

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO  
GRANDE DO SUL – IFRS

Programa de Pós Graduação em Viticultura e Enologia – PPGVE

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO CROMÁTICA DE ESPUMANTES ROSÉS DURANTE A ELABORAÇÃO  
E APÓS O ENGARRAFAMENTO: UM ESTUDO DE CASO COM ABORDAGEM  
INSTRUMENTAL

LARISSA MORO GOULART

Orientador: Prof<sup>(a)</sup>. Dr<sup>(a)</sup>. Roberta Schmatz

Co-orientador: Prof<sup>(a)</sup>. Dr<sup>(a)</sup>. Evandro Ficagna

**BENTO GONÇALVES – RS**

**2025**

LARISSA MORO GOULART

AVALIAÇÃO CROMÁTICA DE ESPUMANTES ROSÉS DURANTE A ELABORAÇÃO  
E APÓS O ENGARRAFAMENTO: UM ESTUDO DE CASO COM ABORDAGEM  
INSTRUMENTAL

PROTOCOLO DE COMPARAÇÃO E USO DE FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE  
COR DE ESPUMANTES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós Graduação em Viticultura e Enologia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção de Grau de Mestre em Viticultura e Enologia.

Roberta Schmatz (Orientador)

Evandro Ficagna (Co-orientador)

**BENTO GONÇALVES - RS**

**2025**

## CIP - Catalogação na publicação

Goulart, Larissa Moro  
Avaliação cromática de espumantes roses durante a  
elaboração e após o engarrafamento: um estudo de caso  
com abordagem instrumental / Larissa Moro Goulart. --  
2025.

184 f.

Orientadora: Roberta Schmatz.

Coorientadora: Evandro Ficagna.

Dissertação (Mestrado) -- Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul,  
Campus Bento Gonçalves, Mestrado Profissional em  
Viticultura e Enologia, Bento Gonçalves, BR-RS, 2025.

1. 1. Enologia. 2. Espumante Rose. 3. Colorimetria.  
4. Engarrafamento.. I. Schmatz, Roberta. II. Ficagna,  
Evandro. III. Título.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Estrutura da quercetina (a), kaempferol (b) e miricetina (c) .....	22
<b>Figura 2:</b> Estrutura básica dos flavonóides e numeração recomendada pela IUPAC... 22	
<b>Figura 3:</b> Espectro de cores visíveis de antocianinas comuns: Pelargonidina (A); Cianidina (B); Peonidina (C); Delfinidina (D); Petunidina (F) e Malvidina (G) .....	23
<b>Figura 4:</b> Equilíbrio das antocianinas em função de diferentes valores de pH.....	24
<b>Figura 5:</b> Sólidos em cores.....	34
<b>Figura 6:</b> Sólidos em três dimensões.....	34
<b>Figura 7:</b> Diagrama de cromaticidade $a^*b^*$ .....	35
<b>Figura 8:</b> Representação tridimensional de cromaticidade do sistema CIE $L^*a^*b^*$ .....	35
<b>Figura 9:</b> Representação bidimensional de cromaticidade do CIE $L^*A^*B^*$ .....	36
<b>Figura 10:</b> Testes de porcentagem de tintos em base de vinho branco.....	41
<b>Figura 11:</b> Etapas do processo de elaboração de um espumante Charmat.....	45
<b>Figura 12:</b> Linha do tempo do processo de elaboração do espumante utilizado no experimento.....	46
<b>Figura 13:</b> Períodos de coletas das amostras.....	47
<b>Figura 14:</b> Metodologia aplicada para preparo das amostras.....	48
<b>Figura 15:</b> Metodologia aplicadas nas amostras já filtradas.....	49
<b>Figura 16:</b> Resultados dos testes de tinto.....	56
<b>Figura 17:</b> Evolução de $L^*$ durante a tomada de espuma em base branca.....	57
<b>Figura 18:</b> Relação luminosidade ( $L^*$ ) x absorbâncias ( $A_{420}$ e $A_{520}$ nm).....	58
<b>Figura 19:</b> Evolução da cor vermelha - coordenada $a^*$ e $A_{520}$ nm durante tomada de espuma.....	59
<b>Figura 20:</b> Regressão linear entre parâmetros colorimétricos ( $a^*$ ) e espectrofotométricos (520 nm).....	60
<b>Figura 21:</b> Evolução da coordenada $b^*$ e $A_{420}$ nm durante tomada de espuma.....	62
<b>Figura 22:</b> Regressão linear entre parâmetros colorimétricos ( $b^*$ ) e espectrofotométricos (420 nm).....	63

<b>Figura 23:</b> Evolução da produção de CO <sub>2</sub> durante a tomada de espuma.....	65
<b>Figura 24:</b> Evolução de croma durante a tomada de espuma.....	67
<b>Figura 25:</b> Evolução do croma (C*) em vinhos rosés.....	68
<b>Figura 26:</b> Evolução do ângulo de tonalidade (h°) durante a tomada de espuma do espumante rosé.....	69
<b>Figura 27:</b> Faixa de matiz (h°) durante a tomada de espuma.....	70
<b>Figura 28:</b> Distribuição tridimensional das coordenadas CIELAB (L*, a*, b*) durante a tomada de espuma.....	72
<b>Figura 29:</b> Evolução da diferença total de cor ( $\Delta E^*ab$ ) em relação ao ITE durante a tomada de espuma.....	73
<b>Figura 30:</b> Evolução de A620nm durante a tomada de espuma.....	74
<b>Figura 31:</b> Evolução de SO <sub>2</sub> livre durante a tomada de espuma.....	75
<b>Figura 32:</b> Representação da cor com base na conversão das coordenadas CIELAB para o espaço de cor RGB.....	76
<b>Figura 33:</b> Evolução das coordenadas durante a maturação a 6°C.....	77
<b>Figura 34:</b> Evolução das absorbâncias durante a maturação a 6°C.....	79
<b>Figura 35:</b> Evolução das coordenadas de cor (L*, a*, b*, Croma - C*, h°) na estabilização a -2°C.....	83
<b>Figura 36:</b> Evolução das absorbâncias (420, 520 e 620 nm) na estabilização a -2°C..	85
<b>Figura 37:</b> Panorama geral da tomada de espuma, maturação e estabilização.....	88
<b>Figura 38:</b> Intensidade corante (IC) do espumante rosé nas diferentes etapas do processo.....	89
<b>Figura 39:</b> a) ciclo global com o posicionamento das cores das etapas de elaboração; b) paleta de cores com as etapas do processo de elaboração.....	90
<b>Figura 40:</b> Evolução das absorbâncias nas etapas finais do processo de elaboração.	94
<b>Figura 41:</b> Evolução das coordenadas nos processos finais do processo de	

elaboração .....	95
<b>Figura 42:</b> Acompanhamento do SO <sub>2</sub> Livre durante as etapas do processo de elaboração.....	96
<b>Figura 43:</b> Análises de AT e pH durante o processo de elaboração do espumante deste experimento.....	98
<b>Figura 44:</b> Visualização da trajetória de cor ao longo da elaboração do espumante rosé .....	102
<b>Figura 45:</b> Evolução das cores amarelas e vermelhas ao longo de 16 meses de armazenamento em duas condições de armazenamento.....	108
<b>Figura 46:</b> Evolução das cor azul, luminosidade, croma e matiz ao longo de 16 meses de armazenamento em duas condições de armazenamento.....	109

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

nm	nanômetros
CO <sub>2</sub>	dióxido de carbono
SO <sub>2</sub>	dióxido de enxofre, sulfito
TE	tomada de espuma
ITE	início de tomada de espuma
FTE	fim de tomada de espuma
MAT	maturação
EST	estabilização
TCT	teste de correção de tinto
LE	licor de expedição
ENG	engarrafamento
EST	estabilização
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ácido sulfúrico
AT	acidez total

## RESUMO

A cor é um dos atributos sensoriais mais relevantes na qualidade percebida de espumantes rosés, influenciando diretamente sua aceitação no mercado. Este trabalho teve como objetivo avaliar a evolução cromática durante a tomada de espuma e as etapas finais da elaboração de espumantes rosés produzidos pelo método Charmat. Foram empregadas duas abordagens instrumentais complementares — espectrofotometria UV-Vis (absorbâncias a 420, 520 e 620 nm) e colorimetria no sistema CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $h^\circ$ ) — aplicadas a amostras coletadas desde o início da segunda fermentação até o engarrafamento. Os resultados indicaram variações significativas nos parâmetros de cor, especialmente nos primeiros dias da fermentação, com aumento da coordenada  $a^*$  e da absorbância a 520 nm, sugerindo maior intensidade da coloração vermelha. Durante a maturação, observou-se estabilização da cor, com discreto aumento em  $L^*$  e oscilações em  $b^*$  e  $h^\circ$ , principalmente após a adição do licor de expedição. A comparação entre os métodos revelou alta correlação entre  $a^*$  e  $A_{520}$ , reforçando a confiabilidade cruzada das técnicas para avaliação da intensidade corante. No entanto, a colorimetria mostrou maior sensibilidade às alterações de matiz e croma, sendo mais representativa para interpretações visuais. Como desdobramento, o trabalho propôs um material técnico com os achados principais e recomendou o desenvolvimento futuro de uma plataforma digital para o monitoramento cromático em espumantes rosés.

**Palavras-chave:** espumante rosé; espectrofotômetro; colorimetria CIELAB; evolução da cor; engarrafamento.

## ABSTRACT

Color is one of the most relevant sensory attributes in the perceived quality of rosé sparkling wines, directly influencing their market acceptance. This study aimed to evaluate the color evolution during the head formation and final stages of the production of rosé sparkling wines produced using the Charmat method. Two complementary instrumental approaches were used—UV-Vis spectrophotometry (absorbances at 420, 520, and 620 nm) and CIELAB colorimetry ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $h^\circ$ )—applied to samples collected from the beginning of the second fermentation until bottling. The results indicated significant variations in color parameters, especially in the first days of fermentation, with an increase in the  $a^*$  coordinate and absorbance at 520 nm, suggesting greater intensity of the red color. During maturation, color stabilization was observed, with a slight increase in  $L^*$  and fluctuations in  $b^*$  and  $h^\circ$ , mainly after the addition of expedition liqueur. The comparison between the methods revealed a high correlation between  $a^*$  and  $A_{520}$ , reinforcing the cross-reliability of the techniques for assessing color intensity. However, colorimetry showed greater sensitivity to changes in hue and chroma, being more representative for visual interpretations. As a result, the study proposed a technical document with the main findings and recommended the future development of a digital platform for color monitoring in sparkling rosé wines.

**Keywords:** sparkling rosé; spectrophotometer; CIELAB colorimetry; color evolution; bottling.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2. JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>13</b>
<b>3. APLICABILIDADE DOS RESULTADOS E IMPACTOS.....</b>	<b>15</b>
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
4.1 FATORES QUE INFLUENCIAM A COR DE UM VINHO.....	18
4.2 Compostos fenólicos e sua relação com a cor.....	19
4.3 Estabilidade da cor e influência das práticas enológicas.....	26
4.4 Transformações fenólicas e mudanças perceptivas de cor.....	27
4.5 Da química das antocianinas à interpretação instrumental da cor pelo sistema CIELAB.....	28
4.6 Lacunas do conhecimento e implicações para a pesquisa.....	28
4.7 MÉTODOS INSTRUMENTAIS PARA ANÁLISE DE COR.....	29
4.7.1 MÉTODOS CONVENCIONAIS - espectrofotométricos.....	29
4.7.2 MÉTODO DE GLORIES.....	31
4.7.3 MÉTODO DAS COORDENADAS CROMÁTICAS: CIE L*A*B*.....	31
4.8 APLICAÇÃO DA COLORIMETRIA NA ANÁLISE DE BEBIDAS.....	35
<b>5. HIPÓTESES/PROPOSIÇÕES/SUGESTÕES DE POSSÍVEIS SOLUÇÕES.....</b>	<b>37</b>
<b>6. OBJETIVOS.....</b>	<b>38</b>
6.1. Objetivo Geral.....	38
6.2. Objetivos Específicos.....	39
<b>7. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>39</b>
7.1 AVALIAÇÃO CROMÁTICA DE SOLUÇÕES MODELO: INFLUÊNCIA DE DIFERENTES PROPORÇÕES DE VINHO TINTO EM BASE BRANCA.....	39
7.2 ELABORAÇÃO DO VINHO BASE E DO ESPUMANTE.....	40
7.2.1 PRENSAGEM E OBTENÇÃO DO MOSTO.....	40
7.2.2 ADIÇÃO DE ENZIMA PECTOLÍTICA E CLARIFICAÇÃO DO MOSTO.....	41

7.2.3 FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA E OBTENÇÃO DO VINHO BASE.....	41
7.2.4 ARMAZENAMENTO E ESTABILIZAÇÃO DO VINHO BASE.....	41
7.2.5 ASSEMBLAGE.....	42
7.2.6 SEGUNDA FERMENTAÇÃO – MÉTODO CHARMAT.....	42
7.2.7 FILTRAÇÕES, LICOR DE EXPEDIÇÃO E ENGARRAFAMENTO.....	42
7.3 AMOSTRAS E CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO.....	44
7.4 DETERMINAÇÃO FÍSICO-QUÍMICAS.....	47
7.5 DETERMINAÇÃO DA COR MÉTODO CONVENCIONAL - Espectrofotométrico.....	48
7.6 COR COLORÍMETRO CIEL*ab*.....	49
7.8 TABULAÇÃO DOS RESULTADOS.....	50
7.9 METODOLOGIAS DAS ANÁLISES.....	51
7.10 CURVA DO COMPORTAMENTO.....	51
<b>8. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>52</b>
8.1 AVALIAÇÃO CROMÁTICA DE SOLUÇÕES MODELO: INFLUÊNCIA DE DIFERENTES PROPORÇÕES DE VINHO TINTO EM BASE BRANCA.....	53
CAPÍTULO I: PROCESSO DE ELABORAÇÃO.....	54
8.2 Tomada de espuma.....	54
8.2.1 Luminosidade.....	55
8.2.2 Coordenada a* e absorbância 520 nm.....	56
8.2.3 Coordenada b* e absorbância 420 nm.....	59
8.2.4 Pressão.....	63
8.2.5 Cromo (c*).....	65
8.2.6 Matiz (h°).....	67
8.2.7 Gráfico cielab 3D: plotando todos os valores (a*, b*, L*).....	69
8.2.8 Variação global de cor ( $\Delta E$ ).....	71
8.2.9 Absorbância 620 nm.....	72

8.2.10 Dióxido de enxofre livre (SO <sub>2</sub> ).....	73
8.3 Maturação.....	75
8.4 Estabilização.....	81
8.5 PANORAMA GERAL.....	86
8.6 Preparo para Engarrafamento: filtração tangencial, adição de vinho tinto e licor de expedição.....	91
8.7 Acidez total e pH.....	96
8.9 CAPÍTULO II: EVOLUÇÃO DA COR DO ESPUMANTE ROSÉ DURANTE O ARMAZENAMENTO.....	102
<b>9. PRODUTOS DESENVOLVIDOS.....</b>	<b>109</b>
<b>10. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>110</b>
10.1 ETAPAS FUTURAS.....	112
<b>11. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>114</b>
12. APÊNDICE I: Metodologia para açúcares redutores.....	132
13. APÊNDICE II: Metodologia para pH com pHmetro Hach HQ 40d ou Séries....	134
14. APÊNDICE III: Metodologia para SO <sub>2</sub> livre e total - titulador automático.....	135
15. APÊNDICE IV: Metodologia para Acidez total - titulador automático.....	137
16. APÊNDICE V: Metodologia para Cor - espectrofotômetro.....	140
17. APÊNDICE VI: Metodologia para Cor - colorímetro.....	142
18. APÊNDICE VII: Resumo MTC.....	144
19. APÊNDICE VIII: Resumo 10º Salão de Pesquisa, Ensino e Extensão.....	145
19. APÊNDICE IX: Submissão do artigo.....	150
<b>Evolução cromática de espumante brut rosé durante o processo de elaboração pelo método charmat: um estudo instrumental.....</b>	<b>150</b>
20. APÊNDICE X: Produto Tecnológico.....	167

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem sido reconhecido mundialmente como um produtor de vinhos e espumantes de excelência, com crescente presença em premiações e avaliações técnicas internacionais. Conforme apontado pela Embrapa Uva e Vinho (2023), as particularidades da vitivinicultura brasileira — associadas à diversidade de condições edafoclimáticas, sistemas produtivos e estratégias tecnológicas — posicionam o país em um patamar singular, despertando o interesse tanto dos consumidores brasileiros quanto de especialistas internacionais.

