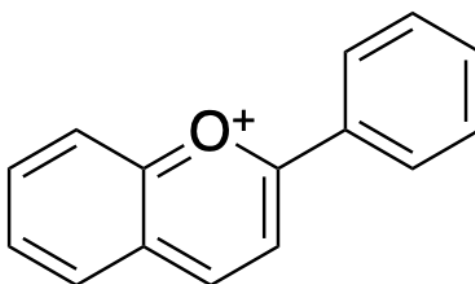


Figura 7 - Estrutura química base do ião flavílio (catião 2-fenilcromenílio), a forma termodinamicamente estável das antocianinas ao pH do vinho responsável pela coloração vermelha [22].

Para garantir a estabilidade cromática a longo prazo, é essencial que as antocianinas monoméricas livres interajam e reajam com os flavano-3-óis (Figura 8 [24]) e com os seus respetivos polímeros, os taninos condensados. A nível molecular, a estabilização ocorre através de duas vias distintas: interações físico-químicas não covalentes (que originam os complexos de copigmentação) e reações químicas covalentes de condensação (que formam os pigmentos poliméricos). Estes dois mecanismos são cruciais, uma vez que protegem a estrutura do ião flavílio contra o ataque nucleofílico da água (hidratação) e a oxidação. Adicionalmente, promovem o desvio batocrómico, ou seja, o deslocamento da banda de absorção máxima (λ_{max}) para comprimentos de onda mais longos, o que se traduz visualmente em tons vermelho-púrpura mais profundos e garante uma matriz cromática estruturalmente mais estável durante o envelhecimento do vinho [17, 25].

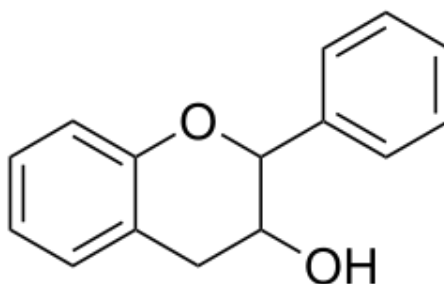


Figura 8 - Estrutura base dos flavano-3-óis, a unidade monomérica fundamental que constitui os taninos condensados do vinho tinto [24].

A operação de colagem assume um papel crítico neste delicado equilíbrio termodinâmico e coloidal. Embora a maioria dos agentes clarificantes proteicos (de origem animal ou vegetal) não apresente uma afinidade reativa direta para com as antocianinas monoméricas livres, eles interagem fortemente com os taninos e, consequentemente, com os pigmentos poliméricos de elevado peso molecular já formados. Ao promover a precipitação destes complexos polifenólicos por atração eletrostática e ligações hidrofóbicas, a colagem interfere diretamente na absorbância do vinho na região do visível. Uma intervenção desajustada (fenómeno de *over-finishing*) conduz a uma precipitação excessiva destes complexos antocianina-tanino, resultando numa perda irreversível de intensidade corante e numa quebra prematura da estabilidade cromática global do vinho [14].

Neste contexto de preservação da cor, a seletividade química do agente clarificante revela-se determinante. A informação da literatura tem demonstrado que as alternativas *vegan*, nomeadamente as proteínas de batata e os derivados de levedura, conseguem atenuar a adstringência (através da precipitação de taninos livres muito reativos) com um impacto tendencialmente menor na remoção dos pigmentos poliméricos estabilizadores, quando comparados com as gelatinas animais de elevada reatividade e peso molecular. Deste modo, a seleção criteriosa do agente de colagem atua como uma ferramenta tecnológica de dupla ação: garante a estabilidade coloidal e modula o perfil tânico, maximizando simultaneamente a preservação da matéria corante essencial para a longevidade dos vinhos tintos [18, 21].

1.3. Objetivos do trabalho experimental

O presente trabalho tem como principal objetivo estudar o impacto das operações de colagem na estabilidade da matéria corante de vinhos tintos, estabelecendo uma comparação entre os vinhos estagiados em madeira e os vinhos estagiados em depósitos de aço inoxidável. Adicionalmente, procura-se avaliar o impacto das colagens nas características físico-químicas dos vinhos. Através desta abordagem comparativa, pretende-se compreender de que forma o histórico de envelhecimento e o perfil polifenólico prévio de cada vinho condicionam a sua resposta aos tratamentos de clarificação.

2. Secção Experimental

Nesta secção será descrito todo o procedimento experimental realizado no decorrer do estudo do impacto da colagem na matéria corante de vinhos tintos com estágio em madeira e em depósitos de aço inox, tendo-se realizado um total de três ensaios experimentais independentes para esse efeito.

2.1. Vinhos em estudo

Para a realização do presente estudo, foram seleccionados quatro vinhos tintos distintos, categorizados em dois grupos metodológicos em função do seu tipo de estágio (madeira e inox) e do ano de colheita (2023 e 2024). A codificação e caracterização geral das matrizes, que procuram garantir a representatividade de ambas as condições de envelhecimento e a variabilidade interanual, encontram-se sistematizadas na Figura 9:

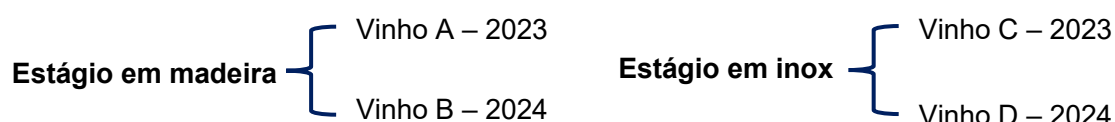


Figura 9 - Codificação e caracterização das matrizes vínicas em estudo, em função do tipo de estágio e do ano de colheita.

Relativamente ao tempo de estágio de cada vinho até à realização dos ensaios, verificou-se uma clara variação entre as amostras. O Vinho A foi submetido numa fase inicial a um estágio em depósito de aço inoxidável com uma duração de 10 meses, seguidos de 14 meses em madeira. Por sua vez, o Vinho B estagiou em depósito de aço inoxidável durante 7 meses, seguidos de 4 meses em madeira. Quanto aos vinhos mantidos exclusivamente em depósito de aço inoxidável, o Vinho C cumpriu um estágio de 25 meses, enquanto o Vinho D estagiou durante 12 meses.

Embora o delineamento experimental ideal previsse a utilização da mesma matriz vínica para ambas as modalidades de estágio, a disponibilidade de stock na empresa ditou a seleção de matrizes diferentes. Contudo, para garantir ao máximo a comparabilidade dos dados, seleccionaram-se vinhos com anos de colheita homólogos, permitindo validar a eficácia dos agentes de colagem em perfis polifenólicos representativos da realidade industrial.

2.2. Materiais e equipamentos analíticos

Neste trabalho além de ter sido utilizado material corrente de laboratório, foram utilizados os seguintes equipamentos específicos, descritos na Tabela 3:

Tabela 3 - Lista de materiais e equipamentos analíticos utilizados no trabalho experimental.

Materiais e equipamentos analíticos
Balança analítica KERN EG 1500 C2M
Balança de precisão KERN 572
Eléctrodo combinado de pH Hanna instruments HI11310 e OPR de bancada edge HI2002
Tubos periformes ENARTIS
Sistema portátil de aquisição de cor por imagem (LED + câmara de <i>smartphone</i>), de construção própria
Medidor de turvação e de bentonite em vinho Hanna instruments HI83749
Equipamento de índice de colmatção ENARTIS
Filtros de membrana de nitrato de celulose, porosidade de 0,65 µm, diâmetro de 25 mm Sartorius
Funil de BÜCHNER em Polipropileno (PP) acoplado a uma unidade de ventilação motorizada THOMAS INDUSTRIES (230 V, 50 HZ, 1.0 A)
Papel de filtro circular, grau 589/1, porosidade de 12-25 µm, diâmetro 150 mm Schleicher & Schuell

2.3. Protocolo de colagem e filtração posterior

Para a realização dos ensaios de colagem, foram selecionados dois agentes de clarificação isentos de compostos de origem animal: o Claril ZR (Enartis), composto por bentonite sódica ativada e proteína vegetal de batata pré-ativada com quitosano, e o Oenovegan EPL (Oenofrance), uma associação de proteína vegetal de ervilha e extratos de levedura. As dosagens aplicadas foram definidas com base nos intervalos de concentração recomendados pelos fabricantes, conforme sistematizado na Tabela 4.

Tabela 4 - Condições de preparação e aplicação dos agentes de colagem, recomendadas pelos fabricantes.

Agente de Colagem	Dose Recomendada (g/hL)	Preparação	Aplicação
Claril ZR	20-40	Dissolver em água fria na razão de 1:10, agitando continuamente até se obter uma suspensão homogénea. Deixar repousar 3-6 horas. Por fim, misturar novamente.	Adicionar lentamente ao vinho sob recirculação. Utilizar imediatamente após preparação.
Oenovegan EPL	5-30	Dispersar em água fria na razão 1:10 e misturar até se obter uma suspensão/solução homogénea.	Incorporar no vinho e homogeneizar bem. Utilizar no mesmo dia da preparação.

Metodologicamente, a amplitude de cada intervalo foi fracionada em três partes, optando-se pela aplicação dos valores correspondentes ao primeiro e segundo terços da amplitude total. Esta abordagem permitiu privilegiar o estudo das concentrações na gama inferior e intermédia, fixando-se as dosagens em 20 g/hL e 30 g/hL para o Claril ZR, e 5 g/hL e 12,5 g/hL para o Oenovegan EPL. A preparação prévia das colas seguiu as proporções e métodos de dispersão indicados na Tabela 4. No caso específico do Claril ZR, a suspensão repousou 5 horas antes da aplicação, sendo novamente misturada, enquanto o Oenovegan EPL foi aplicado ao vinho logo após a sua preparação.

A incorporação das soluções clarificantes nas amostras vínicas foi realizada com recurso a pipetas graduadas, assegurando a correta homogeneização em cada garrafa. Estas permaneceram em contacto com os respetivos agentes de colagem durante um período de 15 dias.

Após o período de colagem, procedeu-se à separação do sobrenadante por decantação, isolando a fração límpida do precipitado formado no fundo da garrafa. O protocolo experimental culminou numa etapa de separação física sequencial compreendendo duas técnicas distintas: uma pré-filtração, destinada à retenção de agregados macromoleculares e material particulado de maiores dimensões, realizada num sistema de filtração a vácuo (funil de Büchner) equipado com papel de filtro circular (porosidade de 12-25 μm); seguida de uma filtração final, operada no equipamento de índice de colmatação com recurso a filtros de membrana de nitrato de celulose (porosidade de 0,65 μm). Esta sequência metodológica teve como objetivo simular as exigências de limpidez e estabilidade físico-química características da fase de pré-engarrafamento.

2.4. Métodos analíticos realizados

A avaliação do efeito dos agentes de clarificação e da eficácia do processo de filtração foi efetuada através da análise de diferentes parâmetros físico-químicos. Para cada condição em estudo, foram realizados três ensaios independentes (réplicas experimentais), de forma a garantir a reprodutibilidade dos resultados e permitir o seu tratamento estatístico. Nas secções seguintes, detalham-se as metodologias aplicadas na caracterização das amostras.

2.4.1. Parâmetros físico-químicos de rotina (pH, turbidez)

O valor do pH foi determinado por leitura direta em cada uma das amostras vínicas, recorrendo a um elétrodo combinado de pH (Hanna Instruments). A calibração prévia do sistema foi efetuada com três soluções padrão (pH 3,00; 7,00 e 10,00). Adicionalmente, utilizou-se uma solução de referência de pH 3,38 para determinar o desvio do equipamento em relação ao valor real; este fator de correção foi posteriormente aplicado a todas as medições efetuadas, garantindo uma maior exatidão dos resultados na gama de acidez da matriz vínica. As leituras foram realizadas à temperatura ambiente, após a estabilização do sinal.

A turbidez das amostras foi medida através de um turbidímetro (Hanna Instruments), baseando-se no princípio nefelométrico. A calibração do equipamento foi

assegurada pela medição de quatro soluções padrão com valores de 0,10; 15,0; 100 e 500 NTU. Para a realização das leituras, o vinho foi transferido para as cuvetes de vidro originais do equipamento, garantindo-se a sua total limpeza e a ausência de marcas superficiais que pudessem interferir na propagação do feixe luminoso. Para cada uma das amostras, o valor final resultou da média de três medições consecutivas, sendo os resultados expressos em Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).

2.4.2. Avaliação das características cromáticas (CIELab: L^* , a^* , b^*)

Dada a inexistência de equipamento analítico para a análise da cor, a caracterização cromática foi realizada através de um método de análise de imagem digital, recorrendo a um dispositivo desenvolvido por mim especificamente no âmbito deste trabalho (Figura 10). Esta câmara escura (caixa preta destinada ao armazenamento de vinho) foi projetada e construída de forma a garantir a exclusão total de luz externa e a estabilidade das condições de medição.

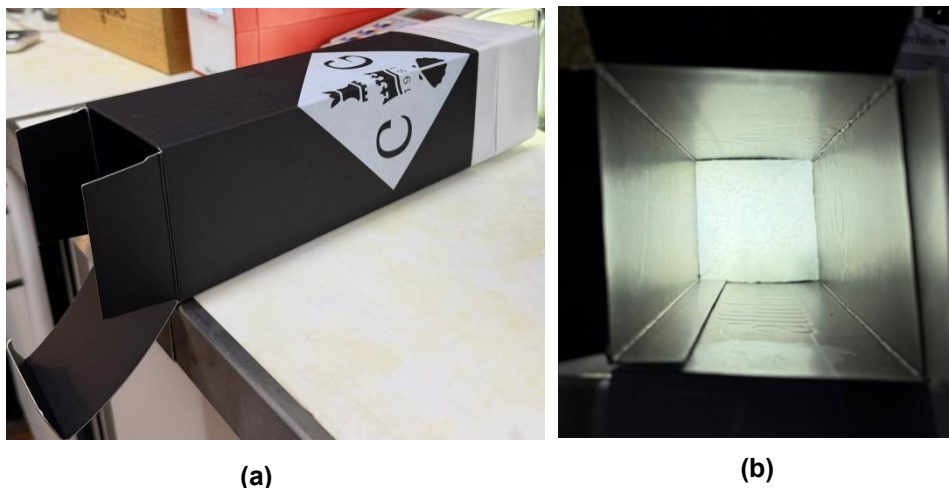


Figura 10 - Dispositivo customizado de análise de imagem desenvolvido no âmbito do trabalho: (a) vista exterior da câmara escura; (b) vista interior com sistema de iluminação LED em toda a base da caixa.

A configuração final do protótipo foi alcançada após uma fase de otimização, na qual se testou inicialmente um sistema de iluminação LED disposto em redor do perímetro interno da caixa. Contudo, esta versão revelou-se ineficaz, pois a luz incidia na amostra de forma difusa, não permitindo a sua correta leitura por transparência. À semelhança do princípio de funcionamento de equipamentos como o FTIR ou o espectrofotómetro, foi necessário reformular o protótipo para um sistema de transmissão direta. Nesta configuração, a fonte de luz e a câmara do *smartphone* (sensor) foram alinhadas de modo que o sensor captasse apenas a radiação que atravessa o gobelé.

Para garantir uma iluminação homogênea e evitar a incidência de feixes de luz pontuais, foi colocado um filtro difusor de papel vegetal à frente da fonte de luz LED.

As amostras foram transferidas para gobelés de vidro de 50 mL, assegurando-se o seu enchimento até à capacidade máxima para manter a uniformidade do caminho ótico em todas as leituras. Os gobelés foram posicionados no interior do dispositivo sobre uma fonte de emissão luminosa (fita LED branca), permitindo a análise das amostras por transmissão (Figura 11).