Paralelamente, o consumo de vinhos rosés têm apresentado crescimento expressivo nas últimas décadas, consolidando-se como uma categoria relevante no mercado global de vinhos tranquilos. De acordo com o *World Rosé Observatory* (2025), os vinhos rosés representam atualmente cerca de 10 % do consumo mundial de vinhos tranquilos, com um volume estimado em aproximadamente 18,5 milhões de hectolitros, mantendo participação estável mesmo em um cenário recente de retração do consumo global de vinhos, conforme também observado pela Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV, 2024).

No contexto brasileiro, essa tendência também se reflete de forma consistente. Dados do Instituto Brasileiro do Vinho indicam que o mercado nacional de vinhos manteve trajetória de crescimento nos últimos anos, com destaque para a ampliação da participação dos vinhos rosés e espumantes, acompanhando mudanças no perfil de consumo e na valorização de estilos considerados mais leves, frescos e visualmente atrativos (IBRAVIN, 2025). Esse crescimento tem sido impulsionado, sobretudo, pelo público jovem-adulto e feminino, bem como pela crescente valorização de experiências sensoriais associadas à cor, ao frescor e à versatilidade de consumo dos vinhos rosés (IBRAVIN, 2025; World Rosé Observatory, 2025).

A competitividade da vitivinicultura está associada a diversos fatores, entre os quais se destacam a qualidade e a tipicidade dos produtos elaborados, atributos fundamentais para a diferenciação em mercados cada vez mais exigentes (JEZIORNY, 2009). À medida que os consumidores se tornam mais informados e criteriosos quanto à qualidade dos vinhos, somado ao aumento da concorrência com outras bebidas alcoólicas, a busca pela excelência em enologia torna-se ainda mais relevante (GUERRA, 2005; CASTRO, 2021). Nesse contexto, a elaboração de produtos diferenciados depende de múltiplos fatores, como a região e o local de cultivo da videira, as características do solo, o porta-enxerto, a safra, as condições climáticas, o manejo agrônomico e as técnicas de vinificação adotadas (MORAES, 2021).

O vinho apresenta uma composição química altamente complexa, constituída majoritariamente por água e etanol, além de uma ampla diversidade de compostos minoritários, como álcoois superiores, ácidos orgânicos, ésteres, aldeídos, cetonas e, especialmente, compostos fenólicos (VIEIRA, 2013; PINHEIRO *et al.*, 2025). Estes compostos interagem entre si ao longo da vinificação, maturação e envelhecimento, dando origem a novas moléculas e promovendo alterações contínuas nas propriedades físico-químicas e sensoriais da bebida, influenciando diretamente atributos como aroma, sabor, estabilidade e cor (FURTADO, 2013; DELIĆ *et al.*, 2024).

Entre os atributos sensoriais, a cor destaca-se como um dos principais indicadores da qualidade percebida dos vinhos rosés, exercendo forte influência na decisão de compra dos consumidores, embora não exista consenso quanto à tonalidade considerada ideal (PERES *et al.*, 2020; LEBORGNE, 2022). Em análises sensoriais, a cor é o primeiro parâmetro avaliado e pode fornecer informações relevantes sobre o produto, uma vez que reflete escolhas tecnológicas realizadas ao longo do processo de elaboração. Aspectos como a casta utilizada, o *terroir* de origem, os métodos de vinificação e as condições de envelhecimento influenciam diretamente a coloração final do vinho.

A cor dos vinhos rosés, assim como a dos vinhos tintos, está associada principalmente à presença de antocianinas extraídas das cascas das uvas, bem como à formação de pigmentos derivados dessas moléculas ou resultantes de reações com outros componentes do mosto e do vinho durante a vinificação e o envelhecimento (LEBORGNE, 2022; DELIĆ *et al.*, 2024). Estudos recentes demonstram que a composição e a concentração dos compostos fenólicos, especialmente antocianinas e taninos, estão diretamente relacionadas à intensidade, tonalidade e estabilidade da cor, podendo ser avaliadas por parâmetros cromáticos como o sistema CIELAB (LEBORGNE, 2022; BARIS, 2024). A composição fenólica dos vinhos é fortemente influenciada pelos processos de vinificação, que determinam tanto a extração quanto a estabilidade desses compostos na matriz do vinho (ATANASOVA *et al.*, 2002; PERTILLE *et al.*, 2025).

Dessa forma, o estudo da cor torna-se fundamental por envolver aspectos técnicos e mercadológicos. Diferentes métodos de produção podem influenciar diretamente a coloração do produto final, e a compreensão dessas influências contribui para a padronização e o controle dos processos enológicos. Além disso, o conhecimento das preferências cromáticas do público-alvo é essencial para atender às demandas do mercado, uma vez que diferentes segmentos podem apresentar preferências específicas quanto à tonalidade e à intensidade da cor.

Adicionalmente, a cor pode ser empregada como uma ferramenta estratégica de *branding*, permitindo o posicionamento de vinhos e espumantes rosés com características cromáticas específicas para determinados públicos, ocasiões de consumo ou estações do ano. O embasamento científico sobre a formação e a evolução da cor possibilita que enólogos desenvolvam novos estilos de produtos rosés, promovendo inovação, diferenciação e maior competitividade no mercado vitivinícola (BARIS, 2024; WORLD ROSÉ OBSERVATORY, 2025).

Desta forma, o estudo do comportamento de vinhos durante a vida de prateleira secundária e suas etapas de elaboração se constituem em uma importante ferramenta para melhor compreender o impacto destes aspectos para composição

físico-químicas. Este estudo visa avaliar as alterações físicas e químicas que ocorrem durante o preparo da elaboração de espumantes rosés, associando a evolução da cor à interferência dos processos enológicos ao longo da produção postergando a simulação do período de dezesseis meses em prateleira.

## 2. JUSTIFICATIVA

A investigação da cor dos vinhos rosés no Brasil apresenta-se como um tema relevante diante do crescimento do consumo dessa categoria e da maior competitividade do mercado vitivinícola nacional. A cor é um dos principais atributos do vinho, sendo geralmente o primeiro aspecto avaliado pelo consumidor e exercendo influência direta na percepção de qualidade, frescor e estilo do produto. Jaud *et al.*, (2025) indicam que variações nos parâmetros cromáticos podem afetar a aceitação e a expectativa sensorial dos consumidores, especialmente no caso dos vinhos rosés.

A coloração dos vinhos rosés resulta da interação entre fatores vitícolas, climáticos e enológicos, incluindo a variedade de uva, as condições climáticas da safra e as práticas de vinificação empregadas. Evidências científicas indicam que a variedade e o clima exercem influência direta sobre os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , refletindo diferenças regionais e contribuindo para a identidade visual dos vinhos rosés (ARENA *et al.*, 2021). Nesse contexto, a análise instrumental da cor por meio do sistema CIELAB destaca-se como ferramenta objetiva e reprodutível, permitindo a caracterização quantitativa desse atributo (PÉREZ-MAGARIÑO; GONZÁLEZ-SAN JOSÉ, 2006; SAUNDERS, 2024).

Além do aspecto visual, a cor dos vinhos rosés está relacionada à composição fenólica e aos fenômenos de copigmentação, que influenciam a tonalidade e a estabilidade da cor. Dados da literatura indicam que a interação entre antocianinas e outros compostos fenólicos interfere diretamente nos parâmetros cromáticos, sendo sensível às condições de vinificação empregadas (COSME *et al.*,

2021; RICCI *et al.*, 2025). Assim, o monitoramento da cor auxilia na compreensão dessas interações ao longo do processo de elaboração.

O processo de vinificação exerce papel importante na definição da intensidade e da estabilidade da cor dos vinhos rosés. Práticas como o tempo de maceração, o controle da temperatura de fermentação e o manejo do oxigênio afetam a extração e a evolução dos compostos responsáveis pela coloração. Diferentes estratégias de vinificação podem alterar os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , impactando a aparência e a estabilidade do produto durante o armazenamento (ESCRIBANO-BAILÓN *et al.*, 2013; BRANCO *et al.*, 2025).

Fatores pós-engarrafamento, como a exposição à luz e o tipo de embalagem, também podem influenciar a manutenção da cor dos vinhos rosés, favorecendo alterações cromáticas indesejáveis. Estudos conduzidos na área evidenciam que a exposição luminosa e a coloração da garrafa afetam os atributos visuais e a percepção sensorial dos rosés ao longo do armazenamento (MEDINA-PLAZA *et al.*, 2024).

Diante desse contexto, o estudo da cor dos vinhos rosés no Brasil torna-se importante para compreender os fatores que influenciam suas características visuais e contribuir para a melhoria da qualidade dos produtos. A aplicação de análises instrumentais permite a diferenciação e a padronização dos vinhos, auxiliando produtores e pesquisadores no desenvolvimento de estratégias voltadas à qualidade e à competitividade no mercado (PÉREZ-MAGARIÑO; GONZÁLEZ-SAN JOSÉ, 2006; MACHADO, 2023).

Nesse sentido, este trabalho busca contribuir para o setor vitivinícola brasileiro, ao gerar informações que auxiliem no aprimoramento dos processos de elaboração e no desenvolvimento de vinhos rosés com maior estabilidade e aceitação pelo consumidor.

### 3. APLICABILIDADE DOS RESULTADOS E IMPACTOS

Esse estudo apresenta uma revisão abrangente da literatura, explorando investigações relevantes sobre o tema e artigos que detalham o uso das ferramentas pertinentes. Em seguida, será elaborado um protocolo de instruções para cada método, com o intuito de obter uma compreensão mais precisa do processo analítico e mitigar possíveis falhas. Os resultados obtidos serão então correlacionados com os objetivos do estudo e validados a teorias dos autores citados como referência. As conclusões deste trabalho serão compiladas em um protocolo abrangente, destinado a comparar a utilidade das ferramentas para o setor vitivinícola, proporcionando orientações importantes para a aplicação prática desses métodos na indústria do vinho.

Os **impactos** e resultados esperados desta pesquisa visam trazer uma série de consequências benéficas e significativas para a indústria vinícola e para os consumidores. Primeiramente, compreender a cor dos vinhos por meio do sistema colorimétrico padronizado como o CIELAB proporciona uma análise objetiva e quantitativa, permitindo uma descrição precisa das características cromáticas dos vinhos. Isso permite estabelecer uma linguagem comum entre produtores, enólogos e consumidores, facilitando a comunicação e a compreensão das nuances de cor dos vinhos. Além disso, pode permitir que as empresas possam otimizar suas práticas e alcançar resultados desejados de forma mais consistente.

Outro impacto importante é a influência da cor dos vinhos na percepção sensorial e na preferência dos consumidores. Evidências científicas indicam que a cor pode afetar a avaliação subjetiva de vinhos, influenciando a expectativa de sabor, aroma e qualidade. Portanto, compreender como as diferentes tonalidades e intensidades de cor influenciam a experiência do consumidor pode orientar estratégias de *marketing* e produção, aumentando a satisfação do cliente e a aceitação do produto.

Quanto à **aplicabilidade** do produto, quando comparado o método convencional de análise de cor com o uso de um colorímetro pode-se ter uma ampla

gama de aplicações práticas, contribuindo para melhorias na qualidade, eficiência e inovação na indústria vinícola. Será possível validar a precisão e a confiabilidade do colorímetro como uma ferramenta alternativa ou complementar ao método convencional de análise de cor. Isso é crucial para garantir que os resultados obtidos pelo colorímetro sejam consistentes e comparáveis aos obtidos pelo método convencional (análise espectrofotométrica). Também, ao comparar os dois métodos, é possível identificar diferenças nas leituras de cor e entender as causas relacionadas às discrepâncias. Isso pode ajudar na otimização de processos de produção, visando alcançar resultados consistentes e de qualidade. Da mesma forma, a utilização do colorímetro pode oferecer uma maneira rápida e objetiva de realizar análises de cor durante diferentes etapas do processo de produção. Isso pode permitir a detecção precoce de variações indesejadas na cor dos vinhos e a implementação de medidas corretivas adequadas. Assim como, o uso de um colorímetro pode reduzir o tempo e os custos associados à análise de cor, em comparação com o método convencional. Isso pode aumentar a eficiência e a produtividade na indústria vinícola, permitindo uma análise mais rápida e frequente dos vinhos, sem comprometer a qualidade dos resultados.

A **inovação** desempenha um papel central em projetos que exploram novas abordagens e tecnologias na análise de cor de vinhos. Ao adotar e promover o uso de métodos mais avançados, a indústria vinícola pode realizar análises de cor de forma rápida e precisa, abrindo novas oportunidades para a personalização e diferenciação de produtos. Com o avanço da tecnologia da informação, os dados gerados pelo colorímetro podem ser facilmente integrados a sistemas de gerenciamento de informações e controle de processo, possibilitando uma análise mais abrangente e em tempo real das características de cor dos vinhos. Os colorímetros modernos são frequentemente equipados com recursos de automação e digitalização, tornando o processo de análise de cor mais eficiente e escalável, e proporcionando medições mais precisas e objetivas em comparação com o método convencional, que muitas vezes depende da avaliação subjetiva por parte dos analistas.

Um projeto que compara o método convencional de análise de cor com o uso de um colorímetro enfrenta uma série de **complexidades** que demandam atenção meticulosa em todas as etapas do processo. Primeiramente, a variação de parâmetros precisa ser cuidadosamente controlada para garantir a consistência e confiabilidade dos resultados. Além disso, é essencial padronizar os procedimentos de análise, desde a preparação das amostras até a medição da cor, a fim de assegurar a comparabilidade entre os métodos. A calibração regular dos equipamentos utilizados, tanto o colorímetro quanto os instrumentos do método convencional (espectrofotométrico), é fundamental para evitar resultados incorretos. A interpretação dos dados gerados pela comparação requer análise cuidadosa para identificar padrões, tendências e discrepâncias. Enfrentar essas complexidades de forma sistemática e cuidadosa é fundamental para garantir a integridade e validade do estudo, possibilitando a obtenção de informações que contribuam para o avanço da indústria vinícola e da pesquisa científica.

#### 4. REFERENCIAL TEÓRICO

A cor é uma característica fundamental dos vinhos, desempenhando papel essencial na percepção sensorial, na avaliação da qualidade e na aceitação pelo consumidor. Trata-se de um atributo visual que atua como um dos primeiros critérios de julgamento, influenciando expectativas sensoriais e decisões de compra. Por esse motivo, a análise da cor dos vinhos permanece como um tema de elevado interesse para produtores e pesquisadores, uma vez que está diretamente relacionada à composição química da matriz vínica — em especial à presença, transformação e interação de pigmentos como antocianinas, pigmentos derivados (por exemplo, piranoantocianinas), polifenóis e compostos mediados por acetaldeído —, bem como ao grau de maturação das uvas, ao manejo vitícola e às práticas enológicas adotadas ao longo da vinificação.

Dados reportados na literatura científica demonstram a existência de correlações significativas entre variáveis como a ausência ou redução de dióxido de

enxofre, a origem do *terroir*, a intensidade de cor mensurada por espectrofotometria e os parâmetros CIELAB, e os atributos sensoriais percebidos pelo consumidor, evidenciando a importância de métodos instrumentais na avaliação da cor de vinhos.

Nesse contexto, este referencial teórico aborda a cor dos vinhos como um fenômeno multidimensional, discutindo sua origem química, os fatores que a influenciam e suas implicações na qualidade e na percepção sensorial. Além disso, apresenta-se uma análise crítica dos métodos disponíveis para a avaliação da cor, com ênfase nas técnicas instrumentais, destacando suas potencialidades, limitações e aplicações no contexto científico e industrial.

#### 4.1 FATORES QUE INFLUENCIAM A COR DE UM VINHO

A cor do vinho é influenciada por uma série de fatores inter-relacionados, incluindo a presença e a reatividade de compostos fenólicos como antocianinas, flavonoides e taninos, que contribuem para a coloração, a estabilidade e as características sensoriais do produto final (BOULTON *et al.*, 2013). Esses compostos encontram-se majoritariamente nas cascas das uvas e são extraídos durante as etapas iniciais da vinificação, particularmente ao longo da maceração.

A intensidade e a tonalidade da cor podem variar amplamente, desde tons muito claros em vinhos brancos até colorações profundas em vinhos tintos, dependendo da concentração e do perfil dos compostos fenólicos presentes, da variedade de uva, das condições de cultivo e das técnicas de vinificação empregadas (JACKSON, 2008). No entanto, a determinação objetiva da cor do vinho constitui um desafio, dada a complexidade da matriz vínica e a influência simultânea de múltiplos fatores, como pH, oxidação, envelhecimento e interações coloidais.

No caso dos vinhos rosés, a cor assume um papel ainda mais crítico, uma vez que pequenas variações cromáticas podem ser facilmente percebidas e avaliadas negativamente pelo consumidor. A coloração desses vinhos decorre principalmente da extração controlada de antocianinas das cascas das uvas tintas, bem como da formação de pigmentos derivados ao longo da vinificação e do armazenamento

(LEBORGNE *et al.*, 2022). Além disso, a cor varia conforme as características das uvas, as técnicas enológicas adotadas e as inúmeras reações químicas que ocorrem durante o armazenamento, muitas das quais são inevitáveis em função da elevada reatividade dos compostos fenólicos, especialmente nos primeiros meses após a elaboração (BIRSE, 2007; FERREIRA, 2021).

#### **4.2 Compostos fenólicos e sua relação com a cor**

Os compostos fenólicos constituem um dos parâmetros mais relevantes na definição da qualidade dos vinhos, sobretudo dos vinhos tintos e rosés, devido à sua contribuição direta para a cor, o sabor, a adstringência e a estrutura do vinho (LÓPEZ *et al.*, 2009; TEIXEIRA *et al.*, 2013). Esses compostos estão distribuídos de forma heterogênea nas uvas, sendo as sementes responsáveis por aproximadamente 60–70% do conteúdo fenólico total, seguidas pelas cascas (28–35%), enquanto a polpa apresenta concentrações significativamente menores (ATAK *et al.*, 2021; CHENGOLOVA *et al.*, 2023; MILINČIĆ *et al.*, 2025).

Durante a vinificação, reações de condensação entre antocianinas e outros compostos fenólicos, como flavonóis e taninos, conduzem à formação de pigmentos poliméricos, que podem representar entre 35% e 63% da cor total dos vinhos envelhecidos, dependendo das condições de elaboração e armazenamento (DE FREITAS *et al.*, 2017). Esses pigmentos apresentam maior estabilidade frente à oxidação e às variações de pH, desempenhando papel fundamental na manutenção da cor ao longo do tempo.

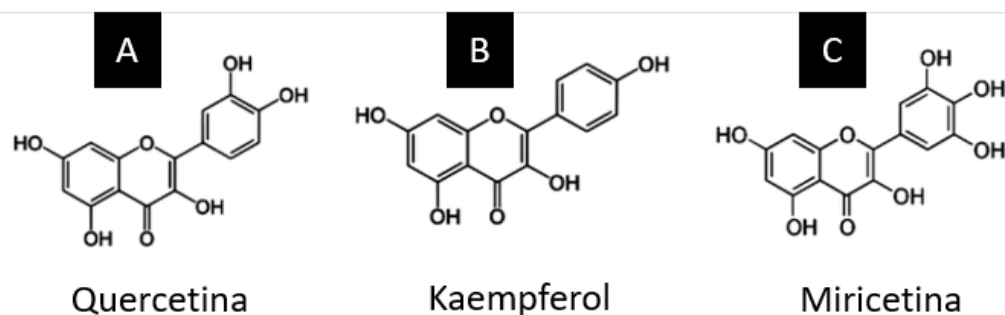
Entre os compostos fenólicos, os flavonoides destacam-se por sua importância na determinação da cor e das propriedades sensoriais, além de contribuírem para os processos de envelhecimento e estabilização cromática (CABRITA *et al.*, 2023). Embora muitos flavonóis não sejam intensamente coloridos, sua interação com antocianinas por meio do fenômeno da copigmentação promove aumento da intensidade cromática (efeito de hiper Cromia) e maior estabilidade da cor em diferentes condições físico-químicas (BOULTON, 2013; JACKSON, 2008).

Conforme Kotowski (2022), os polifenóis determinam direta ou indiretamente a qualidade geral dos vinhos, especialmente dos vinhos tintos. Entre os polifenóis de maior interesse enológico estão as antocianinas e os taninos. As antocianinas são os pigmentos responsáveis pela cor das uvas e dos vinhos tintos. Elas conferem as tonalidades vermelha, roxa e azul que caracterizam esses vinhos. Os taninos, por sua vez, estão relacionados não apenas à cor, mas também ao sabor e à estrutura dos vinhos.

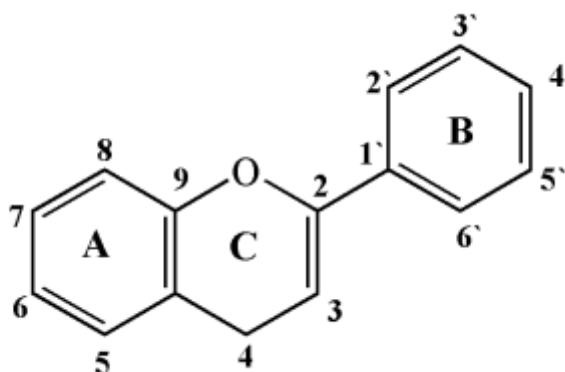
Embora os taninos não tenham cor específica, eles reagem com as antocianinas formando complexos estáveis que influenciam a evolução da cor do vinho ao longo do tempo. Esses complexos são importantes para a estabilização da cor, evitando a degradação oxidativa das antocianinas. A formação desses complexos é um processo essencial que ocorre durante o envelhecimento do vinho, resultando em uma cor mais profunda e estável (KOTOWSKI, 2022).

Os flavonóides são uma classe de compostos fenólicos amplamente presentes nas uvas e, conseqüentemente, nos vinhos. Eles desempenham um papel importante na vinificação, contribuindo para a cor, estabilidade e características organolépticas dos vinhos.

Os flavonóis são um subgrupo dos flavonóides e incluem compostos como a quercetina, kaempferol e miricetina (Figura 1). Esses compostos possuem uma estrutura básica que consiste em dois anéis aromáticos unidos por um heterociclo de oxigênio (Figura 2). A diversidade de flavonóis resulta das variações nos grupos hidroxila e metoxila anexados à estrutura básica (JACKSON, 2008).



**Figura 1:** Estrutura da quercetina (a), kaempferol (b) e miricetina (c) (Fonte: Magne *et al.*, 2015).



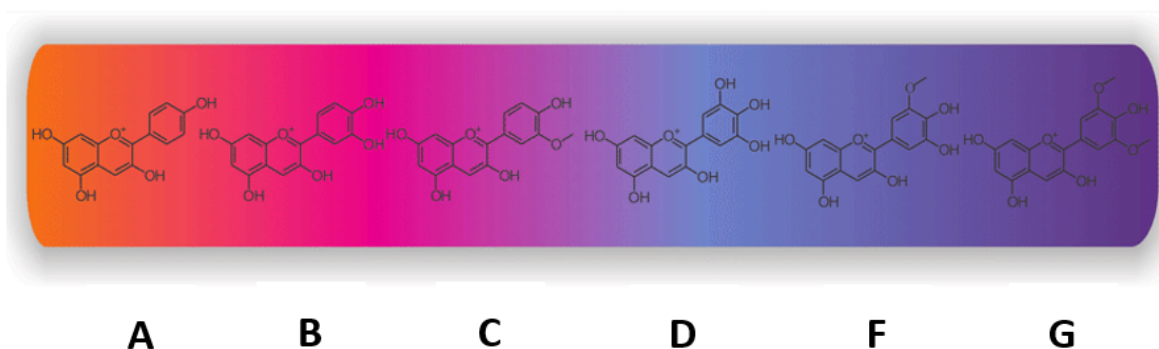
**Figura 2:** Estrutura básica dos flavonóides e numeração recomendada pela IUPAC. (Fonte: Heim *et al.*, 2002)

Além de seu papel na cor, os flavonóis influenciam o sabor e o aroma dos vinhos. Eles são importantes para a complexidade aromática, interagindo com outros compostos voláteis e não voláteis durante a fermentação e o envelhecimento. Essas interações intensificam os aromas frutados e florais, acrescentando profundidade e riqueza ao perfil sensorial do vinho (JACKSON, 2008).

As antocianinas são pigmentos naturais solúveis em água que refletem a luz nas regiões vermelha e azul do espectro visível, responsáveis pela coloração de uma gama de flores, frutas e outros produtos derivados, tal como o vinho tinto (BIRSE, 2007).

Nas uvas, as antocianinas, como malvidina, delphinidina, petunidina, peonidina e cianidina, são encontradas principalmente na casca das bagas, com a malvidina sendo a mais abundante (Figura 3). Estas antocianinas estão associadas a moléculas de açúcar, formando antocianinas glicosiladas, que são responsáveis pelas cores vermelha, roxa e azul das uvas e dos vinhos. Em algumas variedades de uvas, como as uvas *teinturie* (*Vitis labrusca*), antocianinas também estão presentes na polpa das bagas (FERNÁNDEZ, 2020).

A localização das antocianinas nas camadas superiores da hipoderme das uvas, em vacúolos ou em estruturas denominadas antocianoplastos, é uma característica importante para a compreensão da pigmentação e das propriedades sensoriais das uvas e dos vinhos (LÓPEZ *et al.*, 2009).

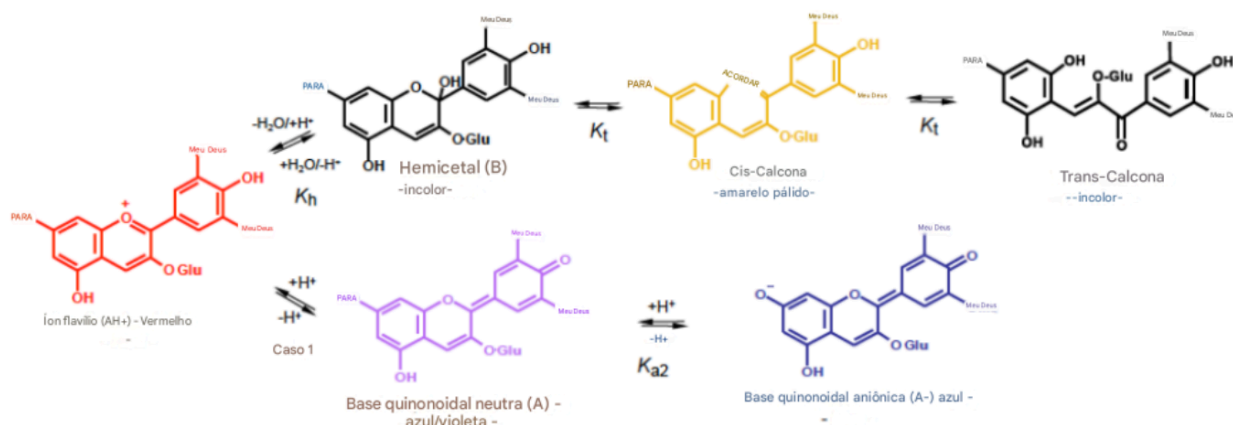


**Figura 3:** Espectro de cores visíveis de antocianinas comuns: Pelargonidina (A); Cianidina (B); Peonidina (C); Delphinidina (D); Petunidina (F) e Malvidina (G) (Fonte: Arruda *et al.*, 2013).

As antocianinas genuínas são geralmente descritas como cátions de flavílio, responsáveis pela coloração vermelha dos vinhos; entretanto, essa forma estrutural é predominante apenas em valores de pH muito baixos ( $\text{pH} < 2,0$ ). Nas condições de pH encontradas no vinho, normalmente situadas entre 2,8 e 3,6, as antocianinas encontram-se majoritariamente na forma hemicetal hidratada incolor, coexistindo em equilíbrio com menores proporções de cátions flavílio e bases quinoidais.

Além disso, os cátions flavílio podem reagir com o íon bissulfito ( $\text{HSO}_3^-$ ), formando adutos de bissulfito incolores, em uma reação conhecida como branqueamento por sulfitos. Tanto a reação de hidratação quanto a formação de adutos de bissulfito são reversíveis, possibilitando a liberação do cátion flavílio vermelho a partir das formas incolores, dependendo das condições do meio.

Em particular, o equilíbrio de hidratação pode ser deslocado em direção às formas coloridas de flavílio na presença de copigmentos, como flavonóis e ácidos hidroxicinâmicos, por meio de interações intermoleculares não covalentes. Esse fenômeno, conhecido como copigmentação, é responsável por aproximadamente 30–50% da intensidade da cor em vinhos tintos jovens, enquanto nos vinhos rosés seu efeito tende a ser mais limitado, em função da menor concentração total de antocianinas e copigmentos.



**Figura 4:** Equilíbrio das antocianinas em função de diferentes valores de pH (Fonte: FREITAS, 2019).

Outras reações de antocianinas descritas em vinhos tintos incluem a formação de adutos de flavanol-antocianina vermelha e adutos de antocianina-flavanol incolores condensação com acetaldeído produzindo adutos roxos ligados a metilmetina (ligados a etil) e reações com ácidos hidroxicinâmicos ou vinilfenóis e com compostos carbonílicos como acetaldeído e ácido pirúvico, produzindo diferentes grupos de piranoantocianinas laranja (LEBORGNE *et al.*, 2022).

Em resumo, a cor das antocianinas é altamente dependente do pH do meio. Em soluções fortemente ácidas ( $\text{pH} < 2,0$ ), as antocianinas existem predominantemente na forma de cátions flavílio, responsáveis por cores vermelhas e roxas intensas (BROUILLARD; DANGLES, 1994; MAZZA; MINIATI, 2018). Na faixa de pH entre 2,0 e 3,0, o cátion flavílio ainda é a espécie majoritária, embora já se estabeleça um equilíbrio com formas hidratadas, mantendo tonalidades vermelhas características (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006).

À medida que o pH aumenta para valores entre 3,0 e 4,5, ocorre uma redução progressiva da intensidade da cor vermelha, associada à formação de hemicetais incolores e bases quinoidais, que podem conferir tonalidades violáceas ou azuladas (BROUILLARD, 1982; CASTAÑEDA-OVANDO *et al.*, 2009). Em pH próximo ao neutro (6,0–7,0), predominam as bases quinoidais e as chalconas, resultando em cores azuladas, amareladas ou praticamente incolores, enquanto em meio ligeiramente alcalino ( $\text{pH} > 7,0$ ) essas formas tornam-se instáveis, favorecendo reações de degradação e perda definitiva de cor (MAZZA; MINIATI, 2018; CASTAÑEDA-OVANDO *et al.*, 2009).