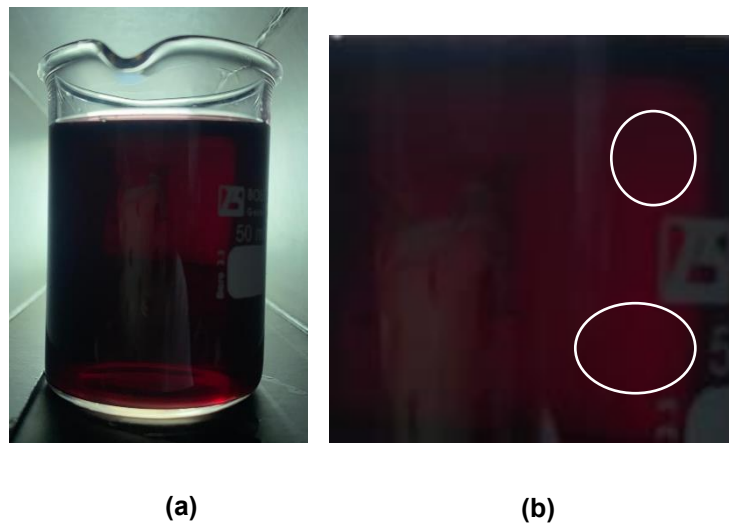


Figura 11 – (a) Posicionamento da amostra de vinho no interior da câmara escura para aquisição de imagem por transmissão; (b) seleção de áreas representativas da amostra (destacadas pelos círculos), dentro das quais foi selecionado o ponto de amostragem para extração das coordenadas cromáticas no software de processamento.

Para a captura das imagens, utilizou-se um *smartphone* equipado com a aplicação *Manual Cam*, que permitiu fixar rigorosamente os seguintes parâmetros fotográficos: foco manual, sensibilidade ISO 50, velocidade de obturação de 1/60 segundos e balanço de brancos de 5000 K. Esta padronização foi fundamental para assegurar a repetibilidade dos resultados entre as diferentes medições.

O processamento digital foi efetuado no *software* GIMP 3. Em cada fotografia, foi selecionado um ponto de amostragem representativo da amostra (Figura 11), garantindo-se a ausência de reflexos ou interferências luminosas nessa zona. Através da ferramenta de recolha de cor (“Pipeta”), o software forneceu diretamente os valores das coordenadas do espaço CIELab: luminosidade (L^*), componente vermelho/verde (a^*) e componente amarelo/azul (b^*), conforme ilustrado na Figura 12. Este procedimento foi aplicado sistematicamente a todas as amostras dos três ensaios experimentais, permitindo uma caracterização quantitativa e comparável da cor.

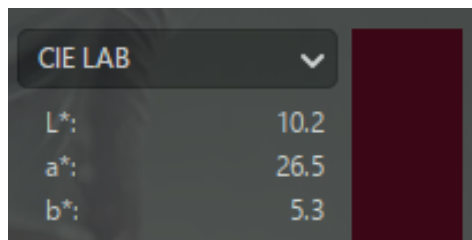


Figura 12 - Interface da ferramenta "Pipeta" evidenciando a extração das coordenadas cromáticas.

O espaço de cor CIELab (Figura 13 [26]) consiste num modelo tridimensional estruturado para refletir a percepção visual humana. Neste sistema, a coordenada L^* expressa a luminosidade (numa escala onde 0 corresponde ao negro absoluto e 100 ao branco puro); a coordenada a^* representa a transição no eixo verde-vermelho (assumindo valores negativos para tons esverdeados e positivos para vermelhos); e a coordenada b^* quantifica a transição no eixo azul-amarelo (com valores negativos para o azul e positivos para o amarelo).

Adicionalmente, para permitir uma interpretação enológica mais intuitiva das características cromáticas, as coordenadas a^* e b^* extraídas pelo *software* foram utilizadas para o cálculo de dois parâmetros derivados: a Saturação (ou *Chroma*, C^*), que traduz a vivacidade ou intensidade global da cor, e a Tonalidade (ou ângulo de matiz, h°), que indica a verdadeira nuance ou cor base da matriz. Estes parâmetros foram determinados através da aplicação das seguintes expressões matemáticas:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$h^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

A conversão e análise destes indicadores permitiu avaliar de forma rigorosa as perdas de vivacidade e os eventuais desvios de tonalidade (para matizes mais amareladas/atijoladas) decorrentes dos diferentes tratamentos de colagem.

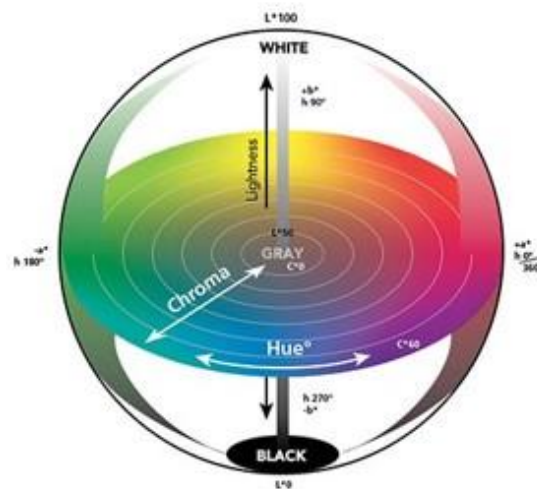


Figura 13 - Representação tridimensional do espaço de cor CIELab, ilustrando as coordenadas de luminosidade (L^*), os eixos cromáticos (a^* e b^*) e os parâmetros derivados de saturação (C^*) e tonalidade (h°) [26].

Por último, para quantificar a magnitude total da alteração de cor induzida pela colagem face à respetiva testemunha, calculou-se a Diferença de Cor Global (ΔE). Este indicador sintetiza as variações das três coordenadas num único valor numérico, permitindo avaliar a relevância visual da intervenção tecnológica segundo a fórmula:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Para a interpretação prática destes resultados, consideraram-se os limiares de perceção visual amplamente estabelecidos na literatura do setor: valores de $\Delta E < 1$ indicam uma diferença impercetível ao olho humano; valores situados entre 1 e 3 são considerados distinguíveis apenas por observadores experientes; e valores de $\Delta E \geq 3$ representam uma diferença de cor perfeitamente percetível para um consumidor comum, conforme descrito na literatura [27].

2.4.3. Ensaio de estabilidade tartárica

A avaliação da estabilidade tartárica é fundamental para prever e evitar a formação de precipitados cristalinos na garrafa, essencialmente compostos por sais de hidrogenotartarato de potássio. De forma a garantir uma avaliação rigorosa, a estabilidade das amostras deste estudo foi determinada através do cruzamento de duas metodologias complementares: um ensaio preditivo clássico de exposição das amostras ao frio e um ensaio analítico instrumental. Os respetivos procedimentos encontram-se detalhados nos subcapítulos seguintes.

2.4.3.1. Teste de frio

Para a avaliação da estabilidade ao frio (focada na precipitação tartárica e da matéria corante), utilizaram-se tubos periformes de sedimentação (Figura 14 [28]), nos quais foram introduzidos 100 mL de cada amostra de vinho. Os tubos foram acondicionados num equipamento de refrigeração com a temperatura predefinida para 4 °C, durante um período total de incubação de 10 dias.

Para garantir o rigor das condições do ensaio, a temperatura interior do frigorífico foi monitorizada e registada periodicamente através de um termómetro de controlo colocado junto às amostras. O acompanhamento da estabilidade foi realizado de forma contínua, verificando-se a evolução do estado do vinho ao longo dos dias. Em cada momento de controlo, procedeu-se à observação visual e à quantificação direta do volume de precipitado formado (em mL), através da leitura na extremidade inferior graduada dos tubos periformes.



Figura 14 - Tubo periforme de sedimentação (100 mL) utilizado no ensaio de estabilidade ao frio [28].

2.4.3.2. Teste de estabilidade tartárica por método analítico

A avaliação analítica da estabilidade tartárica das amostras foi realizada num laboratório externo, na empresa Proenol. Este método instrumental baseia-se na medição da variação da condutividade elétrica da amostra, expressa em microSiemens (μS), permitindo uma avaliação rápida e precisa do risco de precipitação de sais tartáricos.

O princípio subjacente a este ensaio assenta na relação direta entre a presença de iões livres em solução e a capacidade da matriz vínica em conduzir corrente elétrica. Durante o teste, a amostra é submetida a condições que estimulam a cristalização

(tipicamente através do arrefecimento e da adição de cristais de bitartarato de potássio que funcionam como núcleos de condensação). Este estímulo força os iões livres, que se encontram em estado de sobressaturação, a ligarem-se aos cristais e a transitarem para a fase sólida (precipitação). À medida que estes iões deixam de estar livres na fase líquida para transportar carga elétrica, a condutividade do meio diminui. Desta forma, uma variação acentuada da condutividade traduz um elevado grau de precipitação e indica que o vinho original é instável; inversamente, uma variação residual demonstra que a amostra já se encontrava num estado próximo do equilíbrio químico, apresentando baixo risco de precipitação.

Os resultados foram fornecidos pelo laboratório de acordo com uma escala padronizada de risco de instabilidade para vinhos tintos. A classificação das amostras baseou-se nos limiares de variação de condutividade sistematizados na Tabela 5.

Tabela 5 - Critérios de classificação da estabilidade tartárica para vinhos tintos, baseados na variação da condutividade elétrica.

Variação da condutividade (μS)	Classificação da estabilidade
< 30	Muito estável
30 – 60	Estável
61 – 70	Risco
> 70	Não estável

De salientar que, de acordo com as especificações do método laboratorial utilizado, este ensaio avalia estritamente a instabilidade associada ao bitartarato de potássio, não prevendo eventuais instabilidades provocadas pela precipitação de tartarato de cálcio.

2.4.4. Quantificação de sedimentos

A determinação do volume de sedimentos (também designado por borras) foi realizada com o objetivo de avaliar a eficiência dos agentes de colagem utilizados. Para este ensaio, utilizaram-se amostras de 750 mL em garrafas de vidro que, após a adição dos respetivos agentes, permaneceram em repouso absoluto durante um período de 15 dias. Este intervalo permitiu a decantação estática e a consequente deposição gravitacional das partículas sólidas no fundo de cada recipiente.

Decorrido o período de clarificação, procedeu-se à separação física das fases através da inclinação progressiva do recipiente original para a transferência da fase

líquida sobrenadante (vinho límpido) para uma nova garrafa (Figura 15 [29]). Esta operação foi rigorosamente controlada de forma visual e interrompida assim que a interface líquido-sólido atingiu o gargalo da garrafa, de modo a evitar a ressuspensão e o arraste de partículas precipitadas. Por fim, o volume de sedimento residual foi transferido na íntegra para uma proveta graduada para medição direta, sendo os resultados expressos em mililitros (mL).

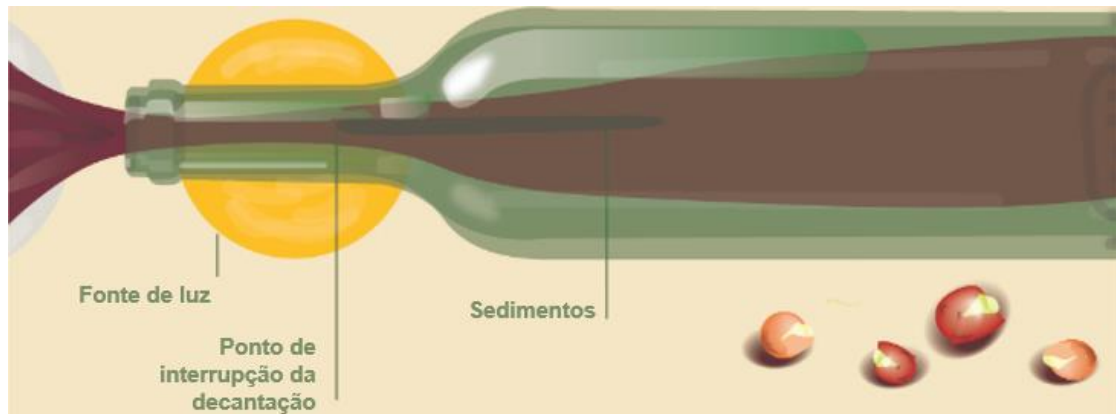


Figura 15 - Representação esquemática da separação do vinho límpido por decantação, evidenciando o controlo visual para evitar o arrastamento dos sedimentos [29].

2.5. Análise Sensorial

A avaliação sensorial das amostras teve como principal objetivo determinar o impacto organolético dos diferentes tratamentos de colagem aplicados. O ensaio consistiu na comparação direta entre o vinho testemunha (sem agentes clarificantes adicionados) e as amostras submetidas às diferentes concentrações dos agentes de clarificação em estudo.

A prova sensorial foi conduzida por uma profissional de enologia, com o intuito de aferir as alterações qualitativas no perfil do vinho. Para a sistematização e registo dos dados, recorreu-se a uma ficha de prova estruturada, incidindo sobre cinco parâmetros descritivos fundamentais, distribuídos pelas fases visual, olfativa e gustativa:

- Intensidade da Cor: Avaliação do impacto visual dos tratamentos na profundidade e tonalidade da amostra.
- Intensidade Aromática: Apreciação da fase olfativa, com foco na força e na preservação da pureza dos aromas originais.

- Estrutura/Corpo: Percepção tátil da densidade, volume e peso do vinho no palato durante a fase gustativa.
- Intensidade dos taninos: Avaliação da sensação de adstringência provocada pelos taninos durante a prova.
- Apreciação Global: Avaliação integrativa, refletindo o equilíbrio e a harmonia geral da amostra após a aplicação dos tratamentos.

A quantificação de cada parâmetro foi expressa com recurso a uma escala numérica inteira de 1 a 5, em que o valor 1 corresponde à intensidade ou apreciação mínima, e o valor 5 à intensidade ou apreciação máxima. Os resultados obtidos serviram como complemento direto à caracterização físico-química, permitindo validar a viabilidade dos agentes de colagem ao nível da matriz sensorial.

2.6. Tratamento estatístico dos dados

O processamento e o tratamento estatístico dos dados experimentais foram realizados com recurso ao software Microsoft Excel. Os métodos e critérios estatísticos específicos adotados para a análise de cada parâmetro, de acordo com a sua natureza quantitativa ou qualitativa, encontram-se detalhados nas respetivas secções de apresentação e discussão dos resultados.

3. Resultados e Discussão

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados do trabalho experimental relativos à aplicação dos diferentes agentes de colagem. A análise inicia-se pela avaliação da eficácia clarificante e do impacto dos tratamentos nos parâmetros físico-químicos e nas características cromáticas dos vinhos. Seguidamente, são discutidos os resultados dos testes de estabilidade, investigando-se a correlação entre o tipo de estágio (madeira *versus* aço inoxidável) e a reatividade dos clarificantes. O capítulo encerra com os resultados da avaliação sensorial, que complementam as determinações analíticas.

Com o objetivo de tornar a leitura mais fluída, cada amostra passou a ser identificada de forma simples através de uma letra e de um número. A correspondência completa desta codificação encontra-se detalhada na Tabela 6.

Tabela 6 - Sistema de codificação alfanumérica das amostras de vinho tinto e respetivos tratamentos de colagem.

Vinho	Designação
A	A
A com Claril ZR 20 g/hL	A1
A com Claril ZR 30 g/hL	A2
A com Oenovegan EPL 5 g/hL	A3
A com Oenovegan EPL 12,5 g/hL	A4
B	B
B com Claril ZR 20 g/hL	B1
B com Claril ZR 30 g/hL	B2
B com Oenovegan EPL 5 g/hL	B3
B com Oenovegan EPL 12,5 g/hL	B4
C	C
C com Claril ZR 20 g/hL	C1
C com Claril ZR 30 g/hL	C2
C com Oenovegan EPL 5 g/hL	C3
C com Oenovegan EPL 12,5 g/hL	C4
D	D
D com Claril ZR 20 g/hL	D1
D com Claril ZR 30 g/hL	D2
D com Oenovegan EPL 5 g/hL	D3
D com Oenovegan EPL 12,5 g/hL	D4

3.1. Eficácia clarificante e impacto nos parâmetros físico-químicos

A avaliação da eficácia do processo de colagem e do seu impacto na matriz vínica iniciou-se pela análise dos parâmetros físico-químicos fundamentais, com particular atenção ao pH, à turbidez e à formação de sedimentos (borras). Relativamente ao pH, os resultados obtidos demonstraram que a aplicação dos agentes de colagem Claril ZR e Oenovegan EPL, independentemente das dosagens testadas, não comprometeu o meio ácido dos vinhos em estudo. Conforme se pode observar na Tabela 7, as flutuações registadas entre os tratamentos aplicados para os vinhos A, B, C e D, e as respetivas testemunhas foram residuais, situando-se consistentemente num intervalo de variação inferior a 0,03 unidades.

A análise estatística efetuada corrobora esta observação, uma vez que todos os valores-p calculados foram superiores ao nível de significância de 0,05, o que indica a ausência de diferenças estatisticamente significativas (para um grau de confiança de 95%) provocadas pelos tratamentos de colagem. Os dados detalhados referentes aos três ensaios independentes que deram origem a estas médias encontram-se compilados na Tabela A1 (Anexos). Do ponto de vista enológico, este comportamento é o esperado, uma vez que a ação dos agentes de colagem proteicos se foca na interação com coloides e compostos fenólicos em suspensão, não interferindo diretamente na concentração de iões H^+ livres que definem o valor de pH da matriz.

Tabela 7 - Efeito dos diferentes tratamentos de colagem no pH dos vinhos em estudo (A, B, C e D), expressos em valores médios e respetivo desvio padrão, incluindo a variação face à testemunha (Δ pH) e a análise de significância estatística (valor-p).

pH				
Vinho	Média	Desvio padrão	Δ pH	valor-p
A	3,720	0,040	-	-
A1	3,697	0,023	-0,023	0,431
A2	3,703	0,021	-0,017	0,557
A3	3,703	0,035	-0,017	0,616
A4	3,700	0,030	-0,020	0,527
B	3,767	0,047	-	-
B1	3,750	0,010	-0,017	0,582
B2	3,757	0,012	-0,010	0,740
B3	3,737	0,035	-0,030	0,427
B4	3,750	0,020	-0,017	0,604
C	3,737	0,055	-	-
C1	3,720	0,000	-0,017	0,628
C2	3,717	0,006	-0,020	0,566
C3	3,713	0,025	-0,023	0,541
C4	3,727	0,031	-0,010	0,797
D	3,667	0,040	-	-
D1	3,643	0,006	-0,023	0,378
D2	3,637	0,012	-0,030	0,284
D3	3,640	0,017	-0,027	0,353
D4	3,647	0,015	-0,020	0,468

Ultrapassada a validação do pH, a eficácia do processo de colagem foi avaliada de forma direta através da quantificação da variação da turbidez (expressa em NTU), conforme descrito na Tabela 8. Os dados detalhados referentes aos três ensaios independentes que deram origem a estas médias encontram-se compilados na Tabela A2 (Anexos). A análise dos dados revelou uma acentuada dependência da eficácia clarificante não só face à natureza e dosagem da proteína aplicada, mas sobretudo face à matriz intrínseca de cada vinho (A, B, C e D).

Tabela 8 - Efeito dos diferentes tratamentos de colagem na turbidez (NTU) dos vinhos em estudo (A, B, C e D), expressos em valores médios e respetivo desvio padrão, incluindo a variação face à testemunha (Δ turbidez) e a análise de significância estatística (valor-p).

Turbidez (NTU)				
Vinho	Média	Desvio padrão	Δ turbidez	valor-p
A	0,657	0,049	-	-
A1	0,463	0,099	-0,193	0,04
A2	0,580	0,072	-0,077	0,20
A3	0,380	0,072	-0,277	0,01
A4	0,507	0,152	-0,150	0,18
B	0,537	0,112	-	-
B1	0,400	0,060	-0,137	0,13
B2	0,600	0,257	0,063	0,72
B3	0,473	0,199	-0,063	0,66
B4	0,667	0,480	0,130	0,67
C	1,613	0,841	-	-
C1	0,997	0,417	-0,617	0,32
C2	1,037	0,607	-0,577	0,39
C3	0,873	0,476	-0,740	0,26
C4	0,893	0,555	-0,720	0,28
D	0,707	0,393	-	-
D1	0,563	0,412	-0,143	0,69
D2	0,557	0,203	-0,150	0,59
D3	0,760	0,333	0,053	0,87
D4	0,627	0,394	-0,080	0,82

No Vinho A (estagiado em madeira), a turbidez inicial da testemunha (0,66 NTU) foi reduzida em todos os tratamentos de colagem. Destaca-se o tratamento com 5 g/hL de Oenovegan EPL, que permitiu alcançar o valor de turbidez mais baixo de todo o ensaio para esta matriz (0,38 NTU), seguido da aplicação de 20 g/hL de Claril ZR, que também demonstrou elevada eficácia (0,46 NTU). Curiosamente, o aumento das dosagens para os limites máximos testados (30 g/hL no Claril ZR e 12,5 g/hL no Oenovegan EPL) resultou num decréscimo da eficácia clarificante face às doses mais baixas, evidenciando que a saturação do meio compromete a limpidez final.

Esta dinâmica assumiu contornos críticos no Vinho B (estagiado em madeira). Enquanto a dose de 20 g/hL de Claril ZR se consolidou como o tratamento mais eficaz (reduzindo a turbidez de 0,54 NTU para 0,40 NTU), a aplicação das doses máximas (30 g/hL de Claril ZR e 12,5 g/hL de Oenovegan EPL) originou um nítido fenómeno de sobrecolagem (*over-fining*), com a turbidez a subir para 0,60 NTU e 0,67 NTU, respetivamente. Numa situação de sobredosagem, o rápido esgotamento dos compostos fenólicos disponíveis (reagente limitante) impede a neutralização das cargas elétricas da proteína em excesso. Consequentemente, estas macromoléculas não se conseguem agregar para precipitar, mantendo-se estabilizadas em suspensão por repulsão eletrostática. É exatamente a presença desta fração de proteína livre e em suspensão no meio vínico que se traduz no aumento da turbidez registado.

A importância da matriz vínica ficou também visível no Vinho C (estagiado em inox), que partiu de uma turbidez inicial substancialmente superior à dos restantes vinhos (1,61 NTU). Neste meio mais turvo, todos os tratamentos promoveram reduções significativas da turbidez, com o agente de colagem Oenovegan EPL a 5 g/hL a demonstrar uma maior eficácia clarificante (0,87 NTU).

Por fim, no Vinho D (estagiado em inox), a eficácia clarificante dependeu fortemente da natureza e dose do agente de colagem. As duas dosagens de Claril ZR reduziram consistentemente a turbidez (ambas para 0,56 NTU), enquanto o Oenovegan EPL apresentou resultados contrastantes: a dose máxima promoveu uma diminuição mínima da turbidez, mas a dose mínima (5 g/hL) elevou a turbidez para 0,76 NTU. Este aumento sugere a formação de microflocos estáveis que, por não terem uma grande dimensão, não precipitaram e permaneceram em suspensão na matriz.

A análise gráfica (Gráfico 1) permite avaliar o impacto das diferentes concentrações dos dois agentes de colagem, evidenciando em simultâneo a influência do tipo de estágio (madeira vs inox). Observa-se de forma clara que o vinho C, estagiado em cuba de inox, registou as maiores amplitudes na diminuição da turbidez, comparativamente aos restantes vinhos. Adicionalmente, verifica-se que a maior diminuição da turbidez ocorreu com o tratamento com o agente de colagem Oenovegan EPL, sendo o que induziu o maior efeito clarificante.

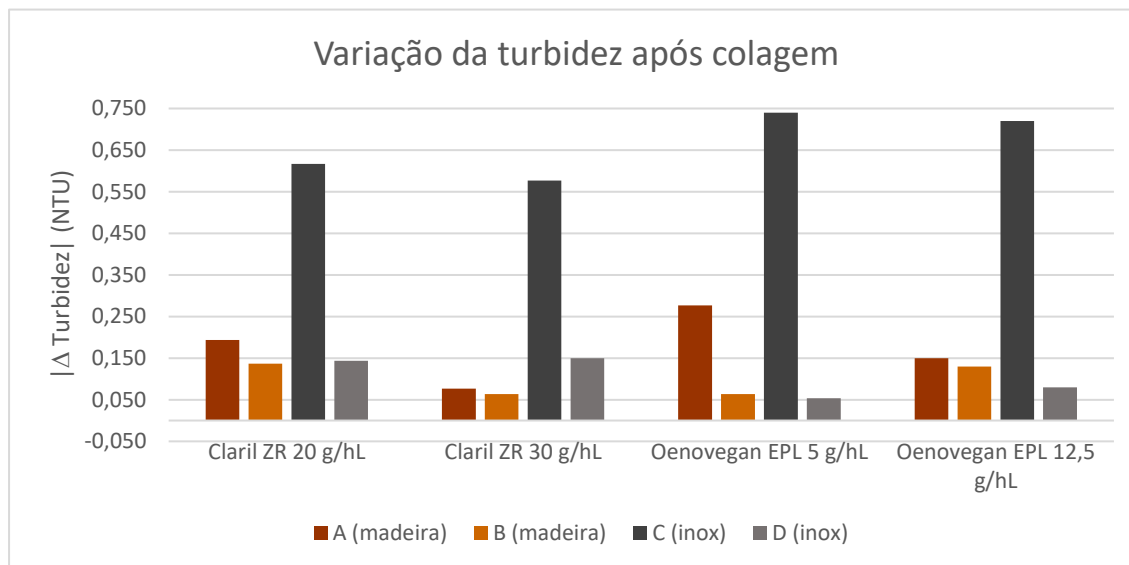


Gráfico 1 - Variação absoluta da turbidez, após a realização da colagem, ($|\Delta\text{Turbidez}|$, em NTU) promovida pelas diferentes concentrações dos agentes de colagem (Claril ZR e Oenovegan EPL) nos quatro vinhos estudados.

De uma forma global, a análise dos dados permite concluir que o processo de colagem cumpriu o objetivo de clarificação na quase totalidade dos tratamentos testados, promovendo uma redução efetiva da turbidez inicial. Embora a análise estatística realizada, recorrendo à ANOVA de fator único (Tabelas A3 a A6 em anexo), indique que estas reduções apenas alcançaram significância ao nível de 95% ($p < 0,05$) no Vinho A, especificamente nas doses de 20 g/hL de Claril ZR e 5 g/hL de Oenovegan EPL, nos restantes vinhos (B, C e D) observou-se uma tendência clara de melhoria da limpidez. Em suma, os resultados demonstram que a colagem é uma ferramenta eficaz, mas refutam a premissa de que doses mais elevadas garantem uma maior limpidez, reforçando a importância da realização de ensaios experimentais para otimizar a relação eficácia-rendimento.

Complementarmente à avaliação da turbidez, a quantificação do volume de sedimentos (borras) gerados no processo de colagem assume uma importância crucial, uma vez que determina o rendimento prático da operação. Os dados referentes a esta quantificação encontram-se sumarizados na Tabela 9. Os dados detalhados referentes aos três ensaios independentes que deram origem a estas médias encontram-se compilados na Tabela A7 (Anexos).

Tabela 9 - Efeito dos diferentes tratamentos de colagem na quantificação de sedimentos (mL) dos vinhos em estudo (A, B, C e D), expressos em valores médios e respetivo desvio padrão.

Quantificação de sedimentos (mL)		
Vinho	Média	Desvio padrão
A	-	-
A1	42,0	12,8
A2	49,7	19,7
A3	66,7	20,6
A4	73,0	5,2
B	-	-
B1	48,7	23,9
B2	50,3	12,1
B3	73,3	2,9
B4	64,7	14,6
C	-	-
C1	55,0	14,7
C2	46,7	14,3
C3	72,0	4,4
C4	74,3	4,9
D	-	-
D1	55,7	6,7
D2	61,3	14,6
D3	72,7	6,8
D4	62,3	18,1

Para uma melhor compreensão da dinâmica de floculação, e posterior deposição, e do compromisso entre a eficácia clarificante e o rendimento da operação, os resultados foram ilustrados graficamente (Gráfico 2), recorrendo aos valores da turbidez e da quantificação de sedimentos, que se encontram sintetizados na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores de turbidez (NTU) e de quantificação de sedimentos (mL) obtidos para os diferentes tratamentos aplicados.

Vinho	Turbidez (NTU)	Quantificação de sedimentos (mL)
A1	0,46	42,0
A2	0,58	49,7
A3	0,38	66,7
A4	0,51	73,0
B1	0,40	48,7
B2	0,60	50,3
B3	0,47	73,3
B4	0,67	64,7
C1	1,00	55,0
C2	1,04	46,7
C3	0,87	72,0
C4	0,89	74,3
D1	0,56	55,7
D2	0,56	61,3
D3	0,76	72,7
D4	0,63	62,3

Relação entre turbidez e volume de borras

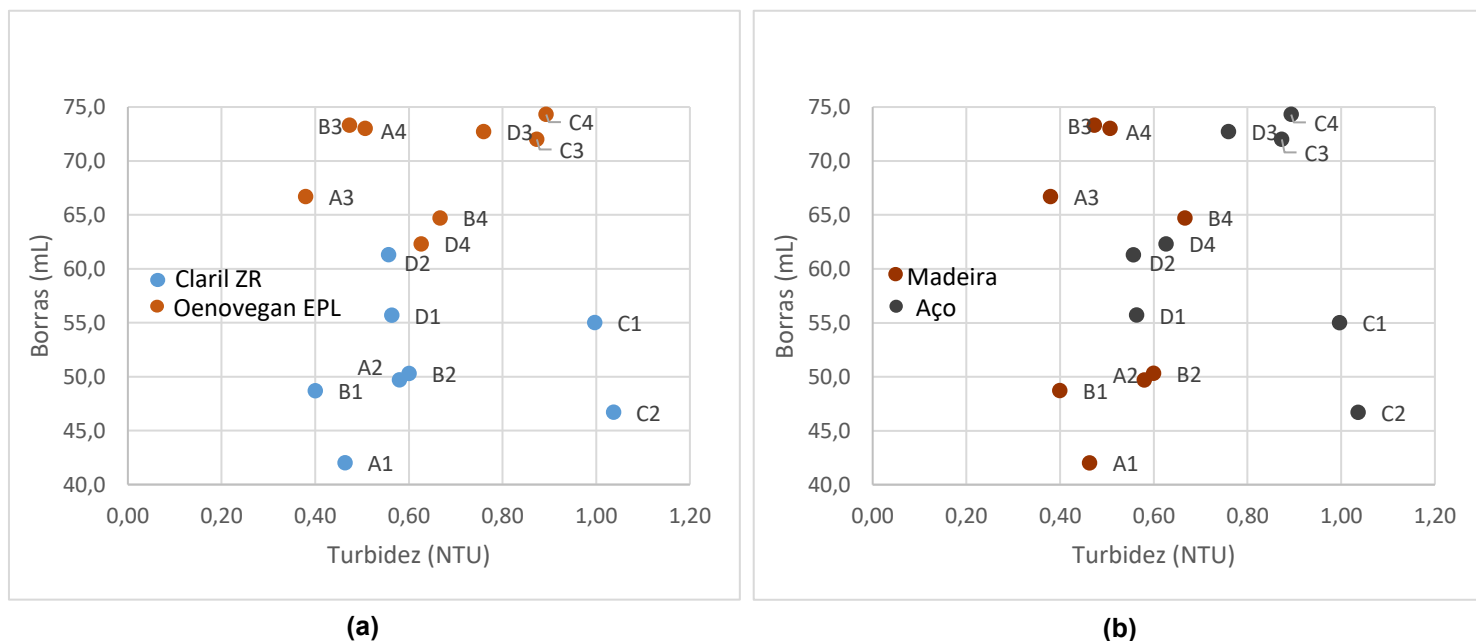


Gráfico 2 - Correlação entre a turbidez (NTU) e o volume de sedimentos gerado (mL), evidenciando a dispersão dos resultados em função do (a) agente de colagem aplicado (Claril ZR e Oenovegan EPL) e em função do (b) tipo de estágio (madeira e aço inoxidável).