No contexto dos vinhos rosés, o pH do mosto e do vinho é geralmente ácido (em torno de 3 a 4), o que favorece a formação das formas flavílio coloridas. Entretanto, a estabilidade dessa cor pode ser afetada por vários fatores, incluindo a presença de sulfitos, oxigênio e outros compostos fenólicos (JACKSON, 2008).

A copigmentação é um fenômeno importante que afeta a intensidade e a estabilidade da cor dos vinhos. Ocorre quando antocianinas formam complexos com outras moléculas, como flavonoides e taninos. Esses complexos podem aumentar a intensidade da cor através do efeito de hipercromia (intensificação da cor) e podem estabilizar a cor contra mudanças de pH e oxidação. A copigmentação é especialmente relevante em vinhos rosés, onde a cor delicada é um atributo desejável e deve ser mantida ao longo do tempo. Segundo Boulton (2013), a copigmentação pode resultar em um aumento significativo na intensidade da cor dos vinhos devido à formação de complexos supramoleculares estáveis.

A estabilidade das antocianinas em vinhos rosés está diretamente relacionada às condições de armazenamento. A exposição ao oxigênio é um dos fatores mais críticos, pois pode promover reações de oxidação que levam à degradação dessas moléculas, resultando em descoloração, perda de intensidade cromática e formação de pigmentos marrons (BOULTON, 2001; FERNANDES *et al.*, 2017). Assim, a manutenção de níveis adequados de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) é essencial, pois esse antioxidante atua na proteção contra a oxidação e na preservação da cor (WATERHOUSE *et al.*, 2016).

Além disso, o controle da entrada de oxigênio por meio de recipientes adequados, como garrafas com tampas herméticas e barreiras eficazes à permeabilidade, contribui significativamente para a estabilidade cromática. O uso de garrafas de vidro colorido, especialmente âmbar ou verde, também é recomendado para minimizar a exposição à luz visível e ultravioleta, a qual pode acelerar a degradação das antocianinas por meio de reações fotoquímicas (SACCHI *et al.*, 2005; GAMBUTI *et al.*, 2017). Dessa forma, o armazenamento de vinhos rosés sob condições controladas de oxigênio, temperatura e luminosidade é fundamental para a preservação da tonalidade e da vivacidade visual desses produtos.

Com o tempo, as antocianinas podem participar de reações de polimerização com outros compostos fenólicos, formando pigmentos poliméricos mais complexos e estáveis. Esses pigmentos são menos suscetíveis à degradação e contribuem para a manutenção da cor dos vinhos durante o envelhecimento. Em vinhos rosés, a cor pode evoluir de tons vermelho-azulados para nuances mais alaranjadas devido à oxidação de antocianinas, enquanto a formação de pigmentos poliméricos estabiliza a coloração a longo prazo (BARIS *et al.*, 2024).

O SO<sub>2</sub> é amplamente utilizado na produção de vinhos, desempenhando papéis fundamentais como antioxidante e agente antimicrobiano, especialmente durante a vinificação e o armazenamento (WATERHOUSE *et al.*, 2016). No entanto, apesar de sua eficácia na proteção contra a oxidação e na inibição de microrganismos indesejáveis, o SO<sub>2</sub> pode interagir diretamente com as antocianinas,

promovendo sua descoloração. Esse efeito ocorre por meio da formação de adutos sulfitados, que são compostos estáveis, porém incolores, resultando na diminuição da intensidade da cor nos vinhos tintos e rosés (BOULTON, 2001; ALABBOSH *et al.*, 2025). Essa reação é especialmente crítica em vinhos com menor concentração de pigmentos ou com tonalidades mais sensíveis, como os rosés, exigindo um cuidadoso equilíbrio entre os níveis de SO<sub>2</sub> adicionados e a preservação da cor desejada.

Os processos de vinificação, como a escolha das técnicas de maceração, fermentação e envelhecimento, devem ser cuidadosamente controlados para otimizar a extração e a estabilidade das antocianinas. A adição de enzimas pectolíticas pode melhorar a extração de antocianinas durante a maceração, enquanto as fermentações a baixas temperaturas ajudam a preservar a cor. A escolha de leveduras que minimizem a degradação das antocianinas é outra consideração importante. Como destacado por Jackson (2008), as práticas de vinificação que protegem contra a oxidação e promovem a formação de complexos estáveis são cruciais para a produção de vinhos rosés de alta qualidade.

#### **4.3 Estabilidade da cor e influência das práticas enológicas**

A estabilidade da cor dos vinhos rosés está diretamente associada às condições de vinificação e armazenamento. A exposição ao oxigênio constitui um dos principais fatores de degradação das antocianinas, favorecendo reações oxidativas que resultam em perda de intensidade cromática e formação de pigmentos acastanhados (SACCHI *et al.*, 2005; FERNANDES *et al.*, 2017; GAMBUTI *et al.*, 2017). Nesse contexto, o controle dos níveis de dióxido de enxofre torna-se essencial, uma vez que esse composto atua como antioxidante e agente antimicrobiano, embora sua interação com antocianinas exija equilíbrio cuidadoso para evitar a descoloração excessiva (ALABBOSH *et al.*, 2025).

Com o envelhecimento, as antocianinas podem participar de reações de polimerização, originando pigmentos mais estáveis e menos suscetíveis à

degradação. Em vinhos rosés, esse processo pode resultar na transição de tonalidades rosadas mais vivas para nuances alaranjadas, associadas tanto à oxidação quanto à formação de pigmentos derivados (BARIS *et al.*, 2024).

#### **4.4 Transformações fenólicas e mudanças perceptivas de cor**

Embora os mecanismos químicos envolvidos na formação e estabilização da cor estejam amplamente descritos, a evolução dos compostos fenólicos ao longo das diferentes etapas da elaboração do vinho deve ser compreendida como um processo dinâmico, especialmente no caso dos espumantes rosés. Durante a tomada de espuma, a matriz vínica é submetida a alterações físico-químicas específicas, como o aumento da pressão interna de CO<sub>2</sub>, mudanças no equilíbrio coloidal e a liberação progressiva de compostos oriundos da autólise das leveduras (MORENO-ARRIBAS; POLO, 2009; POZO-BAYÓN *et al.*, 2009).

Essas transformações favorecem reações de copigmentação, condensação e interações entre antocianinas, flavonoides, taninos e macromoléculas, como polissacarídeos e manoproteínas, resultando em variações na intensidade, na tonalidade e na luminosidade da cor. Tais alterações têm sido associadas ao aumento da turbidez coloidal e à dispersão da luz, fatores que impactam diretamente a aparência visual do espumante (GUADALUPE; AYESTARÁN, 2007; VERNHET *et al.*, 2011; BARIS *et al.*, 2024).

No contexto dos espumantes rosés, essas modificações assumem relevância crítica, uma vez que pequenas variações cromáticas são facilmente detectáveis pelo consumidor. A cor, nesse cenário, configura-se como um atributo determinante de aceitação sensorial e expectativa de qualidade, reforçando a necessidade de compreender as transformações fenólicas não apenas sob o ponto de vista químico, mas também em relação à percepção visual do produto final (FRANCIS; VALENTIN, 2010; SÁENZ-NAVAJAS *et al.*, 2013; HENSEL *et al.*, 2023).

#### **4.5 Da química das antocianinas à interpretação instrumental da cor pelo sistema CIELAB**

As transformações químicas das antocianinas e dos demais compostos fenólicos refletem-se diretamente nos parâmetros instrumentais de cor, exigindo a utilização de sistemas analíticos capazes de traduzir essas alterações em dados objetivos e comparáveis. O sistema CIELAB, proposto pela Commission Internationale de l'Éclairage (CIE, 1976), tem sido amplamente utilizado na análise da cor dos vinhos por se basear em um espaço cromático aproximadamente uniforme do ponto de vista perceptual.

As coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  permitem interpretar de forma integrada os efeitos das reações fenólicas sobre a cor. A coordenada  $L^*$  está associada à luminosidade e é sensível a fenômenos como aumento da turbidez e formação de agregados coloidais; a coordenada  $a^*$  relaciona-se diretamente à concentração e ao estado químico das antocianinas; enquanto a coordenada  $b^*$  é influenciada por processos oxidativos e pela formação de pigmentos derivados, como as piranoantocianinas (GLORIES, 1984; MARTÍNEZ *et al.*, 2001; LEBORGNE *et al.*, 2022).

Parâmetros derivados do sistema CIELAB, como a diferença total de cor ( $\Delta E^*$ ), apresentam melhor correlação com a percepção visual humana quando comparados a abordagens espectrofotométricas tradicionais, especialmente em matrizes de baixa intensidade cromática, como os espumantes rosés (HERNÁNDEZ *et al.*, 2020; PELONNIER-MAGIMEL *et al.*, 2023). Dessa forma, o uso do sistema CIELAB mostra-se particularmente adequado para o monitoramento de alterações cromáticas sutis, porém sensorialmente relevantes, ao longo da elaboração desses vinhos.

#### **4.6 Lacunas do conhecimento e implicações para a pesquisa**

Apesar dos avanços na compreensão dos mecanismos químicos associados à cor dos vinhos, observa-se uma escassez de estudos que avaliem de forma contínua a trajetória cromática de espumantes rosés ao longo da tomada de

espuma. A maioria das investigações concentra-se em análises pontuais ou em comparações entre estágios finais do processo, limitando a compreensão das dinâmicas temporais da cor durante a segunda fermentação.

Além disso, são limitados os estudos que estabelecem correlações robustas entre os parâmetros instrumentais do sistema CIELAB e a percepção sensorial da cor em espumantes rosés, dificultando a tradução dos dados analíticos em critérios práticos de aceitação visual pelo consumidor. Soma-se a isso a ausência de protocolos padronizados para o uso de colorímetros em ambiente industrial, especialmente para o monitoramento da cor em etapas intermediárias da elaboração, o que compromete a comparabilidade entre estudos e restringe a adoção dessas ferramentas como instrumentos rotineiros de controle de qualidade (OIV, 2015; LEBORGNE *et al.*, 2022).

Diante dessas lacunas, torna-se evidente a necessidade de abordagens integradas que associem a compreensão das transformações fenólicas, a análise instrumental da cor e a percepção sensorial ao longo do processo de elaboração de espumantes rosés. Tais abordagens justificam o delineamento do presente estudo e contribuem para o avanço do conhecimento científico, bem como para o desenvolvimento de metodologias aplicáveis ao setor vitivinícola.

## 4.7 MÉTODOS INSTRUMENTAIS PARA ANÁLISE DE COR

### 4.7.1 MÉTODOS CONVENCIONAIS - espectrofotométricos

A cor do vinho continua sendo um dos parâmetros mais relevantes e complexos de se avaliar na enologia. Os métodos tradicionais ainda ocupam papel de destaque: Sudraud (1958) propôs um índice baseado nas absorvâncias em 420 e 520 nm, relacionando a contribuição das tonalidades amarelas e vermelhas à intensidade cromática. Mais tarde, Glories (1984) ampliou essa análise ao incluir a absorvância em 620 nm, ressaltando a importância do componente azul associado às formas quinonoides das antocianinas, sobretudo nos vinhos jovens. Esses índices cromáticos, também discutidos por Roubert (1977), tornaram-se amplamente

aplicados pela simplicidade de cálculo e interpretação, sendo até hoje recomendados em normas internacionais, como as da OIV (2009).

Com o avanço da instrumentação, novas abordagens passaram a complementar esses métodos clássicos. Estudos mais recentes destacaram a necessidade de caracterizações mais detalhadas da cor, considerando não apenas a intensidade global, mas também sua percepção visual e interpretação quantitativa. A literatura contemporânea tem mostrado que o uso do espaço de cor CIE L\*a\*b\* se consolidou como uma das principais ferramentas para caracterizar a cor de vinhos, pois apresenta correlação mais próxima com a percepção visual humana e permite o cálculo de diferenças de cor perceptíveis ( $\Delta E$ ) por meio da fórmula CIEDE2000, superando métodos tradicionais como o de Glories em diversas situações de espectro cromático (HENSEL *et al.*, 2023).

A partir da década de 2010, pesquisas passaram a integrar espectrofotometria UV-Vis com análise de composição fenólica e parâmetros cromáticos CIELAB para discriminar vinhos quanto à idade, origem ou estilo, bem como para monitorar a evolução da cor durante processos enológicos (ex.: fermentação, envelhecimento em garrafa e armazenamento). Estudos demonstraram que as coordenadas CIELAB correlacionam com variáveis fenólicas e sensoriais, possibilitando uma análise mais abrangente e sensorialmente relevante da cor dos vinhos (FAN *et al.*, 2023).

Mais recentemente, abordagens analíticas têm buscado monitorar em tempo real as dinâmicas cromáticas e fenólicas durante a vinificação por meio de espectroscopia UV-Vis acoplada a ferramentas estatísticas e quimiométricas, o que reforça a tendência de integrar dados espectrais completos com variáveis químicas e perceptivas para compreender melhor a evolução da cor dos vinhos. Esses métodos fornecem informações detalhadas sobre a interação entre pigmentos e componentes fenólicos que influenciam tanto a cor quanto outros atributos sensoriais (ex.: intensidade, hue, saturação), ampliando o escopo de aplicações em pesquisa e controle de qualidade enológico (LIU *et al.*, 2024).

Assim, observa-se uma evolução metodológica que vai dos índices cromáticos clássicos — simples e robustos para análises de rotina — até estratégias instrumentais integradas, capazes de oferecer interpretações quantitativas e perceptuais mais refinadas sobre a cor dos vinhos, alinhadas às exigências atuais da pesquisa enológica e do controle tecnológico de qualidade.

#### 4.7.2 MÉTODO DE GLORIES

A intensidade da cor dos vinhos é definida por Glories (1984) como a soma das densidades ópticas, medidos a um comprimento de onda de 420 nm, 520 nm e 620 nm, correspondentes às cores vermelho, amarelo e azul, tal como indicado na equação 1 abaixo:

$$IC = A_{420} + A_{520} + A_{620} \quad (1)$$

A tonalidade é o quociente da absorbância em 420 nm pela absorbância em 520 nm e indica a importância relativa do amarelo sobre o vermelho (ZAMORA, 2003).

A Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV) estabeleceu, em 1990, um método de referência para a determinação da cor do vinho, que se baseia na determinação da absorbância do vinho a quatro comprimentos de onda: 445 nm, 495 nm, 550 nm e 625 nm (OIV, 2006).

Assim, a informação fornecida é limitada quando comparada com a cor que o olho pode alcançar. Para além disto, a percepção das cores difere de indivíduo para indivíduo, pelo que surge a necessidade de avaliar e expressar corretamente as cores através de uma linguagem uniforme e padronizada (FERREIRA, 2021).

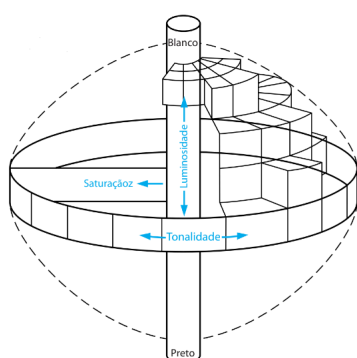
#### 4.7.3 MÉTODO DAS COORDENADAS CROMÁTICAS: CIE L\*A\*B\*

Em 1931, a CIE – *Commission Internationale d’Eclairage* – estabeleceu normas, aceitas hoje internacionalmente, destinadas à definição de cor. Assim é

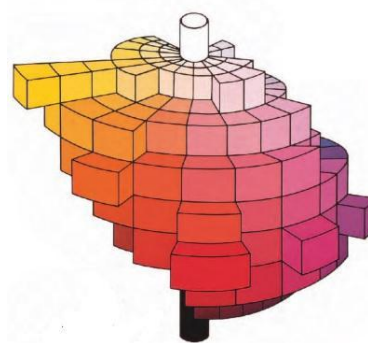
estabelecido um modelo matemático com o objetivo de descrever numericamente todas as cores visíveis ao olho humano, o espaço de cores CIE XYZ. Este sistema tornou-se a base de modelos colorimétricos cada vez mais detalhados para a medição específica da cor. As definições de cor obtidas pelo CIE são inequívocas, absolutas e independentes de qualquer dispositivo de captura ou processamento de cores (WYSZECKI; STILES, 2000).

Em 1976 foi publicado o sistema CIELab, tornando-se o sistema de referência colorimétrica universalmente aceito para quantificar e comunicar a cor. O conceito de CIE parte do princípio que o ser humano possui três tipos de cores receptoras – vermelho, verde e azul e que todas as cores são combinações destas (FERREIRA E SPRICIGO, 2017).

Os três atributos que podem ser dispostos em conjunto para criar um sólido tridimensional da cor são: tonalidade, luminosidade e saturação (Figura 5). As tonalidades formam o aro externo do sólido, com a luminosidade como eixo central e a saturação avançando horizontalmente nos raios. Se todas as cores existentes fossem distribuídas na Figura 5, formariam o sólido indicado na Figura 6. A forma do sólido seria de cores muito complicadas em função dos intervalos de saturação serem diferentes para cada tonalidade e luminosidade, porém o sólido de cores nos ajuda a melhor visualizar as relações entre tonalidade, luminosidade e saturação (FERREIRA; SPRICIGO, 2017).



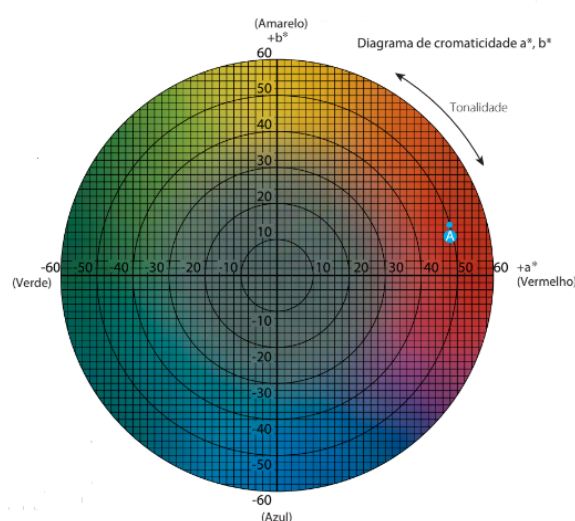
**Figura 5:** Sólidos em cores



**Figura 6:** Sólidos em três dimensões

No espaço de cor CIELAB ( $Lab^*$ ), conforme a Figura 7, a coordenada  $L^*$  representa a luminosidade, variando de 0 (preto) a 100 (branco), enquanto as coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  definem a cromaticidade da cor. A coordenada  $a^*$  indica a posição entre o verde (valores negativos) e o vermelho (valores positivos), enquanto a  $b^*$  varia entre o azul (valores negativos) e o amarelo (valores positivos) (COLORIMETRY, 2004).

No diagrama de cromaticidade  $a^*b^*$ , o ponto central representa uma cor acromática (sem saturação), e quanto maior a distância do ponto em relação ao centro, maior é a saturação ou intensidade da cor percebida (GONZÁLEZ-MIRET *et al.*, 2002; FAN *et al.*, 2023). Essa representação permite avaliar a evolução das características cromáticas dos vinhos, sendo amplamente utilizada em análises objetivas de cor, especialmente para produtos como vinhos rosés, cuja tonalidade influencia diretamente a percepção de qualidade e frescor pelo consumidor (PERES *et al.*, 2020).

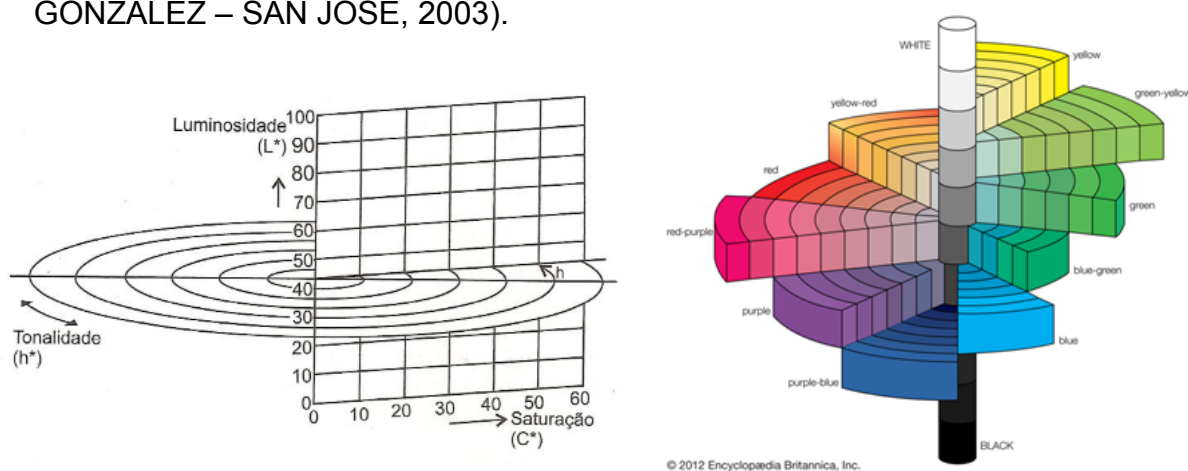


**Figura 7:** Diagrama de cromaticidade  $a^*b^*$

Contudo, alguns estudos mostram que essas variáveis não são suficientes para a adequada caracterização da cor do vinho, tal qual percebida por

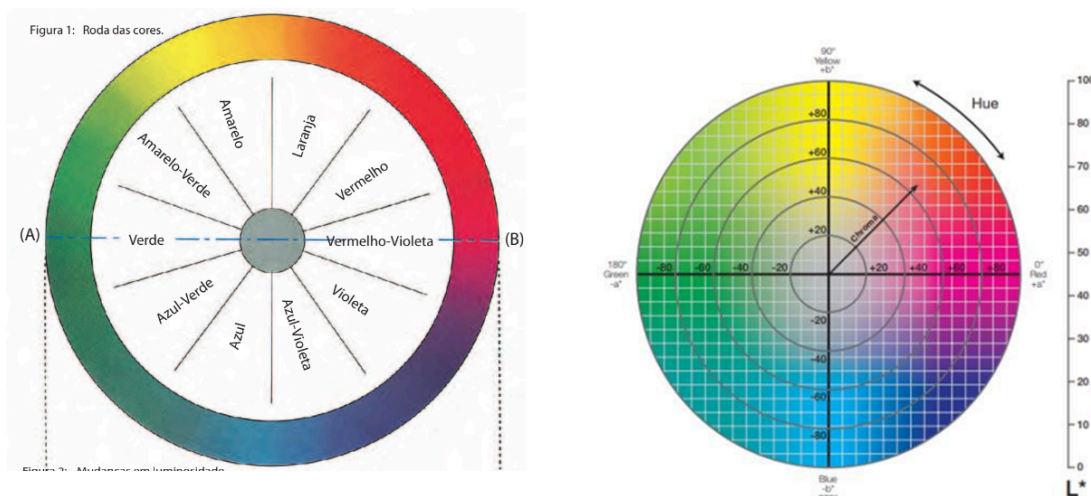
degustadores. Essas dificuldades podem ser superadas pela introdução de alguns parâmetros adicionais: croma ( $C^*$ ) e ângulo ( $h^\circ$ ) (MELÉNDEZ *et al.*, 2001).

O ângulo de tonalidade Hue ( $h^\circ$ ) é o atributo qualitativo da cor, enquanto que a saturação ( $C^*$ ) é o atributo quantitativo (FERREIRA, 2021). Os parâmetros  $L^*$ ,  $C^*$  e  $H^*$  guardam correlação com a percepção de cor pelo observador humano, por isso são denominados parâmetros psicofísicos (Figura 8) (PÉRES-MAGARIÑO; GONZÁLEZ – SAN JOSÉ, 2003).



**Figura 8:** Representação tridimensional de cromaticidade do sistema CIE  $L^*a^*b^*$

O ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ) é definido como iniciado no eixo  $+a^*$  e expresso em graus:  $0^\circ$  corresponde ao  $+a^*$  (vermelho),  $90^\circ$  corresponde ao  $+b^*$  (amarelo),  $180^\circ$  corresponde ao  $-a^*$  (verde) e  $270^\circ$  corresponde ao  $-b^*$  (azul) (CARREÑO *et al.*, 1995). O sólido de cor é dividido em quadrantes, e a interpretação das diferenças de tonalidade, no sólido como um todo, pode ser feita da seguinte forma: vermelho ( $330^\circ$  a  $25^\circ$ ), laranja ( $25^\circ$  a  $70^\circ$ ), amarelo ( $70^\circ$  a  $100^\circ$ ), verde ( $100^\circ$  a  $200^\circ$ ), azul ( $200^\circ$  a  $295^\circ$ ) e violeta ( $295^\circ$  a  $330^\circ$ ) (Figura 9).



**Figura 9:** Representação bidimensional de cromaticidade do CIE L\*a\*b\*

#### 4.8 APLICAÇÃO DA COLORIMETRIA NA ANÁLISE DE BEBIDAS

A análise da cor é uma etapa fundamental no controle de qualidade e na caracterização de bebidas, especialmente vinhos, uma vez que a coloração exerce forte influência na percepção sensorial do consumidor. Nesse contexto, o uso de colorímetros baseados no sistema CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) tem se mostrado uma ferramenta eficaz, objetiva e reproduzível na mensuração da cor, sendo amplamente adotado em estudos científicos e na indústria (FERREIRA, 2021).

Diversos estudos relatam a utilização de colorímetros ou espectrofotômetros UV-Vis associados à análise CIELAB na caracterização de vinhos e outras bebidas fermentadas. Um exemplo clássico é o trabalho de Pérez-Magariño e González-San José (2002), que desenvolveram modelos matemáticos capazes de estimar os parâmetros CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) a partir de medidas de absorvância em 420, 520 e 620 nm em 126 vinhos rosés comerciais. Essa abordagem demonstrou ser prática e acessível mesmo para adegas com estrutura laboratorial limitada.

Em outro estudo, Wimalasiri *et al.* (2023) utilizaram simultaneamente espectrofotometria UV-Vis e colorimetria CIELAB para avaliar o impacto da inclusão

de engaços (“stems” ou “whole bunch”) sobre a cor de vinhos Pinot Noir. Os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  permitiram discriminar com clareza as diferenças cromáticas associadas às técnicas de vinificação.

A aplicabilidade da colorimetria também foi destacada por Ribéreau-Gayon *et al.* (2006), que demonstraram como as coordenadas cromáticas podem ser utilizadas para monitorar alterações de cor ao longo do tempo, sendo úteis para estudos de estabilidade oxidativa e envelhecimento. Em vinhos rosés, por exemplo, os valores de  $a^*$  e  $b^*$  podem indicar alterações no espectro de tonalidade, associadas à degradação ou transformação das antocianinas e compostos fenólicos durante o armazenamento (RINALDI *et al.*, 2020).

Além de vinhos tradicionais, algumas pesquisas também aplicaram o sistema CIELAB em bebidas alternativas, como fermentado de frutas. Sagdic *et al.* (2006) estudaram vinhos de mirtilo (*bilberry*) e correlacionaram os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  com a composição fenólica e a capacidade antioxidante, mostrando que as mudanças de cor estão diretamente ligadas à degradação dos pigmentos naturais.

Complementarmente, a Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV) reconheceu oficialmente o uso do sistema CIELAB como método padrão para a análise de cor em vinhos, conforme documento oficial (OIV 1:2016). Desde 2024, a aplicação prática deste método tem sido incorporada por laboratórios acreditados, como na região de Franciacorta (Itália), para controle preciso da tonalidade de espumantes rosés (CAIM GROUP, 2024).

Ainda, estudo apresentado na IVES Open Science (2024) com vinhos da variedade Lugana mostrou que diferentes estratégias de suplementação nitrogenada durante a fermentação influenciaram significativamente os parâmetros cromáticos  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , avaliados por colorímetro (Nomasense P1000). As diferenças de cor permaneceram detectáveis mesmo após envelhecimento simulado, com  $\Delta E$  superiores a 2, sendo, portanto, perceptíveis ao olho humano (IVES, 2024).

Esses estudos ilustram o avanço e consolidação do uso da colorimetria instrumental, especialmente no espaço CIELAB, como uma ferramenta alternativa para avaliar e monitorar a qualidade visual e estabilidade da cor em vinhos e outras bebidas fermentadas.

## **5. HIPÓTESES/PROPOSIÇÕES/SUGESTÕES DE POSSÍVEIS SOLUÇÕES**

A cor dos espumantes pode sofrer alterações ao longo do armazenamento em decorrência de processos oxidativos, os quais afetam simultaneamente atributos sensoriais como aroma e aparência visual. A oxidação de compostos fenólicos está diretamente associada à degradação de aromas frescos e à modificação da cor dos vinhos, sendo um dos principais fatores responsáveis pelo escurecimento observado durante o envelhecimento, especialmente em vinhos rosés (BAI *et al.*, 2024).

Nos espumantes rosés, esses processos oxidativos podem resultar em perda de intensidade aromática e em alterações cromáticas perceptíveis, como o escurecimento ou o deslocamento da tonalidade para matizes mais alaranjados. A suscetibilidade à oxidação está relacionada ao potencial redox do vinho, o qual é influenciado pela presença de compostos antioxidantes naturais, como fenólicos e glutatona, bem como pelo teor de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) adicionado durante a vinificação (BAI *et al.*, 2024).

O dióxido de enxofre é amplamente utilizado como agente antioxidante e antimicrobiano, atuando na proteção dos compostos aromáticos e cromáticos frente à oxidação. Entretanto, sua eficácia diminui ao longo do tempo, especialmente quando o vinho é armazenado sob condições inadequadas, uma vez que o consumo progressivo do SO<sub>2</sub> reduz sua fração ativa no meio (WIMALASIRI *et al.*, 2023).

Além disso, o pH do vinho exerce influência direta sobre a estabilidade das antocianinas, principais pigmentos responsáveis pela cor dos vinhos rosés, afetando o equilíbrio entre suas diferentes formas estruturais e, conseqüentemente, a

expressão visual da cor. Valores de pH mais elevados tendem a reduzir a estabilidade desses pigmentos, favorecendo transformações químicas que contribuem para alterações cromáticas ao longo do armazenamento (LI, 2024).

Fatores ambientais, como temperatura de armazenamento e exposição à luz, também aceleram as reações oxidativas e as transformações dos compostos fenólicos, intensificando as mudanças de cor e a perda de qualidade sensorial. Dessa forma, a composição química inicial do espumante, associada às condições de armazenamento, desempenha papel determinante na trajetória de evolução da cor ao longo do tempo (WIMALASIRI; HARRISON, 2023).

A partir desta pesquisa, a intenção é fornecer aos enólogos protocolos de uso para ferramentas de análise de cor, padronizando produtos e métodos para avaliação cromática dos vinhos. Serão realizadas comparações detalhadas entre o método convencional e o método CIELab, destacando as vantagens e limitações de cada um. Estes protocolos visam oferecer uma base sólida para a escolha da metodologia mais adequada, auxiliando na padronização dos processos de análise de cor.

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1. Objetivo Geral**

Avaliar a evolução cromática de um espumante Brut Rosé elaborado pelo método Charmat e comparar a aplicabilidade dos métodos espectrofotométrico e colorimétrico (CIELAB) no monitoramento da cor durante a elaboração e o armazenamento.