A análise do Gráfico 2 evidencia um claro contraste entre os agentes de colagem aplicados. Verifica-se que os vinhos tratados com Claril ZR apresentam, de forma consistente, um menor volume de borras por oposição aos ensaios onde se aplicou Oenovegan EPL, demonstrando uma capacidade de compactação superior. Por outro lado, a dispersão dos resultados não evidencia um padrão claro associado ao tipo de estágio. Esta observação permite concluir que a correlação entre a eficácia clarificante e o volume de borras depende fundamentalmente da natureza do agente de colagem, que se sobrepõe à influência do histórico do vinho.

Do ponto de vista tecnológico e industrial, o cenário de colagem ideal pressupõe a obtenção simultânea de uma baixa turbidez e de um reduzido volume de sedimentos (borras). Esta otimização é fundamental para garantir a máxima limpidez do vinho e, em simultâneo, minimizar as perdas de vinho límpido que fica retido nas borras. Neste contexto, destacam-se os ensaios correspondentes aos pontos A1 e B1 relativos, respetivamente, às matrizes com estágio em madeira tratadas com Claril ZR. Estes tratamentos representam o melhor compromisso técnico alcançado no estudo, posicionando-se na zona mais favorável do gráfico (canto inferior esquerdo), por aliarem uma excelente eficácia clarificante a um volume de borras mais reduzido.

3.2. Impacto da colagem nas características cromáticas

Para avaliar o impacto da colagem nas características cromáticas, foram determinados os parâmetros de cor no espaço CIELab (L^* , a^* e b^*) para todas os tratamentos em estudo, integrando tanto os vinhos testemunhas como os vinhos submetidos à ação dos agentes clarificantes utilizados. Os resultados médios e respetivos desvios padrões obtidos nesta análise encontram-se compilados nas Tabelas 11, 12 e 13. Os dados detalhados referentes aos três ensaios independentes que deram origem a estas médias encontram-se compilados nas Tabelas A8 a A10 (Anexos).

Tabela 11 - Efeito dos diferentes tratamentos de colagem no parâmetro L* dos vinhos em estudo (A, B, C e D), expressos em valores médios e respetivo desvio padrão, incluindo a variação face à testemunha (ΔL^*).

L*			
Vinho	Média	Desvio padrão	ΔL^*
A	4,53	0,92	-
A1	3,67	0,42	-0,87
A2	4,90	0,75	0,37
A3	3,90	0,98	-0,63
A4	5,20	1,65	0,67
B	3,47	0,83	-
B1	2,73	1,40	-0,73
B2	3,47	1,59	0,00
B3	3,53	1,12	0,07
B4	2,83	0,97	-0,63
C	6,10	3,55	-
C1	7,10	3,06	1,00
C2	8,13	2,07	2,03
C3	7,53	1,80	1,43
C4	8,37	1,69	2,27
D	7,03	3,23	-
D1	5,67	1,76	-1,37
D2	5,53	1,33	-1,50
D3	5,90	1,37	-1,13
D4	5,80	1,06	-1,23

Tabela 12 - Efeito dos diferentes tratamentos de colagem no parâmetro a^* dos vinhos em estudo (A, B, C e D), expressos em valores médios e respetivo desvio padrão, incluindo a variação face à testemunha (Δa^*).

a^*			
Vinho	Média	Desvio padrão	Δa^*
A	10,90	2,77	-
A1	9,07	3,16	-1,83
A2	10,67	1,60	-0,23
A3	9,80	0,72	-1,10
A4	10,37	3,52	-0,53
B	5,93	0,61	-
B1	2,87	2,70	-3,07
B2	4,07	1,22	-1,87
B3	3,50	1,04	-2,43
B4	5,07	1,66	-0,87
C	18,90	6,94	-
C1	21,70	3,84	2,80
C2	23,77	4,83	4,87
C3	22,30	0,26	3,40
C4	25,97	3,02	7,07
D	19,77	7,60	-
D1	18,10	4,52	-1,67
D2	17,73	4,53	-2,03
D3	19,43	2,65	-0,33
D4	19,17	2,95	-0,60

Tabela 13 - Efeito dos diferentes tratamentos de colagem no parâmetro b^* dos vinhos em estudo (A, B, C e D), expressos em valores médios e respetivo desvio padrão, incluindo a variação face à testemunha (Δb^*).

b^*			
Vinho	Média	Desvio padrão	Δb^*
A	1,03	2,20	-
A1	-0,03	1,19	-1,07
A2	0,90	1,30	-0,13
A3	0,67	0,45	-0,37
A4	-0,63	2,25	-1,67
B	-0,93	2,17	-
B1	-1,40	0,53	-0,47
B2	-1,07	1,50	-0,13
B3	-1,37	1,20	-0,43
B4	-1,00	0,00	-0,07
C	3,43	1,69	-
C1	3,53	1,20	0,10
C2	5,80	1,74	2,37
C3	3,20	2,51	-0,23
C4	6,00	0,98	2,57
D	2,97	2,18	-
D1	2,90	0,98	-0,07
D2	3,00	0,72	0,03
D3	3,17	1,04	0,20
D4	2,63	1,59	-0,33

De forma a aferir se as variações numéricas observadas possuíam verdadeira relevância estatística, ou seja, se a colagem induziu uma alteração significativa e real na cor face ao vinho original, procedeu-se à análise comparativa dos dados provenientes dos três ensaios laboratoriais. Através do cálculo do valor-p, comparou-se o conjunto de resultados de cada vinho testemunha com os valores obtidos para os diversos tratamentos aplicados. Este tratamento estatístico foi aplicado transversalmente a todos os vinhos e para cada um dos parâmetros cromáticos individuais (L^* , a^* e b^*), assumindo-se um nível de significância de 5% ($p < 0,05$) para validar a existência de diferenças estatisticamente significativas. Como se consegue

verificar nas Tabelas A11 a A14 (Anexos), apenas um tratamento, Vinho B com Oenovegan EPL 5 g/hL, apresentou uma diferença estatisticamente significativa relativamente ao parâmetro a^* , tendo-se obtido um valor-p igual a 0,03. Este resultado demonstra que, de um modo geral, os agentes clarificantes em estudo são altamente respeitadores da matriz cromática dos vinhos, não promovendo uma remoção significativa da matéria corante.

Complementarmente à análise das coordenadas individuais, procedeu-se ao cálculo da Saturação (C^*) e da Tonalidade (h°), recorrendo aos valores médios de a^* e b^* obtidos para cada tratamento. Os valores obtidos encontram-se sintetizados na Tabela 14. Estes parâmetros são fundamentais para uma interpretação mais próxima da perceção visual humana, permitindo distinguir se as operações de colagem afetaram a intensidade cromática (vivacidade) ou se promoveram algum desvio na cor original do vinho.

Tabela 14 – Valores obtidos de saturação (C^*) e tonalidade (h°) para todos os tratamentos, calculados a partir dos valores médios das coordenadas cromáticas a^* e b^* .

Vinho	C^*	h°	ΔC^*	Δh°
A	10,95	5,42	-	-
A1	9,07	-0,21	-1,88	-5,63
A2	10,70	4,82	-0,24	-0,59
A3	9,82	3,89	-1,13	-1,52
A4	10,39	-3,50	-0,56	-8,91
B	6,01	-8,94	-	-
B1	3,19	-26,03	-2,82	-17,09
B2	4,20	-14,70	-1,80	-5,76
B3	3,76	-21,33	-2,25	-12,39
B4	5,16	-11,16	-0,84	-2,23
C	19,21	10,30	-	-
C1	21,99	9,25	2,78	-1,05
C2	24,46	13,71	5,25	3,42
C3	22,53	8,17	3,32	-2,13
C4	26,65	13,01	7,44	2,71
D	19,99	8,54	-	-
D1	18,33	9,10	-1,66	0,57
D2	17,99	9,60	-2,00	1,07
D3	19,69	9,26	-0,30	0,72
D4	19,35	7,82	-0,64	-0,71

No que concerne à saturação (vivacidade da cor), observa-se um comportamento tendencialmente redutor na maioria dos tratamentos. Nos vinhos estagiados em madeira (A e B) e no vinho D (inox), os tratamentos resultaram em valores de ΔC^* negativos, traduzindo uma ligeira perda de intensidade cromática face à respetiva testemunha. Este efeito, expectável em operações de clarificação por remoção de matéria coloidal, foi mais pronunciado no Vinho B tratado com Claril ZR a 20 g/hL ($\Delta C^* = -2,82$). Em oposição a esta tendência, o Vinho C (inox) revelou um ganho expressivo de saturação em todos os tratamentos (com o ΔC^* a atingir +7,44 no ensaio com Oenovegan EPL a 12,5 g/hL), sugerindo que, nesta matriz específica, a colagem promoveu a remoção de partículas em suspensão que se encontravam a mascarar a vivacidade intrínseca da cor.

Relativamente à tonalidade (matiz), a avaliação global dos valores de Δh° revela resultados francamente positivos do ponto de vista tecnológico. De um modo geral, os tratamentos induziram variações negativas no ângulo de matiz (especialmente visíveis nos vinhos A e B). Do ponto de vista prático, uma diminuição do Δh° significa que os agentes de colagem não promoveram qualquer desvio da cor para tonalidades amarelas ou atijoladas. Ou seja, quer o Claril ZR quer o Oenovegan EPL provaram não induzir qualquer oxidação visual prematura, preservando as nuances vermelhas originais dos vinhos. O Vinho D destacou-se pela sua extrema estabilidade neste parâmetro, apresentando oscilações de tonalidade praticamente nulas.

A avaliação do impacto da colagem na cor dos vinhos foi rematada com a análise da Diferença de Cor Global (ΔE). A quantificação deste parâmetro é fundamental, uma vez que traduz o somatório das variações das coordenadas individuais (L^* , a^* e b^*) num impacto visual real. Os valores obtidos para os diferentes tratamentos de colagem encontram-se sintetizados na Tabela 15 e ilustrados no Gráfico 3.

Tabela 15 - Valores da Diferença de Cor Global (ΔE) obtidos para as diferentes matrizes vínicas (A, B, C e D) em função dos tratamentos de colagem aplicados.

Diferença de cor global				
Vinho	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
A	-	-	-	-
A1	-0,87	-1,83	-1,07	2,29
A2	0,37	-0,23	-0,13	0,45
A3	-0,63	-1,10	-0,37	1,32
A4	0,67	-0,53	-1,67	1,87
B	-	-	-	-
B1	-0,73	-3,07	-0,47	3,19
B2	0,00	-1,87	-0,13	1,87
B3	0,07	-2,43	-0,43	2,47
B4	-0,63	-0,87	-0,07	1,08
C	-	-	-	-
C1	1,00	2,80	0,10	2,97
C2	2,03	4,87	2,37	5,78
C3	1,43	3,40	-0,23	3,70
C4	2,27	7,07	2,57	7,85
D	-	-	-	-
D1	-1,37	-1,67	-0,07	2,16
D2	-1,50	-2,03	0,03	2,53
D3	-1,13	-0,33	0,20	1,20
D4	-1,23	-0,60	-0,33	1,41

Diferença de Cor Global

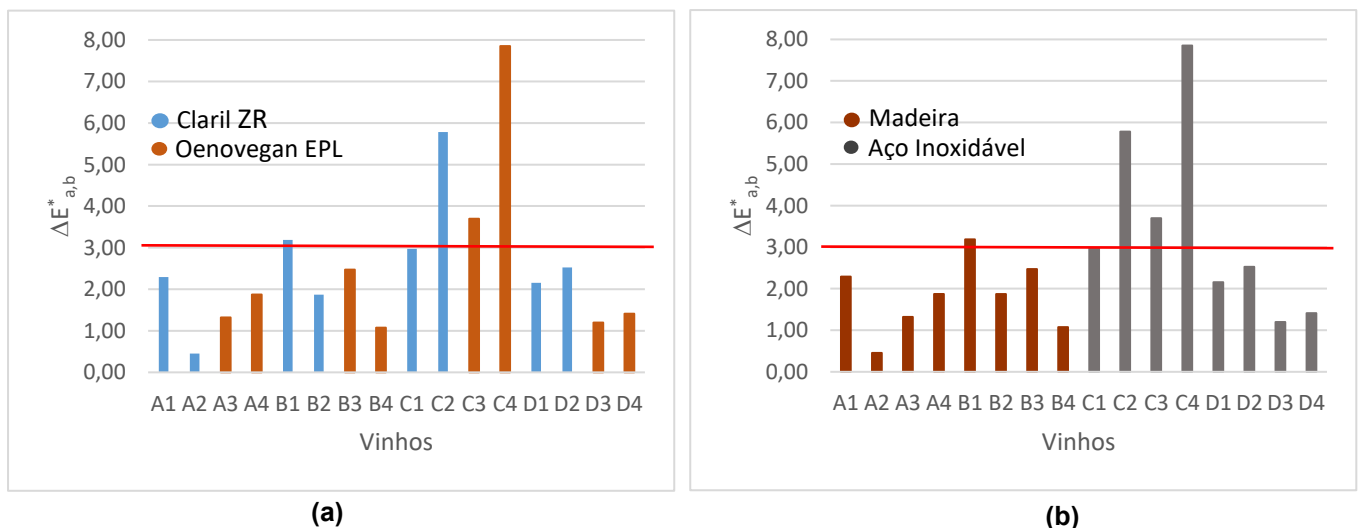


Gráfico 3 - Diferença de cor global (ΔE) registada nas quatro matrizes vínicas (A, B, C e D) em função dos (a) tratamentos de colagem e respectivas dosagens e em função do (b) tipo de estágio.

Os Vinhos A e D demonstraram uma estabilidade cromática global assinalável, apresentando impactos de magnitude intermédia. No Vinho D, todos os tratamentos resultaram em valores de ΔE situados estritamente entre 1 e 3 (variando de 1,20 a 2,53). No Vinho A, o comportamento foi semelhante, com a maioria dos valores neste mesmo intervalo, destacando-se a aplicação de Claril ZR a 30 g/hL, que originou uma variação impercetível ao olho humano ($\Delta E = 0,45$). Na prática, as alterações verificadas relativamente a estes dois vinhos são distinguíveis apenas por observadores experientes, não sendo perceptíveis pelo consumidor comum.

O Vinho B evidenciou uma reatividade ligeiramente superior. Embora a maioria dos tratamentos tenha mantido o ΔE na faixa de distinção para peritos (valores entre 1 e 3), a aplicação de Claril ZR na dosagem de 20 g/hL ultrapassou o limiar crítico, atingindo um ΔE de 3,19. Este valor indica que, para esta condição específica, a alteração de cor já se torna perceptível a olho nu.

Em contraste, o Vinho C assumiu-se como a matriz com maior suscetibilidade visual à intervenção tecnológica. Praticamente todos os tratamentos aplicados a este vinho geraram valores de ΔE expressivamente superiores a 3 (com exceção do Claril ZR a 20 g/hL, que ficou no limiar com 2,97). O impacto mais notório foi registado com o tratamento Oenovegan EPL a 12,5 g/hL, tendo-se obtido um valor de ΔE de 7,85. Estes resultados comprovam que, para esta matriz, as operações de clarificação provocaram modificações cromáticas óbvias e perfeitamente perceptíveis por qualquer consumidor.

Os dados demonstram que as colagens tenderam a preservar a integridade visual da maioria dos vinhos, mantendo as alterações nos limites da percepção pericial. O Vinho C constituiu a grande exceção, sofrendo transformações visuais profundas, fenómeno que corrobora os ganhos expressivos de saturação registados e previamente discutidos para esta matriz.

Em suma, a análise da diferença de cor global permite concluir que o agente de colagem Oenovegan EPL foi o responsável pelas alterações visuais mais marcadas. Relativamente ao tipo de estágio, destacaram-se os vinhos com estágio em inox, uma vez que foi nestes vinhos que a intervenção tecnológica induziu a maior transformação visual do estudo.

3.3. Estabilidade tartárica e estabilidade da cor

O impacto do processo de colagem na integridade físico-química dos vinhos foi avaliado através da monitorização de dois parâmetros críticos: a estabilidade tartárica e a estabilidade da matéria corante.