## 6.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar a evolução da cor do espumante Brut Rosé ao longo das etapas de elaboração pelo método Charmat;
- Monitorar as alterações cromáticas durante o armazenamento pós-engarrafamento, ao longo de 16 meses;
- Determinar os parâmetros cromáticos por espectrofotometria UV-Vis ( $A_{420}$ ,  $A_{520}$ ,  $A_{620}$ , intensidade e tonalidade da cor) em cada etapa do processo e durante o armazenamento;
- Determinar os parâmetros colorimétricos pelo sistema CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  e  $h^\circ$ ) nas mesmas condições analíticas, permitindo a comparação direta entre os métodos;
- Avaliar a correlação entre os parâmetros espectrofotométricos e colorimétricos, identificando relações entre intensidade, matiz e percepção visual da cor do espumante;
- Comparar a sensibilidade e a aplicabilidade dos métodos espectrofotométrico e colorimétrico para o monitoramento da evolução cromática de espumantes rosés, considerando sua utilização em ambientes laboratoriais e industriais;
- Identificar as etapas do processo enológico mais críticas para a modificação da cor, relacionando as variações cromáticas com práticas tecnológicas adotadas durante a elaboração.

## 7. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 7.1 AVALIAÇÃO CROMÁTICA DE SOLUÇÕES MODELO: INFLUÊNCIA DE DIFERENTES PROPORÇÕES DE VINHO TINTO EM BASE BRANCA

Como exercício experimental complementar à etapa de avaliação cromática, foram preparadas soluções modelo a partir de uma base vínica branca composta por Pinot Noir, Chardonnay e Riesling Itália, simulando a matriz utilizada na elaboração de um espumante branco. A essas soluções foram adicionadas concentrações

crescentes (0,5%, 1,0%, 1,5% e 2,0%) de vinho tinto varietal Marselan (safra 2023), representando possíveis intervenções cromáticas, Figura 10. A amostra comercial de espumante Brut Rosé foi utilizada como referência comparativa.



**Figura 10:** Testes de porcentagem de tintos em base de vinho branco

O objetivo desta etapa foi compreender o comportamento da cor e avaliar a correlação entre os métodos analíticos empregados — espectrofotometria UV-Vis (420, 520 e 620 nm) e colorimetria CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $h^\circ$ ).

## 7.2 ELABORAÇÃO DO VINHO BASE E DO ESPUMANTE

As uvas utilizadas para a elaboração dos espumantes brut rosé foram Pinot Noir (40%), Chardonnay (20%) e Riesling Itáliaico (40%), provenientes de viticultores parceiros localizados na região da Serra Gaúcha (RS). A colheita foi realizada manualmente no mês de janeiro de 2023, em caixas com capacidade aproximada de 17 kg, visando preservar a integridade dos cachos até a chegada à adega da empresa parceira, situada no município de Garibaldi (RS).

### 7.2.1 PRENSAGEM E OBTENÇÃO DO MOSTO

As uvas foram submetidas à prensagem pneumática, empregando-se ciclos suaves e controlados, com o objetivo de extrair o mosto de forma eficiente e minimizar a extração de compostos fenólicos indesejáveis provenientes das cascas.

O mosto obtido foi conduzido a tanques de recepção, onde permaneceu temporariamente armazenado para as etapas subsequentes.

#### 7.2.2 ADIÇÃO DE ENZIMA PECTOLÍTICA E CLARIFICAÇÃO DO MOSTO

Após a prensagem, foi realizada a adição de enzima pectolítica (Bioteczyme Extra L), com a finalidade de facilitar a degradação das pectinas presentes no mosto, favorecendo sua clarificação. O mosto permaneceu em repouso por período determinado, permitindo a atuação da enzima e a sedimentação das partículas coloidais, antes do início da fermentação alcoólica.

#### 7.2.3 FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA E OBTENÇÃO DO VINHO BASE

O mosto clarificado foi trasfegado para tanques de aço inoxidável, onde ocorreu a fermentação alcoólica, conduzida com leveduras selecionadas. Durante essa etapa, os açúcares fermentescíveis foram convertidos em álcool e dióxido de carbono, além da formação de compostos secundários responsáveis pelo perfil aromático do vinho. A fermentação alcoólica teve duração média de 12 dias, sendo monitorados parâmetros como temperatura, densidade e atividade fermentativa.

Ao término da fermentação, o vinho base foi submetido à centrifugação, com o objetivo de remover sedimentos e partículas sólidas remanescentes, promovendo sua clarificação e preparo para as etapas subsequentes.

#### 7.2.4 ARMAZENAMENTO E ESTABILIZAÇÃO DO VINHO BASE

O vinho base clarificado foi armazenado em tanques de aço inoxidável, que permitem o controle preciso da temperatura e a minimização da exposição ao oxigênio. A estabilização envolveu procedimentos de estabilização proteica, com a adição de bentonita, agente clarificante de origem mineral, e estabilização

microbiológica, por meio da adição de sulfitos (SO<sub>2</sub>), visando garantir a estabilidade e a limpidez do vinho.

#### 7.2.5 ASSEMBLAGE

Entre os meses de abril e junho, foi realizado o *assemblage*, a partir da combinação de diferentes vinhos base, de acordo com o perfil sensorial desejado e as características do produto final. Essa etapa envolveu degustações técnicas e ajustes sucessivos até a definição do *blend* final. Após definido (Pinot Noir (40%), Chardonnay (20%) e Riesling Itálico (40%)), o *assemblage* foi filtrado à terra e armazenado novamente em tanques de inox até o início da tomada de espuma.

#### 7.2.6 SEGUNDA FERMENTAÇÃO – MÉTODO CHARMAT

A segunda fermentação foi conduzida segundo o método Charmat, em tanques herméticos sob pressão. Ao vinho base foram adicionados leveduras selecionadas, açúcar (+/- 21g/L) e vinho tinto (2,3%) (licor de tiragem). Durante essa etapa, as leveduras consumiram o açúcar adicionado, produzindo álcool e dióxido de carbono, que permaneceu dissolvido no vinho, conferindo a efervescência característica do espumante.

A tomada de espuma teve duração aproximada de 35 dias em torno dos 12°C. Após o término da fermentação, o espumante permaneceu em maturação no tanque, sob agitação constante e temperatura controlada ( $\approx 6$  °C), por um período médio de quatro meses.

Para a estabilização tartárica, o espumante foi mantido por aproximadamente 10 dias a -2 °C, promovendo a precipitação de cristais de bitartarato de potássio, posteriormente removidos por filtração.

#### 7.2.7 FILTRAÇÕES, LICOR DE EXPEDIÇÃO E ENGARRAFAMENTO

Após a estabilização, o espumante foi submetido à filtração tangencial, visando à remoção de partículas indesejadas e à garantia da limpidez do produto. Em seguida, foi realizada a adição do licor de expedição, composto por vinho tinto (0,5%), açúcar (13g/L) e SO<sub>2</sub> (50mg/L), etapa responsável pelo ajuste final da doçura e do perfil sensorial do espumante.

Antes do engarrafamento, o produto passou por filtração a placa, assegurando a estabilidade final. O espumante foi então engarrafado em garrafas de vidro verde, selado com rolhas de cortiça e submetido ao processo de rotulagem. Após o engarrafamento, os espumantes permaneceram em maturação em garrafa, período no qual ocorre a integração dos aromas e sabores e o desenvolvimento da complexidade sensorial.

Na Figura 11 são apresentadas as etapas de elaboração dos produtos. Os dois últimos itens representam as fases que o experimento aconteceu.

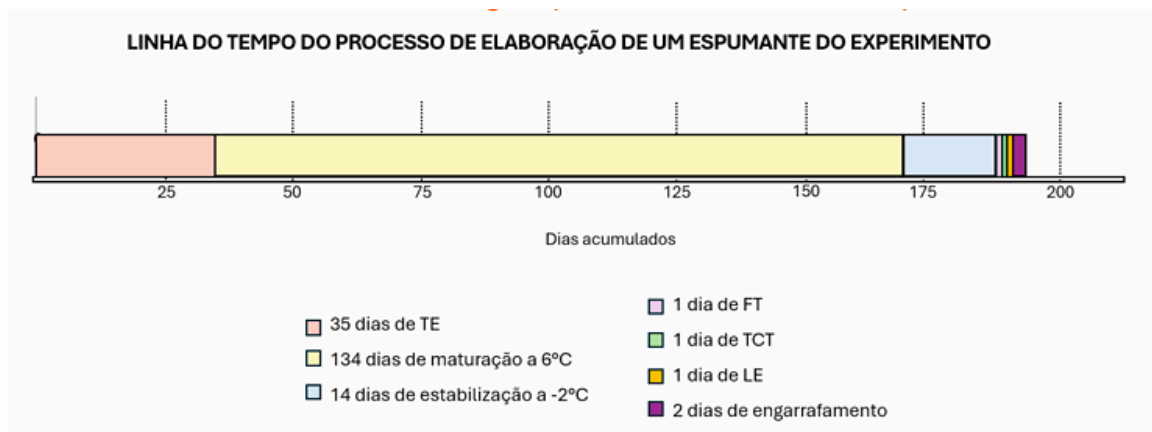


**Figura 11:** Etapas do processo de elaboração de um espumante Charmat

### 7.3 AMOSTRAS E CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO

As amostras do experimento foram coletadas de cinco tanques de pressão, a partir da segunda fermentação, no início da tomada de espuma, quando ocorre o inóculo do pé de cuba. Foram acompanhadas todas as etapas até o momento do envase, além de dezesseis meses após o produto já ter sido encaixotado.

As etapas de coleta do experimento foram organizadas de forma a acompanhar detalhadamente as fases críticas da elaboração do espumante rosé. Posteriormente, os dados obtidos foram comparados ao longo do tempo, buscando-se identificar o comportamento cromático e possíveis correlações com os parâmetros analíticos de cada etapa, fornecendo uma visão integrada dos fatores que influenciam a estabilidade e a qualidade visual do espumante rosé. A Figura 12, mostra de maneira visual a linha do tempo do processo de elaboração do espumante utilizado nesta pesquisa.



**Figura 12:** Linha do tempo do processo de elaboração do espumante utilizado no experimento (TE = tomada de espuma; FT = filtração tangencial; TCT = teste de correção com vinho tinto; LE = licor de expedição)

As etapas de amostragens (Figura 13), foram: a coleta (1) foi após a adição do vinho base branco + açúcar + vinho tinto; as coletas (2) foram durante a tomada de espuma, nos primeiros 14 dias diariamente, e posteriormente semanalmente; a coleta (3) foi no dia 35, quando o açúcar residual foi menor a 2g/L; as coletas (4)

foram a cada quinze dias durante 134 dias enquanto a temperatura do tanque estava regulada a 6°C; as coletas (5) foram nos dias 1,5,6,7 e 9 em que o tanque estava em temperatura negativa; as coletas (6) foram durante a filtração tangencial; as coletas (7) foram feitas após o espumante filtrado receber uma porcentagem de 0,5% de um *assemblage* tinto (Pinot Noir + Marselan) safra 2022/2023; as coletas (8) foram após a adição de açúcar + SO<sub>2</sub>; as coletas (9) durante o engarrafamento, quando o espumante estava pronto e as coletas (10) mensalmente após o produto já engarrafados e armazenados.

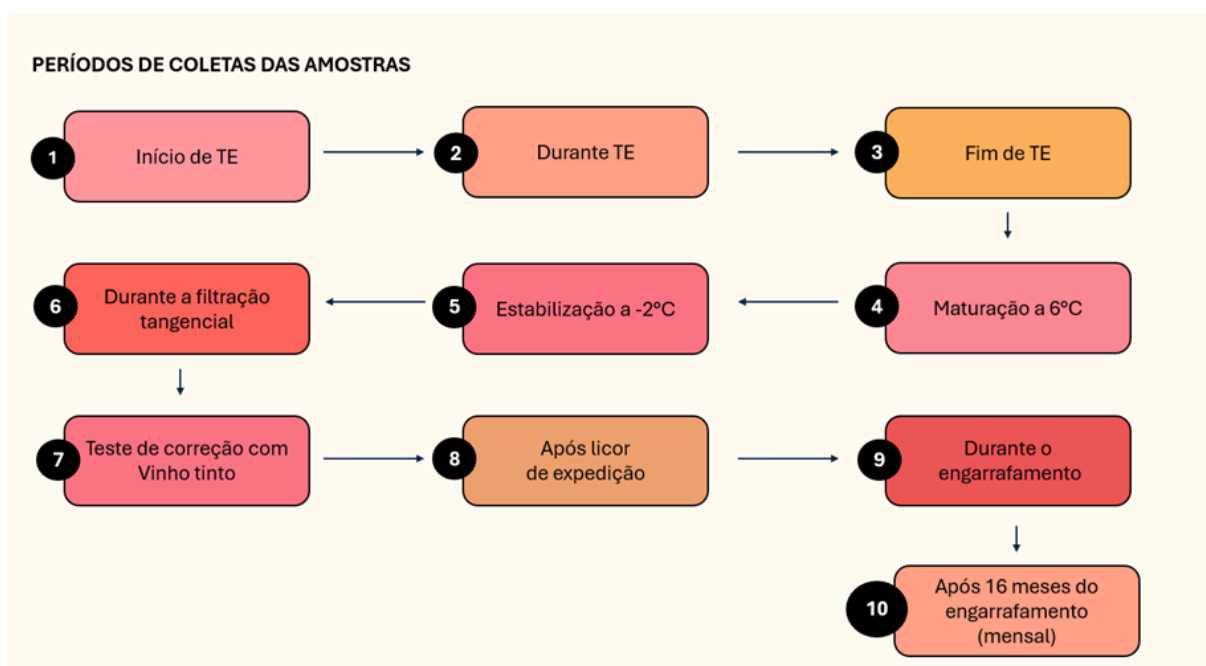


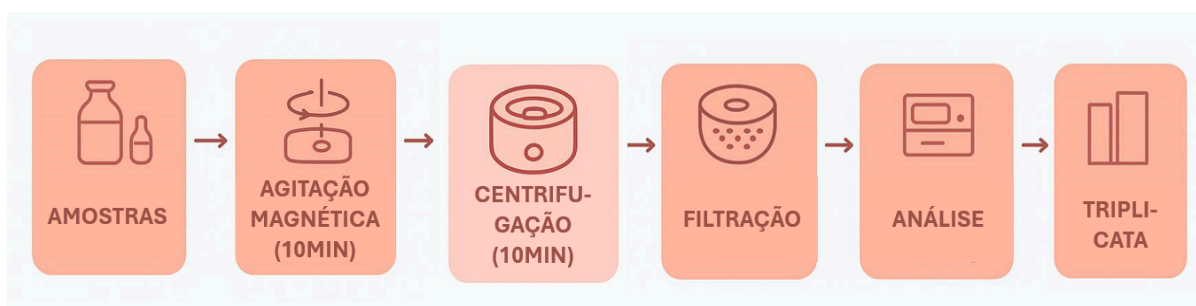
Figura 13: Períodos de coletas das amostras

Para simular as condições de gôndolas de mercado, as garrafas analisadas mensalmente foram armazenadas em um armário à temperatura do laboratório ( $22 \pm 2$  °C), e mantidas na posição vertical. Paralelamente, outra fração das amostras foi acondicionada em estufa com temperatura controlada a 30 °C, permitindo avaliar o

comportamento do produto sob uma condição acelerada de estocagem e maior estresse térmico, simulando o transporte ou armazenamento nestas condições.

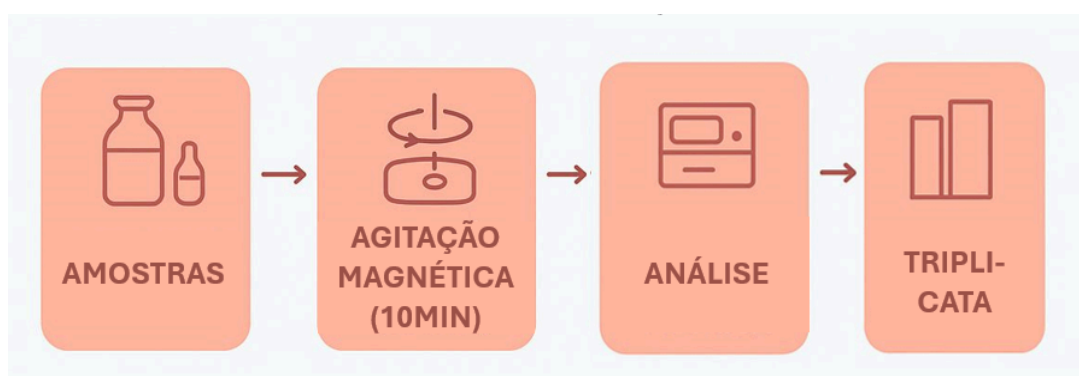
A temperatura de 30°C foi selecionada para o ensaio de estocagem acelerada, em alinhamento com a literatura científica que preconiza o uso de condições elevadas para simular o envelhecimento e a degradação de produtos alimentícios e bebidas em um período de tempo reduzido. A escolha dessa temperatura fundamenta-se na sua eficácia em acelerar as reações cinéticas inerentes aos processos de deterioração, sem, contudo, induzir alterações organolépticas ou físico-químicas atípicas que poderiam descaracterizar os mecanismos de degradação observados sob condições normais de estocagem. Tal abordagem permite a obtenção de dados representativos do comportamento do espumante em longo prazo, otimizando o tempo de experimentação e a validade preditiva dos resultados.

Todas as amostras durante o processo de elaboração foram coletadas diretamente no saca-amostra dos tanques em garrafas de 375mL - volume padrão para toda a pesquisa. Estas foram colocadas em copos de becker de 500mL e passaram por dez minutos de agitação com auxílio de agitadores magnéticos (Marca: Fisatom; 1800 rpm; velocidade 5) para remover o gás carbônico presente nelas, mais 10 minutos de centrifugação (Marca: Fanem; Modelo: Baby Centrifuge/ Mod. 206; 3200 rpm) para separar as partículas grossas que podiam atrapalhar na análise de cor filtradas por uma membrana de filtração de acetato de celulose lisa 0,45µm (Merck) antes da análise, a fim de evitar interferência de bolhas durante as medições espectrofotométricas. Posteriormente as amostras foram colocadas em cubetas de quartzo com duas faces polidas. A representação visual deste preparo de amostras está na Figura 14.



**Figura 14:** Metodologia aplicada para preparo das amostras

Para as amostras já filtradas e engarrafadas, apenas passaram pela etapa de agitação magnética, visto já não apresentarem mais partículas que pudessem interferir nos resultados, Figura 15.



**Figura 15:** Metodologia aplicadas nas amostras já filtradas

#### 7.4 DETERMINAÇÃO FÍSICO-QUÍMICAS

Os principais parâmetros enológicos (pH, acidez total, SO<sub>2</sub> livre e SO<sub>2</sub> total) dos vinhos espumantes rosés foram determinados de acordo com técnicas analíticas utilizadas pela empresa. O aparelho utilizado para todas estas análises é um titulador automático (Marca: Hach/ Modelo: AT 1222). Cada parâmetro foi analisado individualmente, selecionando a opção escolhida pelo analista. A adição de

reagentes, e os pontos de viragens das titulações foram dados no visor do equipamento, levando em consideração o pH das amostras e configurações estipuladas de cada parâmetro.

#### 7.5 DETERMINAÇÃO DA COR MÉTODO CONVENCIONAL - Espectrofotométrico

Na análise de cor de vinhos por espectrofotometria, diferentes comprimentos de onda foram utilizados para avaliar a absorção de luz pelo vinho em diferentes regiões do espectro eletromagnético, segundo metodologia recomendada pela Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV, 2006).

A caracterização cromática das amostras de espumante rosé foi realizada por meio de espectrofotometria na região do ultravioleta-visível (UV-Vis), considerando os comprimentos de onda de 420 nm, 520 nm e 620 nm, selecionados por sua relevância na avaliação dos principais pigmentos responsáveis pela cor dos vinhos rosés.

As análises foram conduzidas utilizando um espectrofotômetro UV-Vis Shimadzu UV-1900, equipado com cubetas de quartzo de caminho óptico de 1 cm, com duas faces polidas. As leituras de absorbância foram realizadas com resolução espectral de 1 nm, a uma temperatura controlada de  $20 \pm 1$  °C, com as amostras previamente homogeneizadas e termostatadas.

O comprimento de onda de 420 nm foi utilizado para a avaliação da fração associada a tonalidades amareladas e a produtos de oxidação de compostos fenólicos. A absorbância a 520 nm foi empregada como indicadora da contribuição das antocianinas monoméricas, principais responsáveis pelas tonalidades rosadas e avermelhadas do espumante rosé. Já a leitura em 620 nm permitiu o acompanhamento da fração relacionada a pigmentos poliméricos, associados à evolução e estabilidade da cor ao longo do tempo.

As análises foram realizadas em triplicata, e os resultados expressos em unidades de absorvância, sendo posteriormente utilizados para a interpretação da evolução cromática das amostras ao longo do processo avaliado.

## 7.6 COR COLORÍMETRO CIEL\*ab\*

Para realização do segundo método de análise de cor desta pesquisa foi utilizado como ferramenta um colorímetro, um analisador de cor que permite uma medição objetiva de todos os tipos de vinhos.

Os parâmetros colorimétricos  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  (componente verde-vermelho),  $b^*$  (componente azul-amarelo), croma ( $C^*$ ) e ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ) foram determinados por meio de um colorímetro portátil NomaSense Color P100 (Wine Quality Solutions, França). As análises foram realizadas conforme as recomendações da Comissão Internacional de Iluminação (CIE) para a avaliação instrumental da cor de alimentos líquidos.

Os parâmetros  $C^*$  e  $h^\circ$  foram obtidos diretamente a partir dos valores de  $a^*$  e  $b^*$  pelo próprio equipamento, sem aplicação de cálculos manuais.

Para cada amostra, foram realizadas três leituras consecutivas, sendo os resultados expressos como média aritmética.

## 7.7 DELTA E ( $\Delta E^*$ )

A variação global de cor entre as diferentes etapas do processo foi avaliada por meio do Delta E ( $\Delta E^*$ ), parâmetro amplamente utilizado para quantificar diferenças cromáticas no espaço de cor CIELAB. O  $\Delta E^*$  representa a distância euclidiana tridimensional entre dois pontos de cor definidos pelos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , permitindo uma avaliação integrada das alterações simultâneas de luminosidade, matiz e saturação.

Diferentemente da análise isolada dos parâmetros individuais, o uso do  $\Delta E^*$  possibilitou uma interpretação global da mudança cromática, sendo particularmente relevante em estudos de vinhos rosés, nos quais pequenas variações de cor podem resultar em diferenças perceptíveis ao consumidor e impactar a percepção de qualidade, frescor e estilo do produto.

No contexto da percepção visual humana, valores de  $\Delta E^*$  estão associados a diferentes níveis de detectabilidade da diferença de cor. De modo geral, valores inferiores a 1,0 são considerados imperceptíveis ao olho humano; valores entre 1,0 e 2,0 correspondem a diferenças perceptíveis apenas por observadores treinados; enquanto valores superiores a 3,0 indicam diferenças facilmente perceptíveis, inclusive por consumidores não treinados. Dessa forma, o  $\Delta E^*$  constituiu uma ferramenta relevante para estabelecer a significância prática das alterações cromáticas observadas ao longo do processo de elaboração e estabilização dos vinhos.

A aplicação do  $\Delta E^*$  por etapa permitiu identificar a trajetória cromática do produto, evidenciando os momentos de maior impacto sobre a cor, associados a operações tecnológicas específicas, como fermentação, tomada de espuma, estabilização ou engarrafamento. Assim, o  $\Delta E^*$  mostrou-se um indicador sensível e robusto para o monitoramento da estabilidade cromática e para a comparação entre diferentes condições de processo.

## 7.8 TABULAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados colorimétricos obtidos por ambos os métodos foram organizados em uma planilha do Excel, onde cada variável analisada foi devidamente identificada. Isso inclui as leituras realizadas em três comprimentos de onda distintos: 420 nm, 520 nm e 620 nm, além das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , croma -  $C^*$  e ângulo hue -  $H^\circ$ . Cada conjunto de dados foi acompanhado pela indicação da etapa específica do processo em que o tanque se encontrava.

Adicionalmente, foi criado um gráfico para uma visualização mais intuitiva dos resultados. Neste gráfico, cada ponto representou um conjunto de dados obtidos, com as coordenadas "A" e "B" sendo destacadas por linhas vermelhas e amarelas, respectivamente. Esta representação gráfica facilitou a identificação de tendências e padrões nos dados coletados, contribuindo para uma análise mais completa e compreensível.

A relação entre os parâmetros colorimétricos obtidos por colorimetria e as medidas espectrofotométricas foi avaliada por meio de análise de correlação linear de Pearson, após verificação da normalidade dos dados. Foram investigadas correlações entre os parâmetros  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $h^\circ$  e  $\Delta E^*$  com as absorvâncias espectrofotométricas, em especial  $A_{520}$ ,  $A_{420}$  e  $A_{620}$ .

Adicionalmente, quando observada associação significativa entre as variáveis, foi realizada análise de regressão linear simples, com o objetivo de descrever a intensidade e a direção das relações entre os parâmetros instrumentais e avaliar o potencial preditivo das medidas colorimétricas em relação às respostas espectrofotométricas.

As análises estatísticas foram conduzidas utilizando Microsoft Excel para cálculo dos coeficientes de correlação e modelos de regressão.

## 7.9 METODOLOGIAS DAS ANÁLISES

As metodologias aplicadas nas análises colorimétricas e físico-químicas estão inseridas como anexos ao fim deste trabalho.

## 7.10 CURVA DO COMPORTAMENTO

Para cada fase do experimento, foi gerada uma curva representativa que evidencie a evolução da cor do espumante ao longo do tempo ou do processo. A

intenção foi mapear, por meio de um gráfico de cores, a variabilidade ou estabilidade de cada ponto de dados conforme a análise avançava, oferecendo uma representação visual clara de cada etapa do processo. Esse procedimento não apenas facilitou a compreensão da dinâmica do experimento, mas também forneceu percepções para a padronização e otimização dos produtos.

O gráfico colorido proporcionou uma representação dinâmica e detalhada das mudanças ocorridas em cada fase do processo. Cores distintas ou gradientes foram empregados para indicar diferentes níveis de variabilidade ou estabilidade em cada ponto de dados. Isso permitiu uma rápida identificação de tendências, padrões ou anomalias que podiam surgir ao longo do tempo ou em diferentes condições experimentais.

A análise dessas curvas de evolução dos produtos possibilitou uma compreensão mais profunda de como cada variável influenciou o resultado final. Além disso, serviu como base para o desenvolvimento de estratégias de padronização dos produtos, visando garantir uma qualidade consistente e uniforme ao longo de todo o processo produtivo.

## **8. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nesta seção, são apresentados os dados obtidos por espectrofotometria UV-Vis e colorimetria instrumental, incluindo as coordenadas CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), croma ( $C^*$ ), ângulo de matiz ( $h^\circ$ ) e as absorvâncias a 420, 520 e 620 nm. As análises foram realizadas durante o processo de elaboração, preparo para engarrafamento e após o engarrafamento de espumantes rosés, visando caracterizar a evolução cromática ao longo do tempo e avaliar sua estabilidade em diferentes etapas do método Charmat.

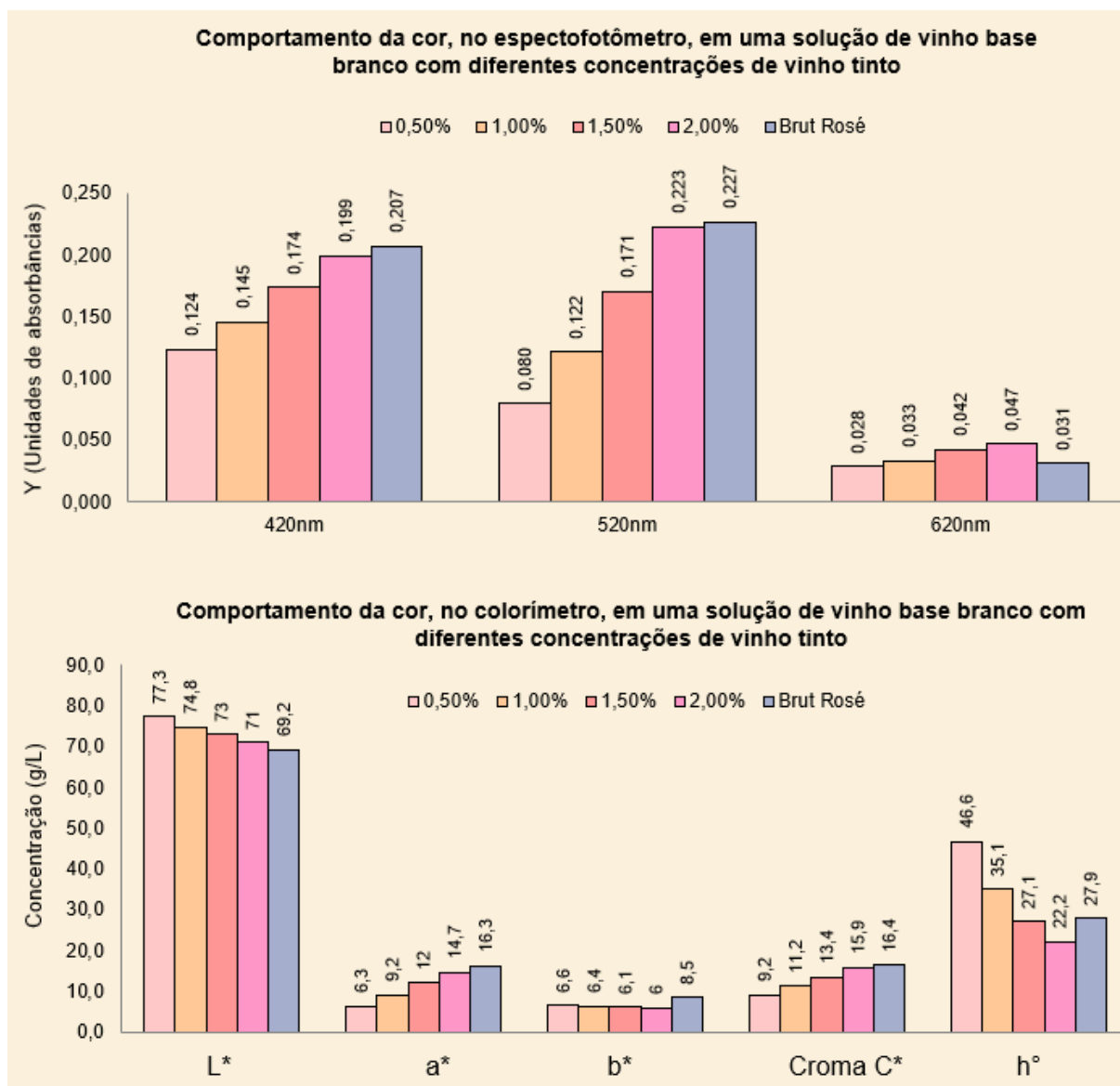
## 8.1 AVALIAÇÃO CROMÁTICA DE SOLUÇÕES MODELO: INFLUÊNCIA DE DIFERENTES PROPORÇÕES DE VINHO TINTO EM BASE BRANCA

Os resultados evidenciaram tendências coerentes entre as duas abordagens, como observado na Figura 16: à medida que a concentração de vinho tinto aumentava, observou-se uma redução da luminosidade ( $L^*$ ) e do ângulo de matiz ( $h^\circ$ ), além de um aumento progressivo da intensidade vermelha ( $a^*$  e  $A_{520}$ ). As medidas espectrofotométricas, em especial a absorbância a 520 nm, apresentaram forte correlação com os valores de  $a^*$ , reforçando a relação entre intensidade corante e saturação vermelha.