Relativamente à estabilidade tartárica, a avaliação baseou-se na determinação da variação da condutividade elétrica (em μS), parâmetro que permite classificar os vinhos em quatro níveis: «Muito estável» ($< 30 \mu\text{S}$), «Estável» (30 a $60 \mu\text{S}$), em «Risco» (61 a $70 \mu\text{S}$) e «Não estável» ($> 70 \mu\text{S}$).

Analisando os dados da Tabela 16, constata-se que a colagem não teve um impacto relevante nas matrizes vínicas estudadas, uma vez que os tratamentos de colagem aplicados mantiveram, na sua grande maioria, a mesma classificação de estabilidade das respetivas testemunhas (cujos valores originais se situavam nas faixas de risco ou não estáveis). A análise estatística confirmou este comportamento, revelando que as diferenças registadas face ao vinho testemunha não são estatisticamente significativas para nenhum dos tratamentos (valor- $p > 0,05$). No entanto, observaram-se ligeiras flutuações na condutividade. Enquanto alguns tratamentos apresentaram uma ténue melhoria (sugerindo a remoção de núcleos de cristalização), outros registaram pequenos agravamentos face à testemunha. O Vinho C é o exemplo mais evidente deste ligeiro agravamento, apresentando aumentos de condutividade consistentes em todos os tratamentos. Este ligeiro aumento do risco de precipitação pode ser justificado pela remoção indesejada de coloides protetores naturais do vinho por parte dos agentes clarificantes.

Estes resultados comprovam que a ação dos agentes Claril ZR e Oenovegan EPL não interferiu de forma direta com o equilíbrio dos sais de bitartarato de potássio, preservando o perfil de estabilidade salina original dos vinhos. Os dados detalhados referentes aos três ensaios independentes que deram origem a estas médias encontram-se compilados na Tabela A15 (Anexos).

Tabela 16 - Efeito dos diferentes tratamentos de colagem na estabilidade tartárica (μS) dos vinhos em estudo (A, B, C e D), expressos em valores médios e respetivo desvio padrão, incluindo a variação face à testemunha (Δ estabilidade tartárica) e a análise de significância estatística (valor-p).

Estabilidade Tartárica (μS)				
Vinho	Média	Desvio padrão	Δ Estabilidade Tartárica	valor-p
A	72,500	4,513	-	-
A1	73,233	3,356	0,733	0,83
A2	70,200	1,127	-2,300	0,44
A3	71,033	2,684	-1,467	0,65
A4	69,833	6,269	-2,667	0,58
B	61,633	8,750	-	-
B1	61,233	8,043	-0,40	0,96
B2	61,967	3,758	0,33	0,95
B3	67,833	1,484	6,20	0,29
B4	70,100	3,315	8,47	0,19
C	70,900	10,400	-	-
C1	77,400	4,530	6,50	0,38
C2	79,267	3,485	8,37	0,26
C3	79,433	2,318	8,53	0,24
C4	75,900	9,712	5,00	0,58
D	75,033	6,176	-	-
D1	75,067	1,464	0,03	0,99
D2	68,100	13,692	-6,93	0,47
D3	73,167	3,194	-1,87	0,67
D4	72,300	5,726	-2,73	0,60

No que diz respeito à estabilidade da matéria corante, os resultados encontram-se sistematizados na Tabela 17. A avaliação deste parâmetro assentou numa abordagem semi-quantitativa, baseada na observação e quantificação do volume de precipitado (em mL) formado após a realização do teste de frio, permitindo classificar o impacto de cada tratamento como indutor de uma maior ou menor estabilidade coloidal face à respetiva testemunha. De salientar que o resultado global apresentado foi calculado com recurso à moda e à mediana dos três ensaios experimentais, dada a existência de valores expressos como limites de quantificação (< e >).

De um modo geral, os resultados evidenciaram uma resposta heterogénea entre as diferentes matrizes vínicas e agentes utilizados. O agente clarificante Claril ZR demonstrou uma tendência consistente para a manutenção ou melhoria da estabilidade da cor, traduzida por uma redução do volume de precipitado face ao vinho original na maioria dos tratamentos. Este efeito sugere uma ação eficaz na remoção das frações polifenólicas e coloidais mais instáveis, com particular destaque para os vinhos B e C, contribuindo para a integridade visual do produto final.

Em contrapartida, a aplicação do agente clarificante Oenovegan EPL revelou uma tendência generalizada para a instabilização da matéria corante. Na grande maioria dos tratamentos, verificou-se um aumento do volume de precipitado, o que se traduz numa menor estabilidade face ao vinho testemunha. As exceções a este padrão de agravamento foram muito residuais, observando-se apenas um caso de efetiva melhoria da estabilidade, num tratamento aplicado ao vinho A (redução do precipitado) e outro em que o volume de precipitado se manteve igual ao da respetiva testemunha, num tratamento aplicado ao vinho C. Este fenómeno de instabilização pode ser justificado pela forte afinidade deste agente de colagem para com os coloides protetores naturais do vinho. Ao precipitar e remover estes compostos que são cruciais para a manutenção dos pigmentos em suspensão, o sistema coloidal desequilibra-se, favorecendo a posterior precipitação da matéria corante.

Em suma, enquanto a colagem se revelou genericamente neutra no que diz respeito à estabilidade tartárica, o seu impacto sobre a matéria corante foi evidente e divergente consoante o agente de colagem utilizado e a respetiva dosagem aplicada. O Claril ZR evidenciou um efeito marcadamente estabilizador, enquanto o Oenovegan EPL demonstrou uma ação tendencialmente desestabilizadora sobre a fração coloidal das matrizes vínicas em estudo. Relativamente ao tipo de estágio, pode-se concluir que a cor nos vinhos com estágio em aço inoxidável é mais difícil de estabilizar comparativamente aos vinhos com estágio em madeira.

Tabela 17 - Resultado global da estabilidade da matéria corante (mL) e respetiva classificação do impacto dos diferentes tratamentos de colagem nos vinhos em estudo (A, B, C e D).

Estabilidade da matéria corante (mL)		
Vinho	Resultado global	Impacto da colagem
A	0,1	-
A1	> 0,1	Menos estável
A2	< 0,1	Mais estável
A3	< 0,1	Mais estável
A4	> 0,1	Menos estável
B	0,3	-
B1	> 0,2	Mais estável
B2	> 0,2	Mais estável
B3	0,5	Menos estável
B4	0,4	Menos estável
C	0,1	-
C1	< 0,1	Mais estável
C2	< 0,1	Mais estável
C3	> 0,1	Menos estável
C4	0,1	Igual à testemunha
D	< 0,1	-
D1	< 0,1	Igual à testemunha
D2	< 0,1	Igual à testemunha
D3	> 0,1	Menos estável
D4	> 0,1	Menos estável

3.4. Análise sensorial dos vinhos

Conforme descrito na secção 2.5., esta análise foi realizada por uma enóloga da entidade de acolhimento, cuja experiência técnica permitiu identificar variações subtis nos descritores avaliados.

Os resultados médios das provas (calculados a partir das três provas sensoriais realizadas, cujos dados individuais se encontram nas Tabelas A17, A18 e A19, em Anexo) encontram-se sumarizados na Tabela 18. Adicionalmente, com o intuito de facilitar a comparação do perfil sensorial de cada matriz sob a influência dos agentes de colagem apresentam-se os perfis de radar nos Gráficos 4, 5, 6 e 7.

Tabela 18 - Pontuações médias (1 a 5) da análise sensorial dos vinhos testemunha e dos tratamentos de colagem (Claril ZR e Oenovegan EPL) para os vinhos A, B, C e D.

Vinhos	Intensidade da Cor	Intensidade Aromática	Estrutura / Corpo	Intensidade dos Taninos	Percepção Global
A	4,0	4,0	3,3	3,0	3,3
A1	3,7	3,3	3,3	3,0	3,3
A2	3,7	3,3	3,7	3,3	3,7
A3	4,0	3,7	3,7	3,7	3,7
A4	4,3	4,0	3,7	3,3	4,0
B	5,0	4,0	4,3	4,0	4,7
B1	4,7	4,0	4,3	4,0	4,7
B2	4,7	3,7	4,3	4,0	4,3
B3	4,7	4,3	3,7	4,0	4,3
B4	4,7	4,3	3,7	4,3	4,3
C	4,0	4,0	4,0	3,7	4,0
C1	3,3	3,3	3,0	3,3	3,3
C2	4,0	3,3	3,3	3,0	3,3
C3	3,0	3,3	3,7	3,3	3,7
C4	3,3	3,7	3,7	3,7	3,7
D	4,0	4,0	3,3	3,3	3,3
D1	4,3	3,7	3,3	3,0	3,7
D2	4,3	3,7	3,5	3,0	3,5
D3	4,3	4,0	3,0	3,0	3,7
D4	4,3	4,0	3,0	3,0	3,7

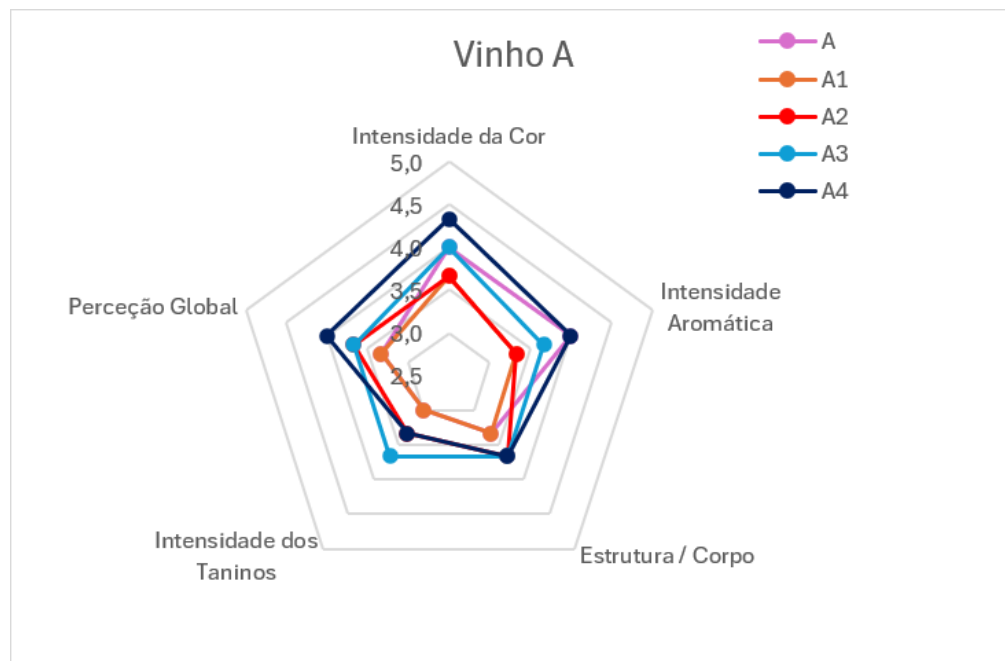


Gráfico 4 - Perfil sensorial médio (gráfico de radar) do Vinho A: impacto dos agentes clarificantes Claril ZR e Oenovegan EPL face ao perfil original (testemunha).

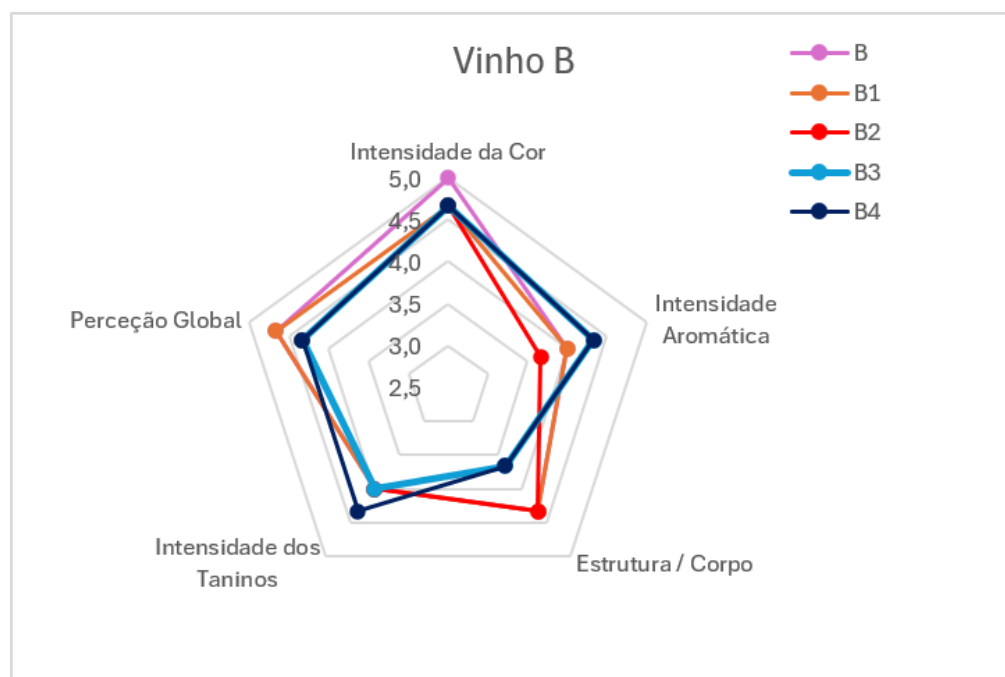


Gráfico 5 - Perfil sensorial médio (gráfico de radar) do Vinho B: impacto dos agentes clarificantes Claril ZR e Oenovegan EPL face ao perfil original (testemunha).

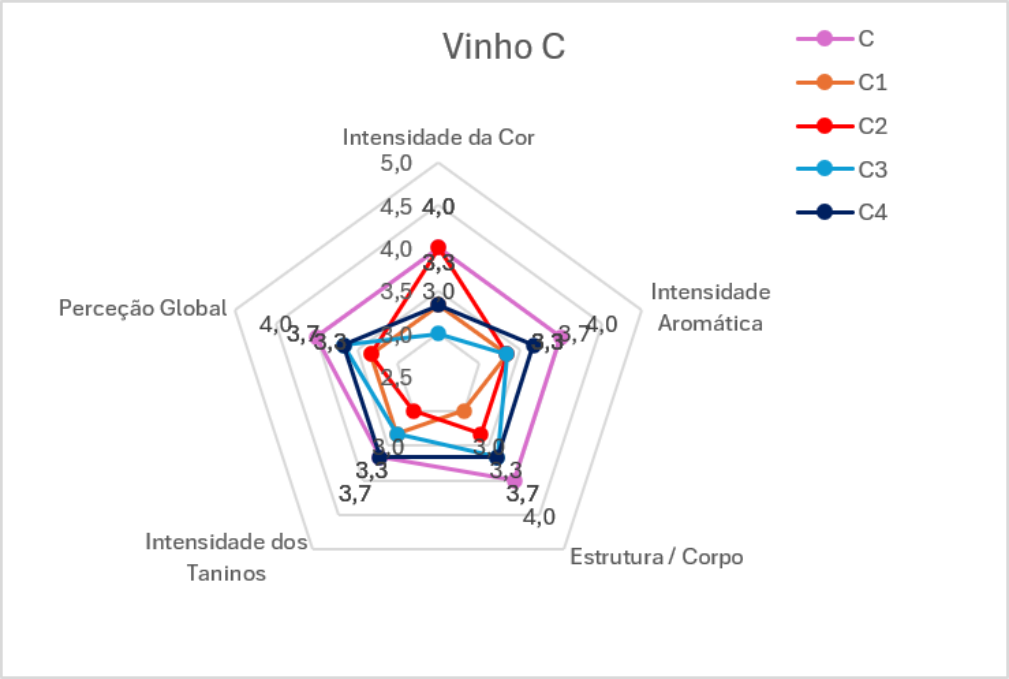


Gráfico 6 - Perfil sensorial médio (gráfico de radar) do Vinho C: impacto dos agentes clarificantes Claril ZR e Oenovegan EPL face ao perfil original (testemunha).

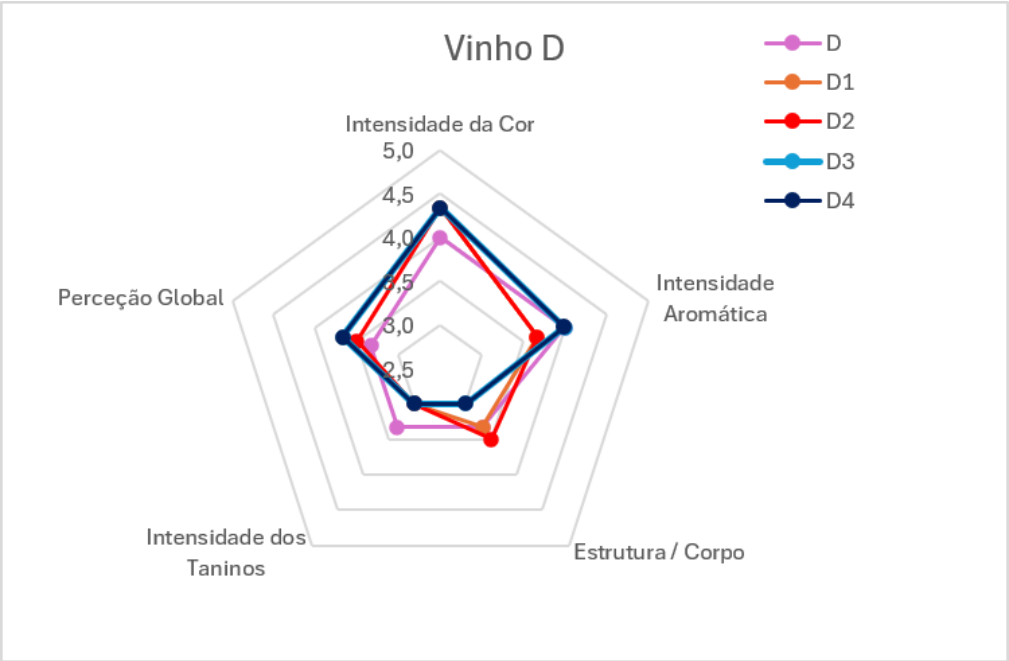


Gráfico 7 - Perfil sensorial médio (gráfico de radar) do Vinho D: impacto dos agentes clarificantes Claril ZR e Oenovegan EPL face ao perfil original (testemunha).

A análise detalhada dos perfis de radar permite observar o impacto específico que os diferentes tratamentos de colagem tiveram no perfil original (testemunha) de cada matriz vínica.

No Vinho A (estagiado em madeira), a análise sensorial revelou que a aplicação do agente vegetal Oenovegan EPL, em ambas as dosagens, induziu uma melhoria generalizada na maioria dos descritores avaliados. Observando a percepção global, torna-se evidente que esta constituiu a intervenção mais favorável para este vinho. A dosagem máxima de 12,5 g/hL destacou-se como a melhor escolha a nível global, sugerindo que a precipitação de frações coloidais instáveis por parte deste agente de colagem ajudou a focar a expressão organolética do vinho, preservando em pleno a sua estrutura base.

Para o Vinho B (estagiado em madeira), verificou-se que o tratamento com o clarificante Claril ZR foi eficaz, conseguindo igualar a testemunha em parâmetros críticos como a intensidade aromática, a estrutura/corpo, a intensidade dos taninos e a percepção global. O tratamento com o Oenovegan EPL destacou-se positivamente na intensidade aromática e intensidade dos taninos. A avaliação global indica que a aplicação de Claril ZR na dosagem de 20 g/hL é a opção mais segura e equilibrada.

O cenário altera-se drasticamente no Vinho C (estagiado em inox), onde se evidenciou o clássico fenómeno de enfraquecimento sensorial (*over-finishing*). Nesta matriz, nenhum dos agentes de colagem aplicados conseguiu induzir melhorias qualitativas. Apenas em duas situações se conseguiu igualar o desempenho da testemunha: na intensidade da cor com Claril ZR (30 g/hL) e na intensidade dos taninos com Oenovegan EPL (12,5 g/hL). De um modo geral, a colagem depreciou o perfil do vinho na boca e no nariz. Este decréscimo sensorial corrobora de forma direta a forte instabilização coloidal e a acentuada perda de matéria corante já registada nos ensaios laboratoriais. A ausência do suporte estrutural e protetor conferido pela madeira tornou esta matriz em inox altamente suscetível à remoção excessiva de constituintes de interesse.

Por fim, o Vinho D (estagiado em inox) apresentou um comportamento distinto, demonstrando o impacto positivo e restaurador das intervenções realizadas. De forma global, todos os tratamentos aplicados melhoraram o vinho face à testemunha. Os tratamentos promoveram uma eficaz remoção de frações instáveis: a intensidade da cor foi melhorada em todos os tratamentos; a nível aromático, o Oenovegan EPL (em ambas as dosagens) foi o único a conseguir assegurar uma avaliação igual à testemunha; e,

no que diz respeito à estrutura/corpo, o Claril ZR foi o agente que promoveu as melhores pontuações. Relativamente à intensidade dos taninos, existiu para todos os tratamentos um decréscimo face à testemunha. Em suma, para este vinho os tratamentos revelaram-se genericamente benéficos, mitigando defeitos e superando o perfil global do vinho testemunha.

Em conclusão, a prova sensorial demonstrou que as matrizes estagiadas em madeira suportaram as intervenções de colagem com assinalável resiliência, permitindo o afinamento do seu perfil de forma consistente e segura. Por outro lado, as matrizes de inox evidenciaram respostas muito mais díspares face aos mesmos tratamentos: se por um lado o Vinho C sofreu um forte desbaste sensorial, por outro, o Vinho D registou melhorias generalizadas na sua perceção. Esta variabilidade comprova que, em vinhos de inox, o impacto organolético da colagem é altamente dependente das características iniciais da matriz, tornando ainda mais crucial a realização de ensaios prévios para uma escolha rigorosa da dosagem e da cola a aplicar.

3.5. Influência do tipo de estágio

A análise de todos os parâmetros estudados permite traçar um retrato muito claro sobre a influência do tipo de recipiente de estágio (madeira vs inox) na reatividade dos vinhos à colagem. A compilação dos dados demonstra que o estágio funcionou como um fator determinante para certas características estruturais e visuais do vinho, revelando-se, contudo, neutro noutras vertentes físico-químicas.

No que concerne aos parâmetros físico-químicos de base e de estabilidade cristalina, o tipo de estágio não exerceu qualquer influência diferenciadora. As flutuações de pH registadas entre os diversos tratamentos e as respetivas testemunhas foram residuais (situando-se consistentemente num intervalo inferior a 0,03 unidades) para todos os vinhos avaliados (A, B, C e D). De igual modo, a estabilidade tartárica não foi afetada pela matriz de estágio nem pelas colagens, mantendo-se todos os vinhos numa classificação de "risco" ou "não estável". Adicionalmente, no que diz respeito à quantificação de sedimentos (borras), a dispersão dos resultados (Gráfico 2) revelou que a quantidade de precipitado está estritamente associada à natureza e dosagem do agente clarificante utilizado, não evidenciando um padrão ou distinção clara que possa ser imputada ao tipo de estágio.

Em contrapartida, os parâmetros diretamente ligados à limpidez, cor e estrutura coloidal foram fortemente condicionados pela matriz. A análise da turbidez (Gráfico 1) evidenciou que o Vinho C, conservado em inox, registou a maior amplitude na

diminuição deste parâmetro face aos restantes vinhos, nomeadamente os estagiados em madeira, demonstrando uma reatividade física superior à ação dos agentes clarificantes. Esta profunda suscetibilidade do inox estendeu-se ao impacto nas características cromáticas: de facto, destacaram-se os vinhos de inox como sendo aqueles onde a intervenção tecnológica induziu a maior transformação visual de todo o estudo, registando a maior diferença de cor global face às testemunhas, conforme demonstrado no Gráfico 3.

Relativamente à estabilidade da matéria corante, a análise dos tratamentos sublinha a diferença de robustez entre as matrizes. Nos vinhos estagiados em madeira (Vinhos A e B), a resposta dividiu-se de forma simétrica (quatro tratamentos promoveram uma maior estabilidade e outros quatro induziram uma menor estabilidade). Este equilíbrio sugere que estas matrizes, por serem ricas em compostos cedidos pela barrica (como os elagitaninos), atuam como sistemas dinâmicos e "amortecedores". Nestes casos, embora o agente de colagem interaja com a fração corante, a complexidade destas matrizes oferece suporte suficiente para evitar uma desestabilização generalizada. Já nos vinhos com estágio em inox, o cenário foi menos responsivo e tendencialmente mais desfavorável: apenas dois tratamentos melhoraram a estabilidade, três pioraram e três não provocaram qualquer alteração face à testemunha. Conclui-se assim que, desprovida do suporte protetor da madeira, a cor nos vinhos de inox é mais difícil de estabilizar e mais suscetível à ineficácia dos agentes clarificantes ou à instabilização.

Por fim, a avaliação sensorial corroborou de forma categórica a distinção entre os dois tipos de estágio, o que se refletiu claramente na perceção global média dos vinhos tendo em conta o tipo de estágio (4,0 para as matrizes de madeira face a 3,6 para as matrizes de inox). A prova sensorial demonstrou que as matrizes estagiadas em madeira suportaram as intervenções de colagem com assinalável resiliência, permitindo o afinamento do seu perfil de forma consistente e segura. Por outro lado, as matrizes de inox evidenciaram respostas muito mais díspares face aos mesmos tratamentos: se, por um lado, o Vinho C sofreu um forte desbaste sensorial, por outro, o Vinho D registou melhorias generalizadas na sua perceção.

Esta variabilidade global comprova que, em vinhos com estágio em inox, o impacto analítico e organolético da colagem é altamente dependente das características iniciais da matriz, tornando ainda mais crucial a realização de ensaios prévios rigorosos de dosagem e seleção do clarificante. Em oposição, a madeira confere um suporte

estrutural que garante uma maior margem de segurança tecnológica durante o processo de clarificação.

4. Atividades complementares do estágio

Para além da execução do delineamento experimental principal, o período de estágio englobou a integração contínua nas rotinas laboratoriais e operacionais da entidade de acolhimento, uma componente fundamental para a consolidação de competências práticas em contexto industrial. No âmbito da monitorização analítica, procedeu-se à caracterização físico-química sistemática dos vinhos, assegurando o seu acompanhamento rigoroso. Esta rotina exigiu a determinação de parâmetros físico-químicos fundamentais, nomeadamente o pH, a acidez total e volátil, bem como a quantificação dos teores de dióxido de enxofre livre e total por titulometria. A estas determinações aliaram-se medições de turbidez e a avaliação da densidade (grau Baumé), constituindo um painel analítico indispensável ao controlo de qualidade dos diferentes vinhos em estágio.

Complementarmente à vertente analítica, a preparação dos vinhos para a fase de engarrafamento implicou a execução de ensaios de estabilização. Destacam-se a realização de testes de estabilidade proteica, fundamentais para prever e mitigar fenómenos de precipitação macromolecular na garrafa, e a determinação do índice de colmatagem (IC). A avaliação deste último parâmetro assumiu particular relevância na estimativa da filtrabilidade dos vinhos, permitindo antever a eficiência do processo e prevenir a colmatagem precoce das membranas de filtração na linha de enchimento. O controlo de qualidade estendeu-se ainda a esta última fase do processo produtivo, através da monitorização dos materiais de acondicionamento. Procedeu-se ao controlo mássico das garrafas de vidro e das rolhas de cortiça, visando garantir a estrita conformidade com as especificações técnicas estabelecidas.

Por fim, o trabalho diário incluiu tarefas essenciais de gestão e manutenção do laboratório. A fiabilidade dos resultados analíticos foi garantida através da preparação de reagentes e soluções, bem como pela calibração e verificação regular dos equipamentos, com especial foco no potenciómetro e no turbidímetro. Esta experiência prática foi fundamental para compreender como se organiza um laboratório e de que forma a precisão destas tarefas se reflete na qualidade final do produto.

5. Conclusões e perspectivas futuras

O presente trabalho permitiu avaliar de forma sistemática o impacto da colagem na estabilidade da matéria corante e no perfil sensorial de quatro vinhos tintos, estabelecendo uma comparação direta entre os estágios em barricas de madeira e em depósitos de aço inoxidável através do desempenho dos agentes de colagem *vegan* Claril ZR e Oenovegan EPL. No que concerne aos parâmetros físico-químicos elementares, verificou-se que a aplicação destes clarificantes, independentemente das dosagens testadas, não comprometeu o pH das matrizes em estudo, salvaguardando o seu ambiente ácido original. Paralelamente, o processo de colagem cumpriu eficazmente o objetivo de clarificação na quase totalidade dos tratamentos testados, promovendo uma redução efetiva da turbidez inicial. Este efeito foi marcadamente superior num dos vinhos estagiados em depósitos de aço inoxidável (Vinho C), o qual registou a maior amplitude na diminuição da turbidez comparativamente aos restantes vinhos, nomeadamente os estagiados em barricas de madeira. O agente de colagem que induziu o maior efeito clarificante foi o Oenovegan EPL, embora os ensaios com Claril ZR tenham apresentado, de forma consistente, um menor volume de borras, demonstrando uma capacidade de compactação superior face ao Oenovegan EPL, sem que se tenha verificado um padrão claro associado ao tipo de estágio neste último parâmetro.

Relativamente às características cromáticas, constatou-se que ambos os agentes de colagem são altamente respeitadores da matriz corante original, não tendo promovido uma remoção significativa da matéria corante, com a única exceção observada no parâmetro a^* para o tratamento do Vinho B com Oenovegan EPL na concentração de 5 g/hL. No que respeita à saturação, identificou-se um comportamento tendencialmente redutor na maioria dos casos, excetuando os tratamentos aplicados ao Vinho C, onde ocorreu um ganho expressivo de intensidade. Quanto à tonalidade, a generalidade dos ensaios, salvaguardando a exceção de apenas cinco tratamentos, revelou que os clarificantes não induziram qualquer desvio para matrizes amarelas ou atijoladas, provando não causar oxidação visual prematura e preservando as nuances vermelhas originais. Contudo, a análise da diferença de cor global revelou que as modificações visuais mais evidentes ocorreram com a aplicação do Oenovegan EPL, sobretudo nos vinhos estagiados em aço inoxidável. Esta reatividade química correlaciona-se com a estabilidade da matéria corante, onde os vinhos com estágio em aço inoxidável se revelaram mais difíceis de estabilizar e mais suscetíveis à precipitação. Neste âmbito, o Claril ZR evidenciou um efeito marcadamente

estabilizador, ao passo que o Oenovegan EPL demonstrou uma ação tendencialmente desestabilizadora sobre a fração coloidal. Importa ainda notar que a colagem não exerceu um impacto relevante na estabilidade tartárica, mantendo-se na maioria das amostras a classificação de risco ou instabilidade observada nas respetivas testemunhas.

A análise sensorial veio confirmar que o tipo de estágio desempenha um papel determinante na resposta dos vinhos aos tratamentos de colagem. Os vinhos estagiados em barricas de madeira suportaram as intervenções com uma assinalável resiliência, permitindo um afinamento consistente e seguro do seu perfil organolético. Por outro lado, os vinhos estagiados em aço inoxidável evidenciaram respostas marcadamente díspares face aos mesmos tratamentos; enquanto o Vinho C sofreu um forte desbaste sensorial, com perda de estrutura e qualidade global, o Vinho D registou melhorias generalizadas na sua perceção. Estes comportamentos distintos validam a premissa de que, na ausência do efeito amortecedor conferido pelos compostos da madeira, o impacto da colagem fica estritamente dependente da matriz inicial de cada vinho, tornando imperativa a realização de ensaios laboratoriais prévios à colagem para evitar a depreciação do produto.

Como continuidade deste projeto de investigação e visando o aprofundamento dos mecanismos físico-químicos observados, delineiam-se várias linhas de trabalho futuro que permitiriam complementar e expandir os resultados obtidos. Primeiramente, seria de enorme relevância implementar um estudo de estabilidade cronológica em garrafa a médio e longo prazo. Este acompanhamento permitiria monitorizar a evolução das coordenadas cromáticas *CIELab* e a formação de sedimentos ao longo do tempo, determinando se o efeito protetor observado na madeira e a elevada reatividade do aço inoxidável se mantêm ou se alteram após o engarrafamento. Adicionalmente, sob o ponto de vista da caracterização molecular, o recurso a técnicas cromatográficas avançadas, como a cromatografia líquida de alta resolução acoplada à espetrometria de massa (HPLC-DAD-MS), seria fundamental para quantificar com precisão as variações nas diferentes frações de antocianinas livres e combinadas, bem como o grau de polimerização dos taninos antes e após as colagens. Por fim, propõe-se a realização de um estudo sistemático focado na caracterização ótica das matrizes através de espetrofotometria de UV-Visível, aplicando os métodos oficiais recomendados pela Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV) para a determinação precisa das coordenadas cromáticas *CIELab*, bem como da intensidade de cor e tonalidade. Esta abordagem instrumental e de calibração certificada garantirá a máxima fiabilidade,

sensibilidade e reprodutibilidade na monitorização cromática, consolidando um padrão analítico robusto para o controlo de qualidade diário em contexto industrial.

Referências Bibliográficas

- [1] Churchill Graham, S. A. *Churchill's – Port and Douro Winemaker*. <https://drinkchurchills.com/pt> (accessed janeiro 2026).
- [2] Revista de Vinhos. *Os vinhos Churchill's da família Graham's*. **2019**. <https://www.revistadevinhos.pt/noticias/os-vinhos-churchills-da-familia-grahams> (accessed janeiro de 2026).
- [3] Ribereau-gayon, P.; Glories, Y.; Maujean, A.; Dubourdieu, D. Phenolic Compounds. In *Handbook of Enology, Volume 2: The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments*, 2 ed.; Sons, J. W. Ed.; **2006**; pp 141–201.
- [4] Castillo-Sánchez, J. X.; García-Falcón, M. S.; Garrido, J.; Martínez-Carballo, E.; Martins-Dias, L. R.; Mejuto, X. C. Phenolic compounds and colour stability of Vinhão wines: Influence of wine-making protocol and fining agents. *Food Chemistry* **2008**, *106* (1), 18–26. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.04.069.
- [5] Gonzalez-Neves, G.; Favre, G.; Gil, G. Effect of fining on the colour and pigment composition of young red wines. *Food Chem* **2014**, *157*, 385–392. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.02.062.
- [6] Kumar, Y.; Suhag, R. Impact of Fining Agents on Color, Phenolics, Aroma, and Sensory Properties of Wine: A Review. *Beverages* **2024**, *10* (3). DOI: 10.3390/beverages10030071.
- [7] Dias, I. F. L.; Chávez, D. J. C.; Munhoz, M.; Poças, L. C.; Da Silva, M. A. T.; De Santana, H.; Duarte, J. L.; Laureto, E. Desenvolvimento de Dispositivos Fotovoltaicos e Diodos Emissores de Luz de Corantes Naturais: novos parâmetros de sustentabilidade. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas* **2016**, *37* (2). DOI: 10.5433/1679-0375.2016v37n2p81.
- [8] Freitas, V. O mundo colorido das antocianinas. *Revista de Ciência Elementar* **2019**, *7* (2). DOI: 10.24927/rce2019.017.
- [9] Ghanem, C.; Taillandier, P.; Rizk, M.; Rizk, Z.; Nehme, N.; Souchard, J. P.; El Rayess, Y. Analysis of the impact of fining agents types, oenological tannins and mannoproteins and their concentrations on the phenolic composition of red wine. *LWT - Food Science and Technology* **2017**, *83*, 101–109. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.05.009.
- [10] Jiménez-Martínez, M. D.; Bautista-Ortín, A. B.; Gil-Muñoz, R.; Gómez-Plaza, E. Comparison of fining red wines with purified grape pomace versus commercial fining agents: effect on wine chromatic characteristics and phenolic content. *International Journal of Food Science & Technology* **2018**, *54* (4), 1018–1026. DOI: 10.1111/ijfs.13881.
- [11] Clube de Vinhos Portugueses. *Como ocorre a evolução da cor do vinho tinto*. **2019**. <https://www.clubevinhosportugueses.pt/vinhos/como-ocorre-a-evolucao-da-cor-do-vinho-tinto/> (accessed fevereiro 2026).

- [12] Ribereau-gayon, P.; Glories, Y.; Maujean, A.; Dubourdieu, D. Aging Red Wines in Vat and Barrel: Phenomena Occurring During Aging. In *Handbook of Enology, Volume 2: The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments*, 2 ed.; Sons, J. W. Ed.; **2006**; pp 387–426.
- [13] Wang, C.; Wang, C.; Tang, K.; Rao, Z.; Chen, J. Effects of Different Aging Methods on the Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Red Wine. *Fermentation* **2022**, 8 (11). DOI: 10.3390/fermentation8110592.
- [14] Ribereau-gayon, P.; Glories, Y.; Maujean, A.; Dubourdieu, D. Clarification and Stabilization Treatments: Fining Wine. In *Handbook of Enology, Volume 2: The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments*, Sons, J. W. Ed.; **2006**; pp 301–331.
- [15] Karamanidou, A.; Kallithraka, S.; Hatzidimitriou, E. Finning of red wines: effects on their analytical and sensory parameters. *OENO One* **2011**, 45(1), 47–60. DOI: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2011.45.1.1481>.
- [16] Rio Segade, S.; Paissoni, M. A.; Vilanova, M.; Gerbi, V.; Rolle, L.; Giacosa, S. Phenolic Composition Influences the Effectiveness of Fining Agents in Vegan-Friendly Red Wine Production. *Molecules* **2019**, 25 (1). DOI: 10.3390/molecules25010120.
- [17] Jackson, R. S. Postfermentation treatments and related topics. In *Wine Science - Principles and Applications*, 5 ed.; Press, A. Ed.; **2020**; pp 573–723.
- [18] Marangon, M.; Vincenzi, S.; Curioni, A. Wine Fining with Plant Proteins. *Molecules* **2019**, 24 (11). DOI: 10.3390/molecules24112186.
- [19] Rodrigues, J.; Lopes, D.; Mira, H. Comparação de produtos de colagem de origem animal, vegetal e extratos de leveduras em vinhos tintos. *Revista Da UI_IPSantarém* **2015**, 3(4), 155–174. DOI: <https://doi.org/10.25746/ruiips.v3.i4.14373>.
- [20] Barros, J. H. d. Estudo da aplicação de proteínas de origem vegetal como alternativa à albumina de ovo em vinhos tintos. *Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto* **2018**.
- [21] Kang, W.; Muhlack, R. A.; Bindon, K. A.; Smith, P. A.; Niimi, J.; Bastian, S. E. P. Potato Protein Fining of Phenolic Compounds in Red Wine: A Study of the Kinetics and the Impact of Wine Matrix Components and Physical Factors. *Molecules* **2019**, 24 (24). DOI: 10.3390/molecules24244578.
- [22] Khoo, H. E.; Azlan, A.; Tang, S. T.; Lim, S. M. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food Nutr Res* **2017**, 61 (1), 1361779. DOI: 10.1080/16546628.2017.1361779.
- [23] Boulton, R. The Copigmentation of Anthocyanins and Its Role in the Color of Red Wine: A Critical Review. *American Journal of Enology and Viticulture* **2001**, 52 (2), 67–87. DOI: 10.5344/ajev.2001.52.2.67.
- [24] ChemicalBook. *flavan-3-ol*. https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB51354631.htm (accessed fevereiro 2026).
- [25] Mateus, N.; Silva, A. M. S.; Vercauteren, J.; Freitas, V. d. Occurrence of Anthocyanin derived pigments in red wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2001**.

[26] Abou Elmaaty, T.; Abd Elsalam, S.; Helal, S.; Abdeldayem, S. A. In situ anchoring iron oxide nanoparticles onto polyester/disperse dye for production of multifunctional fabrics. *Fashion and Textiles* **2023**, *10* (1). DOI: 10.1186/s40691-023-00362-8.

[27] Mokrzycki W.S., T. M. Colour difference ΔE - A survey. *Machine Graphics and Vision* **2011**.

[28] Laboratórios, S. L.-E. e. A. p. *Tubo para Centrifuga tipo Pêra Graduado conforme ASTM D-96 – VIDROLABOR*. <https://www.splabor.com.br/produto/tubo-para-centrifuga-tipo-pera-graduado-conf-astm-d-96-vidrolabor/> (accessed março 2026).

[29] Company, T. O. W. *The Ultimate Guide To Decanting Wine*. <https://www.theorganicwinecompany.com/the-ultimate-guide-to-decanting-wine/> (accessed março 2026).

Anexos

Tabela A1 - Resultados individuais dos três ensaios independentes (réplicas laboratoriais) para a determinação do pH em todos os tratamentos de colagem dos vinhos A, B, C e D.

pH							
Vinho	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média	Desvio padrão	Δ pH	valor-p
A	3,76	3,68	3,72	3,720	0,040	-	-
A1	3,67	3,71	3,71	3,697	0,023	-0,023	0,431
A2	3,68	3,71	3,72	3,703	0,021	-0,017	0,557
A3	3,70	3,67	3,74	3,703	0,035	-0,017	0,616
A4	3,70	3,67	3,73	3,700	0,030	-0,020	0,527
B	3,82	3,75	3,73	3,767	0,047	-	-
B1	3,74	3,75	3,76	3,750	0,010	-0,017	0,582
B2	3,75	3,77	3,75	3,757	0,012	-0,010	0,740
B3	3,74	3,70	3,77	3,737	0,035	-0,030	0,427
B4	3,75	3,73	3,77	3,750	0,020	-0,017	0,604
C	3,80	3,70	3,71	3,737	0,055	-	-
C1	3,72	3,72	3,72	3,720	0,000	-0,017	0,628
C2	3,72	3,71	3,72	3,717	0,006	-0,020	0,566
C3	3,71	3,69	3,74	3,713	0,025	-0,023	0,541
C4	3,72	3,70	3,76	3,727	0,031	-0,010	0,797
D	3,71	3,63	3,66	3,667	0,040	-	-
D1	3,64	3,64	3,65	3,643	0,006	-0,023	0,378
D2	3,63	3,65	3,63	3,637	0,012	-0,030	0,284
D3	3,65	3,62	3,65	3,640	0,017	-0,027	0,353
D4	3,65	3,63	3,66	3,647	0,015	-0,020	0,468

Tabela A2 - Resultados individuais dos três ensaios independentes (réplicas laboratoriais) para a determinação da turbidez (NTU) em todos os tratamentos de colagem dos vinhos A, B, C e D.

Turbidez (NTU)							
Vinho	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média	Desvio padrão	Δ turbidez	valor-p
A	0,68	0,69	0,60	0,657	0,049	-	-
A1	0,51	0,35	0,53	0,463	0,099	-0,193	0,04
A2	0,66	0,52	0,56	0,580	0,072	-0,077	0,20
A3	0,44	0,30	0,40	0,380	0,072	-0,277	0,01
A4	0,67	0,37	0,48	0,507	0,152	-0,150	0,18
B	0,58	0,62	0,41	0,537	0,112	-	-
B1	0,40	0,34	0,46	0,400	0,060	-0,137	0,13
B2	0,40	0,89	0,51	0,600	0,257	0,063	0,72
B3	0,69	0,30	0,43	0,473	0,199	-0,063	0,66
B4	1,20	0,27	0,53	0,667	0,480	0,130	0,67
C	2,54	0,90	1,40	1,613	0,841	-	-
C1	1,46	0,65	0,88	0,997	0,417	-0,617	0,32
C2	0,87	0,53	1,71	1,037	0,607	-0,577	0,39
C3	1,33	0,38	0,91	0,873	0,476	-0,740	0,26
C4	1,04	0,28	1,36	0,893	0,555	-0,720	0,28
D	1,16	0,50	0,46	0,707	0,393	-	-
D1	1,03	0,25	0,41	0,563	0,412	-0,143	0,69
D2	0,79	0,46	0,42	0,557	0,203	-0,150	0,59
D3	1,14	0,62	0,52	0,760	0,333	0,053	0,87
D4	1,05	0,27	0,56	0,627	0,394	-0,080	0,82

Tabela A3 - Quadro da análise de variância (ANOVA) de um fator referente aos resultados de turbidez do Vinho A.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
A	3	1,97	0,656667	0,002433
A com Claril ZR 20 g/hL	3	1,39	0,463333	0,009733
A com Claril ZR 30 g/hL	3	1,74	0,58	0,0052
A com Oenovegan EPL 5 g/hL	3	1,14	0,38	0,0052
A com Oenovegan EPL 12,5 g/hL	3	1,52	0,506667	0,023033

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,135693333	4	0,033923	3,719664	0,041866348	3,478049691
Within Groups	0,0912	10	0,00912			
Total	0,226893333	14				

Tabela A4 - Quadro da análise de variância (ANOVA) de um fator referente aos resultados de turbidez do Vinho B.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
B	3	1,61	0,536667	0,012433
B com Claril ZR 20 g/hL	3	1,2	0,4	0,0036
B com Claril ZR 30 g/hL	3	1,8	0,6	0,0661
B com Oenovegan EPL 5 g/hL	3	1,42	0,473333	0,039433
B com Oenovegan EPL 12,5 g/hL	3	2	0,666667	0,230233

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,130773333	4	0,032693	0,464658	0,760570775	3,478049691
Within Groups	0,7036	10	0,07036			
Total	0,834373333	14				

Tabela A5 - Quadro da análise de variância (ANOVA) de um fator referente aos resultados de turbidez do Vinho C.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
C	3	4,84	1,613333	0,706533
C com Claril ZR 20 g/hL	3	2,99	0,996667	0,174233
C com Claril ZR 30 g/hL	3	3,11	1,036667	0,368933
C com Oenovegan EPL 5 g/hL	3	2,62	0,873333	0,226633
C com Oenovegan EPL 12,5 g/hL	3	2,68	0,893333	0,307733

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,11236	4	0,27809	0,779371	0,563446645	3,478049691
Within Groups	3,568133333	10	0,356813			
Total	4,680493333	14				

Tabela A6 - Quadro da análise de variância (ANOVA) de um fator referente aos resultados de turbidez do Vinho D.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
D	3	2,12	0,706667	0,154533
D com Claril ZR 20 g/hL	3	1,69	0,563333	0,169733
D com Claril ZR 30 g/hL	3	1,67	0,556667	0,041233
D com Oenovegan EPL 5 g/hL	3	2,28	0,76	0,1108
D com Oenovegan EPL 12,5 g/hL	3	1,88	0,626667	0,155433

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,095426667	4	0,023857	0,188819	0,938827322	3,478049691
Within Groups	1,263466667	10	0,126347			
Total	1,358893333	14				

Tabela A7 - Resultados individuais dos três ensaios independentes (réplicas laboratoriais) para a determinação da quantificação de sedimentos (mL) em todos os tratamentos de colagem dos vinhos A, B, C e D.

Quantificação de sedimentos (mL)					
Vinho	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média	Desvio padrão
A	-	-	-	-	-
A1	31	39	56	42,0	12,8
A2	27	62	60	49,7	19,7
A3	43	76	81	66,7	20,6
A4	70	70	79	73,0	5,2
B	-	-	-	-	-
B1	22	68	56	48,7	23,9
B2	39	49	63	50,3	12,1
B3	75	75	70	73,3	2,9
B4	75	71	48	64,7	14,6
C	-	-	-	-	-
C1	38	64	63	55,0	14,7
C2	31	59	50	46,7	14,3
C3	67	74	75	72,0	4,4
C4	72	71	80	74,3	4,9
D	-	-	-	-	-
D1	50	63	54	55,7	6,7
D2	45	73	66	61,3	14,6
D3	65	78	75	72,7	6,8
D4	43	79	65	62,3	18,1

Tabela A8 - Resultados individuais dos três ensaios independentes (réplicas laboratoriais) para a determinação do parâmetro L* em todos os tratamentos de colagem dos vinhos A, B, C e D.

L*						
Vinho	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média	Desvio padrão	ΔL^*
A	5,6	4,0	4,0	4,53	0,92	-
A1	4,0	3,8	3,2	3,67	0,42	-0,87
A2	5,7	4,8	4,2	4,90	0,75	0,37
A3	4,7	2,8	4,2	3,90	0,98	-0,63
A4	6,0	3,3	6,3	5,20	1,65	0,67
B	4,4	3,2	2,8	3,47	0,83	-
B1	4,2	1,4	2,6	2,73	1,40	-0,73
B2	5,3	2,5	2,6	3,47	1,59	0,00
B3	4,5	2,3	3,8	3,53	1,12	0,07
B4	3,9	2,0	2,6	2,83	0,97	-0,63
C	10,2	4,1	4,0	6,10	3,55	-
C1	10,6	5,8	4,9	7,10	3,06	1,00
C2	10,0	5,9	8,5	8,13	2,07	2,03
C3	9,6	6,7	6,3	7,53	1,80	1,43
C4	10,3	7,6	7,2	8,37	1,69	2,27
D	10,5	4,1	6,5	7,03	3,23	-
D1	7,5	5,5	4,0	5,67	1,76	-1,37
D2	7,0	4,4	5,2	5,53	1,33	-1,50
D3	7,4	4,7	5,6	5,90	1,37	-1,13
D4	7,0	5,0	5,4	5,80	1,06	-1,23

Tabela A9 - Resultados individuais dos três ensaios independentes (réplicas laboratoriais) para a determinação do parâmetro a^* em todos os tratamentos de colagem dos vinhos A, B, C e D.

a^*						
Vinho	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média	Desvio padrão	Δa^*
A	9,2	14,1	9,4	10,90	2,77	-
A1	5,8	12,1	9,3	9,07	3,16	-1,83
A2	12,3	9,1	10,6	10,67	1,60	-0,23
A3	10	9,0	10,4	9,80	0,72	-1,10
A4	9,3	7,5	14,3	10,37	3,52	-0,53
B	6,6	5,8	5,4	5,93	0,61	-
B1	2,8	0,2	5,6	2,87	2,70	-3,07
B2	3,0	3,8	5,4	4,07	1,22	-1,87
B3	2,8	3,0	4,7	3,50	1,04	-2,43
B4	6,6	5,3	3,3	5,07	1,66	-0,87
C	26,5	17,3	12,9	18,90	6,94	-
C1	25,8	21,1	18,2	21,70	3,84	2,80
C2	26,8	18,2	26,3	23,77	4,83	4,87
C3	22,0	22,5	22,4	22,30	0,26	3,40
C4	28	27,4	22,5	25,97	3,02	7,07
D	24,5	11,0	23,8	19,77	7,60	-
D1	23,1	16,9	14,3	18,10	4,52	-1,67
D2	20,3	12,5	20,4	17,73	4,53	-2,03
D3	21,3	16,4	20,6	19,43	2,65	-0,33
D4	22,2	16,3	19,0	19,17	2,95	-0,60

Tabela A10 - Resultados individuais dos três ensaios independentes (réplicas laboratoriais) para a determinação do parâmetro b^* em todos os tratamentos de colagem dos vinhos A, B, C e D.

b^*						
Vinho	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média	Desvio padrão	Δb^*
A	-1,5	2,5	2,1	1,03	2,20	-
A1	-1,4	0,5	0,8	-0,03	1,19	-1,07
A2	0,1	2,4	0,2	0,90	1,30	-0,13
A3	0,2	0,7	1,1	0,67	0,45	-0,37
A4	-3,2	1,0	0,3	-0,63	2,25	-1,67
B	-3,4	-0,1	0,7	-0,93	2,17	-
B1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,40	0,53	-0,47
B2	-2,8	-0,3	-0,1	-1,07	1,50	-0,13
B3	-2,6	-0,2	-1,3	-1,37	1,20	-0,43
B4	-1,0	-1,0	-1,0	-1,00	0,00	-0,07
C	5,3	2,0	3,0	3,43	1,69	-
C1	3,6	4,7	2,3	3,53	1,20	0,10
C2	7,0	3,8	6,6	5,80	1,74	2,37
C3	0,3	4,7	4,6	3,20	2,51	-0,23
C4	6,3	6,8	4,9	6,00	0,98	2,57
D	1,2	2,3	5,4	2,97	2,18	-
D1	3,7	3,2	1,8	2,90	0,98	-0,07
D2	2,8	2,4	3,8	3,00	0,72	0,03
D3	3,5	2,0	4,0	3,17	1,04	0,20
D4	3,5	0,8	3,6	2,63	1,59	-0,33

Tabela A11 - Resultados individuais dos três ensaios laboratoriais para a determinação dos parâmetros cromáticos (L^* , a^* e b^*) do Vinho A, correspondentes à testemunha e aos respetivos tratamentos de colagem, incluindo os valores-p decorrentes da comparação estatística face à testemunha.

		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	valor-p
Vinho A	L^*	5,6	4,0	4,0	-
	a^*	9,2	14,1	9,4	
	b^*	-1,5	2,5	2,1	
A com Claril ZR 20 g/hL	L^*	4,0	3,8	3,2	0,21
	a^*	5,8	12,1	9,3	0,49
	b^*	-1,4	0,5	0,8	0,50
A com Claril ZR 30 g/hL	L^*	5,7	4,8	4,2	0,62
	a^*	12,3	9,1	10,6	0,91
	b^*	0,1	2,4	0,2	0,93
A com Oenovegan EPL 5 g/hL	L^*	4,7	2,8	4,2	0,46
	a^*	10,0	9,0	10,4	0,54
	b^*	0,2	0,7	1,1	0,79
A com Oenovegan EPL 12,5 g/hL	L^*	6,0	3,3	6,3	0,57
	a^*	9,3	7,5	14,3	0,85
	b^*	-3,2	1,0	0,3	0,41

Tabela A12 - Resultados individuais dos três ensaios laboratoriais para a determinação dos parâmetros cromáticos (L^* , a^* e b^*) do Vinho B, correspondentes à testemunha e aos respetivos tratamentos de colagem, incluindo os valores-p decorrentes da comparação estatística face à testemunha.

		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	valor-p
Vinho B	L^*	4,4	3,2	2,8	-
	a^*	6,6	5,8	5,4	
	b^*	-3,4	-0,1	0,7	
B com Claril ZR 20 g/hL	L^*	4,2	1,4	2,6	0,48
	a^*	2,8	0,2	5,6	0,13
	b^*	-1,2	-2,0	-1,0	0,74
B com Claril ZR 30 g/hL	L^*	5,3	2,5	2,6	1,00
	a^*	3,0	3,8	5,4	0,08
	b^*	-2,8	-0,3	-0,1	0,93
B com Oenovegan EPL 5 g/hL	L^*	4,5	2,3	3,8	0,94
	a^*	2,8	3,0	4,7	0,03
	b^*	-2,6	-0,2	-1,3	0,78
B com Oenovegan EPL 12,5 g/hL	L^*	3,9	2,0	2,6	0,44
	a^*	6,6	5,3	3,3	0,44
	b^*	-1,0	-1,0	-1,0	0,96

Tabela A13 - Resultados individuais dos três ensaios laboratoriais para a determinação dos parâmetros cromáticos (L^* , a^* e b^*) do Vinho C, correspondentes à testemunha e aos respetivos tratamentos de colagem, incluindo os valores-p decorrentes da comparação estatística face à testemunha.

		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	valor-p
Vinho C	L^*	10,2	4,1	4,0	-
	a^*	26,5	17,3	12,9	
	b^*	5,3	2,0	3,0	
C com Claril ZR 20 g/hL	L^*	10,6	5,8	4,9	0,73
	a^*	25,8	21,1	18,2	0,57
	b^*	3,6	4,7	2,3	0,94
C com Claril ZR 30 g/hL	L^*	10,0	5,9	8,5	0,44
	a^*	26,8	18,2	26,3	0,38
	b^*	7,0	3,8	6,6	0,17
C com Oenovegan EPL 5 g/hL	L^*	9,6	6,7	6,3	0,57
	a^*	22,0	22,5	22,4	0,44
	b^*	0,3	4,7	4,6	0,90
C com Oenovegan EPL 12,5 g/hL	L^*	10,3	7,6	7,2	0,37
	a^*	28	27,4	22,5	0,18
	b^*	6,3	6,8	4,9	0,09

Tabela A14 - Resultados individuais dos três ensaios laboratoriais para a determinação dos parâmetros cromáticos (L^* , a^* e b^*) do Vinho D, correspondentes à testemunha e aos respetivos tratamentos de colagem, incluindo os valores-p decorrentes da comparação estatística face à testemunha.

		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	valor-p
Vinho D	L^*	10,5	4,1	6,5	-
	a^*	24,5	11,0	23,8	
	b^*	1,2	2,3	5,4	
D com Claril ZR 20 g/hL	L^*	7,5	5,5	4,0	0,56
	a^*	23,1	16,9	14,3	0,76
	b^*	3,7	3,2	1,8	0,96
D com Claril ZR 30 g/hL	L^*	7,0	4,4	5,2	0,50
	a^*	20,3	12,5	20,4	0,71
	b^*	2,8	2,4	3,8	0,98
D com Oenovegan EPL 5 g/hL	L^*	7,4	4,7	5,6	0,61
	a^*	21,3	16,4	20,6	0,95
	b^*	3,5	2,0	4,0	0,89
D com Oenovegan EPL 12,5 g/hL	L^*	7,0	5,0	5,4	0,56
	a^*	22,2	16,3	19,0	0,90
	b^*	3,5	0,8	3,6	0,84

Tabela A15 - Resultados individuais dos três ensaios independentes (réplicas laboratoriais) para a determinação da estabilidade tartárica (μS) em todos os tratamentos de colagem dos vinhos A, B, C e D.

Estabilidade Tartárica (μS)							
Vinho	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média	Desvio padrão	Δ Estabilidade Tartárica	valor-p
A	75,40	74,80	67,30	72,500	4,513	-	-
A1	74,20	69,50	76,00	73,233	3,356	0,733	0,83
A2	69,60	71,50	69,50	70,200	1,127	-2,300	0,44
A3	72,00	73,10	68,00	71,033	2,684	-1,467	0,65
A4	73,20	73,70	62,60	69,833	6,269	-2,667	0,58
B	68,20	65,00	51,70	61,633	8,750	-	-
B1	52,30	63,50	67,90	61,233	8,043	-0,40	0,96
B2	57,80	65,10	63,00	61,967	3,758	0,33	0,95
B3	69,10	66,20	68,20	67,833	1,484	6,20	0,29
B4	67,80	68,60	73,90	70,100	3,315	8,47	0,19
C	82,90	65,30	64,50	70,900	10,400	-	-
C1	76,80	82,20	73,20	77,400	4,530	6,50	0,38
C2	78,70	83,00	76,10	79,267	3,485	8,37	0,26
C3	77,90	78,30	82,10	79,433	2,318	8,53	0,24
C4	64,70	81,00	82,00	75,900	9,712	5,00	0,58
D	81,80	69,70	73,60	75,033	6,176	-	-
D1	75,30	76,40	73,50	75,067	1,464	0,03	0,99
D2	72,30	79,20	52,80	68,100	13,692	-6,93	0,47
D3	70,80	71,90	76,80	73,167	3,194	-1,87	0,67
D4	70,10	68,00	78,80	72,300	5,726	-2,73	0,60

Tabela A16 - Resultados individuais dos três ensaios independentes (réplicas laboratoriais) para a determinação da estabilidade da matéria corante (mL) em todos os tratamentos de colagem dos vinhos A, B, C e D.

Estabilidade da matéria corante (mL)					
Vinho	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Resultado global	Impacto da colagem
A	0,1	< 0,1	0,2	0,1	-
A1	< 0,1	0,2	> 0,1	> 0,1	Menos estável
A2	< 0,1	> 0,1	< 0,1	< 0,1	Mais estável
A3	< 0,1	< 0,1	0,2	< 0,1	Mais estável
A4	< 0,1	> 0,1	> 0,1	> 0,1	Menos estável
B	0,4	< 0,1	0,3	0,3	-
B1	0,4	> 0,2	> 0,2	> 0,2	Mais estável
B2	0,2	> 0,2	> 0,2	> 0,2	Mais estável
B3	0,1	0,5	> 0,5	0,5	Menos estável
B4	0,1	> 0,5	0,4	0,4	Menos estável
C	0,1	> 0,1	0,1	0,1	-
C1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Mais estável
C2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Mais estável
C3	< 0,1	> 0,2	> 0,1	> 0,1	Menos estável
C4	< 0,1	0,1	0,1	0,1	Igual à testemunha
D	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	-
D1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Igual à testemunha
D2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Igual à testemunha
D3	< 0,1	> 0,1	0,3	> 0,1	Menos estável
D4	< 0,1	> 0,1	> 0,3	> 0,1	Menos estável

Tabela A17 - Resultados individuais da primeira prova de análise sensorial (escala de 1 a 5) dos vinhos testemunha e dos tratamentos de colagem.

Vinhos	Intensidade da Cor	Intensidade Aromática	Estrutura / Corpo	Intensidade dos Taninos	Percepção Global
A	4	5	4	3	4
A1	4	3	4	3	4
A2	4	3	4	3	4
A3	4	4	4	4	4
A4	4	4	4	3	4
B	5	3	5	5	5
B1	5	4	5	5	5
B2	5	4	4	4	4
B3	5	4	4	4	4
B4	5	4	4	4	4
C	4	4	4	4	4
C1	4	4	3	4	4
C2	4	4	4	3	4
C3	3	3	3	3	3
C4	3	3	3	3	3
D	4	4	3	3	3
D1	4	4	3	3	3
D2	4	4	3	3	3
D3	4	4	3	3	3
D4	4	4	3	3	3

Nota: O vinho D encontrava-se oxidado.

Tabela A18 - Resultados individuais da segunda prova de análise sensorial (escala de 1 a 5) dos vinhos testemunha e dos tratamentos de colagem.

Vinhos	Intensidade da Cor	Intensidade Aromática	Estrutura / Corpo	Intensidade dos Taninos	Perceção Global
A	4	3	3	3	3
A1	4	3	3	3	3
A2	4	3	3	3	3
A3	4	3	3	3	3
A4	5	4	3	3	4
B	5	5	5	4	5
B1	5	4	5	4	5
B2	5	4	5	4	5
B3	5	5	4	5	5
B4	5	5	4	5	5
C	4	4	4	4	4
C1	3	3	3	3	3
C2	4	3	3	3	3
C3	3	3	4	4	4
C4	3	4	4	4	4
D	5	5	4	4	4
D1	5	4	3	3	4
D2	5	4	Não se provou	Não se provou	-
D3	5	4	3	3	4
D4	5	4	3	3	4

Nota: As amostras encontravam-se oxidadas e houve dificuldade em verificar diferenças a nível aromático e estrutura do vinho.

Tabela A19 - Resultados individuais da terceira prova de análise sensorial (escala de 1 a 5) dos vinhos testemunha e dos tratamentos de colagem.

Vinhos	Intensidade da Cor	Intensidade Aromática	Estrutura / Corpo	Intensidade dos Taninos	Percepção Global
A	4	4	3	3	3
A1	3	4	3	3	3
A2	3	4	4	4	4
A3	4	4	4	4	4
A4	4	4	4	4	4
B	5	4	3	3	4
B1	4	4	3	3	4
B2	4	3	4	4	4
B3	4	4	3	3	4
B4	4	4	3	4	4
C	4	4	4	3	4
C1	3	3	3	3	3
C2	4	3	3	3	3
C3	3	4	4	3	4
C4	4	4	4	4	4
D	3	3	3	3	3
D1	4	3	4	3	4
D2	4	3	4	3	4
D3	4	4	3	3	4
D4	4	4	3	3	4