A experiência demonstrou que ambos os métodos se complementam, permitindo interpretações distintas e sinérgicas sobre a composição cromática. Enquanto a espectrofotometria destaca quantitativamente a densidade óptica em faixas específicas do espectro visível, a colorimetria traduz essas informações em coordenadas perceptíveis à visão humana.

Assim, essa etapa foi fundamental para validar a aplicação integrada dessas ferramentas no monitoramento e padronização da cor em espumantes rosés. Os resultados do teste estão ilustrados na Figura 16.

Adicionalmente, a concordância observada entre os parâmetros instrumentais reforça a robustez metodológica da abordagem empregada, evidenciando que a utilização combinada de técnicas espectrofotométricas e colorimétricas amplia a confiabilidade da avaliação cromática. Essa complementaridade analítica permite não apenas a detecção de variações sutis na intensidade e tonalidade da cor, mas também a interpretação integrada dos fenômenos físico-químicos subjacentes, como a extração e estabilização de pigmentos. Dessa forma, a aplicação simultânea dessas metodologias configura-se como estratégia eficaz para estudos experimentais e para o controle de qualidade na elaboração de espumantes rosés, contribuindo para maior precisão na caracterização visual e padronização do produto final.



**Figura 16:** Resultados dos testes de tinto em base branca

## CAPÍTULO I: PROCESSO DE ELABORAÇÃO

### 8.2 Tomada de espuma

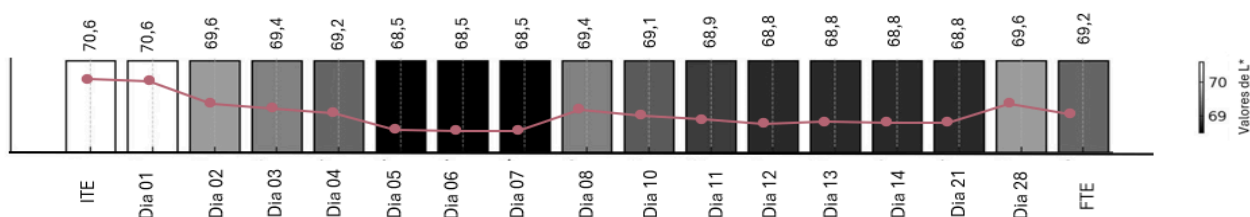
As tomadas de espuma tiveram duração média de cerca de 35 dias, contemplando as etapas do enchimento do tanque de pressão, inóculo do pé de

cuba e produção de dióxido de carbono. O processo foi considerado concluído quando a análise de açúcares indicou teor residual inferior a 2 g/L.

Durante a tomada de espuma do espumante rosé estudado, observou-se uma evolução significativa nos parâmetros cromáticos CIE-L\*a\*b\*, especialmente nos primeiros oito dias do processo. Essa dinâmica coincide com alterações nos espectros de absorvância obtidos por espectrofotometria nas faixas de 420 nm, 520 nm e 620 nm, revelando uma clara correlação entre os métodos físico-químico e instrumental de análise da cor.

### **8.2.1 Luminosidade**

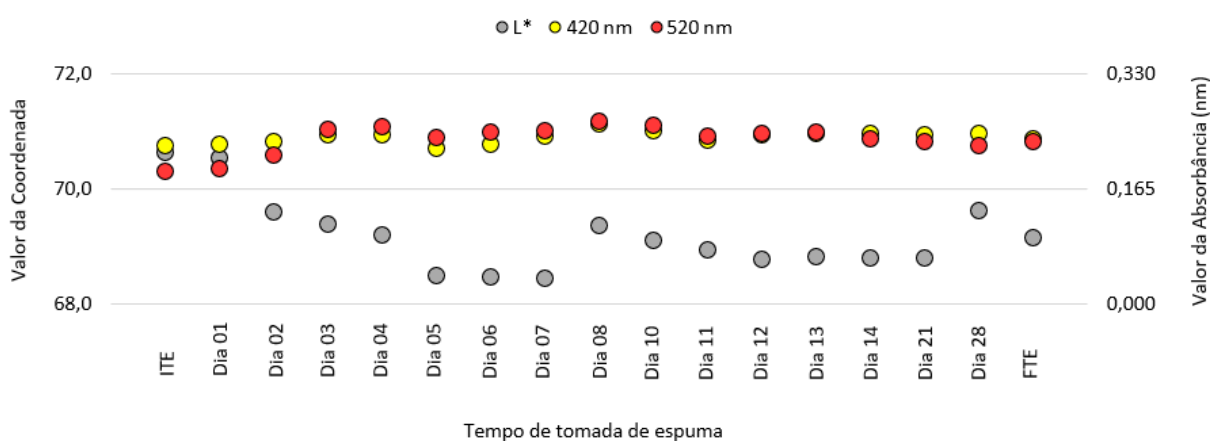
Observa-se na Figura 17, que a coordenada L\*, associada à luminosidade do produto, apresentou leve decréscimo entre a fase inicial (ITE = 70,6) e os estágios finais do processo (FTE = 69,2), indicando uma pequena redução na claridade da matriz. Essa alteração pode ser atribuída à presença crescente de turbidez coloidal provocada pela autólise parcial das leveduras e pelo aumento da concentração de CO<sub>2</sub> dissolvido, o qual interfere no índice de refração da matriz líquida e, conseqüentemente, na dispersão da luz (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006; LE MOIGNE *et al.*, 2008).



**Figura 17:** Evolução de L\* durante a tomada de espuma

Além disso, a redução da luminosidade pode indicar o início de interações pigmento-polifenol-proteína, responsáveis pela formação de agregados coloidais estáveis (CHEYNIER *et al.*, 2006). Essa tendência à diminuição da luminosidade coincide com o aumento progressivo das absorvâncias em 420 nm (pigmentos amarelados) e 520 nm (antocianinas e derivados), indicando um escurecimento do

produto em função da intensificação da coloração. Como sugerido por Giusti e Wrolstad (2001), e Pati *et al.*, (2019), o aumento da densidade óptica nas faixas de 420 nm e 520 nm é inversamente proporcional ao valor de L\*, uma vez que maiores concentrações de compostos fenólicos tendem a absorver mais luz e, portanto, escurecer o produto visualmente, conforme observado na Figura 18:



**Figura 18:** Relação luminosidade (L\*) x absorbâncias (A420 e A520 nm)

As medidas espectrofotométricas nas faixas de 420nm e 520nm apresentaram um aumento discreto durante os primeiros dias da segunda fermentação, especialmente até o décimo dia, com posterior estabilização. Esse comportamento é consistente com a extração e posterior transformação de compostos fenólicos, como antocianinas e flavonóis, que participam ativamente da constituição da cor dos vinhos rosés (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006; KENNEDY *et al.*, 2006). A elevação nas absorbâncias nessas faixas de comprimento de onda reflete o acúmulo de pigmentos solúveis e/ou a formação de novos complexos pigmentares durante a tomada de espuma (WATERHOUSE *et al.*, 2016).

### 8.2.2 Coordenada a\* e absorbância 520 nm

A coordenada a\* apresentou um incremento acentuado nas fases iniciais da tomada de espuma, passando de 12,6 na ITE para 16,8 no oitavo dia, valor máximo observado durante o período de acompanhamento, evidenciando uma tendência de

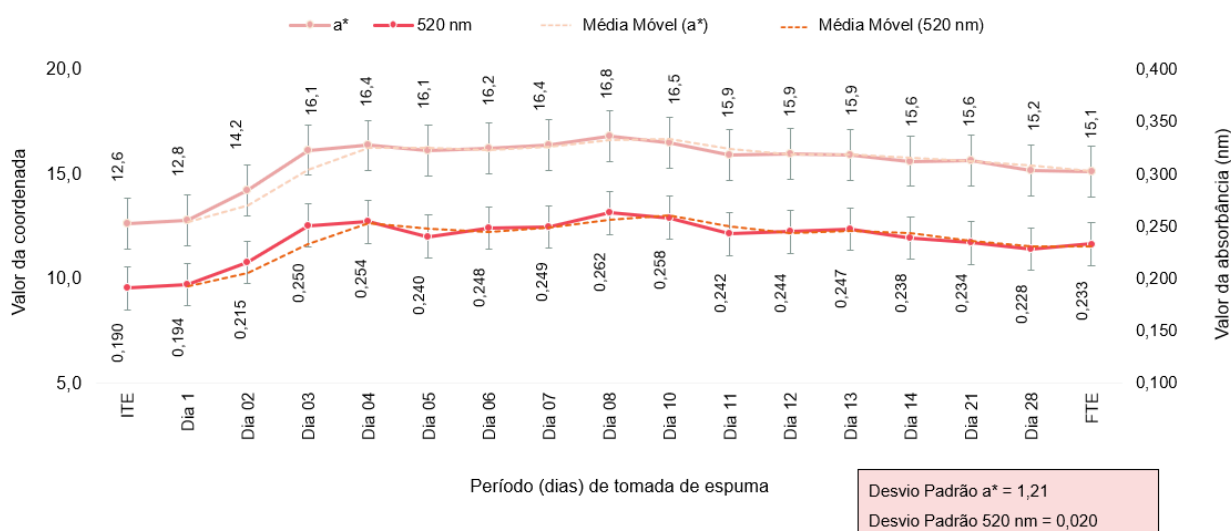
aumento do componente avermelhado da cor da matriz vínica. Esse comportamento é esperado em espumantes rosés, especialmente em função da presença de antocianinas instáveis, que podem sofrer rearranjos estruturais ou participar de reações de copigmentação ao longo da fermentação (HE *et al.*, 2012; BOULTON, 2001).

A ocorrência do pico de  $a^*$  na primeira semana da segunda fermentação pode ser atribuída à liberação de pigmentos residuais da parede celular das leveduras em atividade, associada à acidificação natural do meio fermentativo — resultante da produção de  $\text{CO}_2$  e da formação de ácidos orgânicos — que favorece a estabilização da forma catiônica das antocianinas, responsável pela tonalidade vermelha e altamente absorvente de luz (WATERHOUSE *et al.*, 2016). Adicionalmente, a menor disponibilidade de oxigênio no ambiente pressurizado contribui para a manutenção dos pigmentos monoméricos e inibe sua degradação oxidativa (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006; FERNANDES *et al.*, 2017).

Após o pico observado no dia 8, os valores de  $a^*$  apresentaram tendência à estabilização, mantendo-se entre 15,1 e 16,5 até o final do período monitorado. Esse comportamento pode estar relacionado ao estabelecimento de equilíbrios dinâmicos entre diferentes formas pigmentares, incluindo complexos copigmentados, leucoantocianinas (incolores) e pigmentos poliméricos mais estáveis (CHEYNIER *et al.*, 2006). A constância desses valores também sugere ausência de reações significativas de escurecimento oxidativo, confirmando a estabilidade cromática da matriz sob as condições fermentativas avaliadas.

Esse padrão é corroborado pela curva de absorbância a 520 nm, que igualmente apresenta seu valor máximo no dia 8 e, a partir desse ponto, mantém-se relativamente constante. Como esse comprimento de onda está diretamente associado à presença de antocianinas livres e pigmentos copigmentados, sua estabilização indica que a estrutura cromática responsável pela tonalidade vermelha atingiu um ponto de equilíbrio. De acordo com Giusti e Wrolstad (2001), a intensidade da absorbância nessa faixa espectral é proporcional à concentração de

antocianinas monoméricas e de seus derivados estabilizados. Dessa forma, a manutenção dos valores de Abs 520 nm após o oitavo dia reforça a hipótese de que não ocorreu degradação relevante dos pigmentos vermelhos, e que processos de copigmentação e polimerização parcial contribuíram para a persistência da



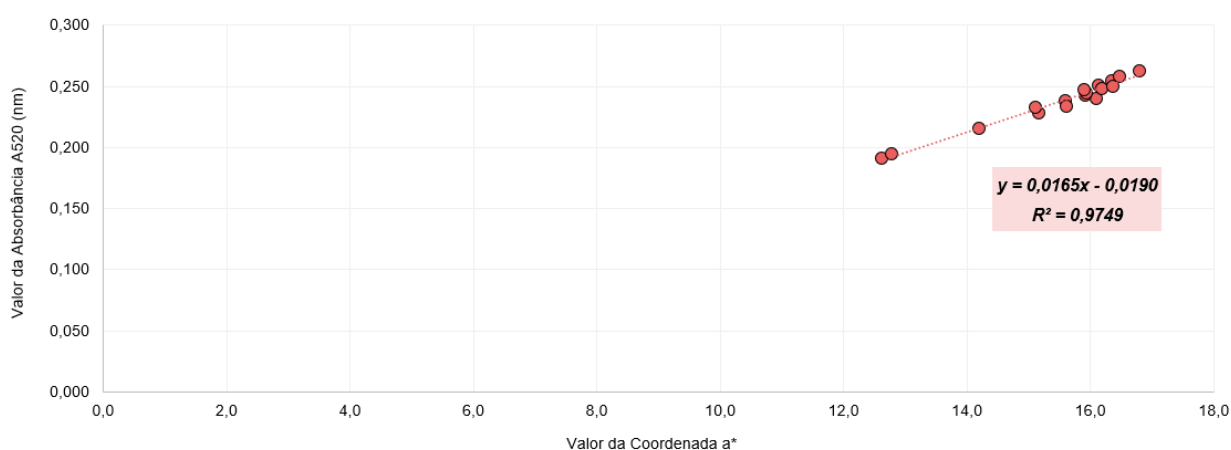
coloração rosada característica do espumante, conforme mostrado na Figura 19:

**Figura 19:** Evolução da cor vermelha - coordenada a\* e A520nm durante tomada de espuma

Além disso, a estabilidade da absorbância a 520nm ao longo do restante do período pode estar associada à ação protetora de colóides, como as manoproteínas liberadas durante a autólise das leveduras, que formam complexos com os pigmentos, reduzindo sua reatividade e oxidação (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006). Essa proteção favorece a preservação das propriedades cromáticas desejáveis mesmo em um meio submetido à agitação, pressão e eventual exposição ao oxigênio dissolvido.

Observou-se uma correlação positiva muito forte ( $r = 0,987$ ) entre a coordenada a\* e a absorbância a 520 nm ao longo da tomada de espuma. Esse resultado demonstra que o aumento dos valores de a\* está diretamente associado ao incremento das absorbâncias, indicando uma relação linear bem definida entre os dois parâmetros. A equação da reta obtida ( $y = 0,0165x - 0,0190$ ) apresentou um

elevado coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,9749$ ), confirmando que aproximadamente 98,7% da variação da absorbância pode ser explicada pela variação da coordenada  $a^*$ . Tal comportamento evidencia que o aumento da intensidade da coloração rosada, representada por  $a^*$ , acompanha o acréscimo na absorção de luz na região do vermelho do espectro visível. Dessa forma, a forte correlação e o alto valor de  $R^2$  reforçam que a evolução cromática observada está intimamente relacionada à concentração e estabilidade dos pigmentos, demonstrando a coerência entre as análises colorimétricas e espectrofotométricas empregadas no monitoramento da cor dos espumantes rosés.



**Figura 20:** Regressão linear entre parâmetros colorimétricos ( $a^*$ ) e espectrofotométricos (520 nm)

### 8.2.3 Coordenada $b^*$ e absorbância 420 nm

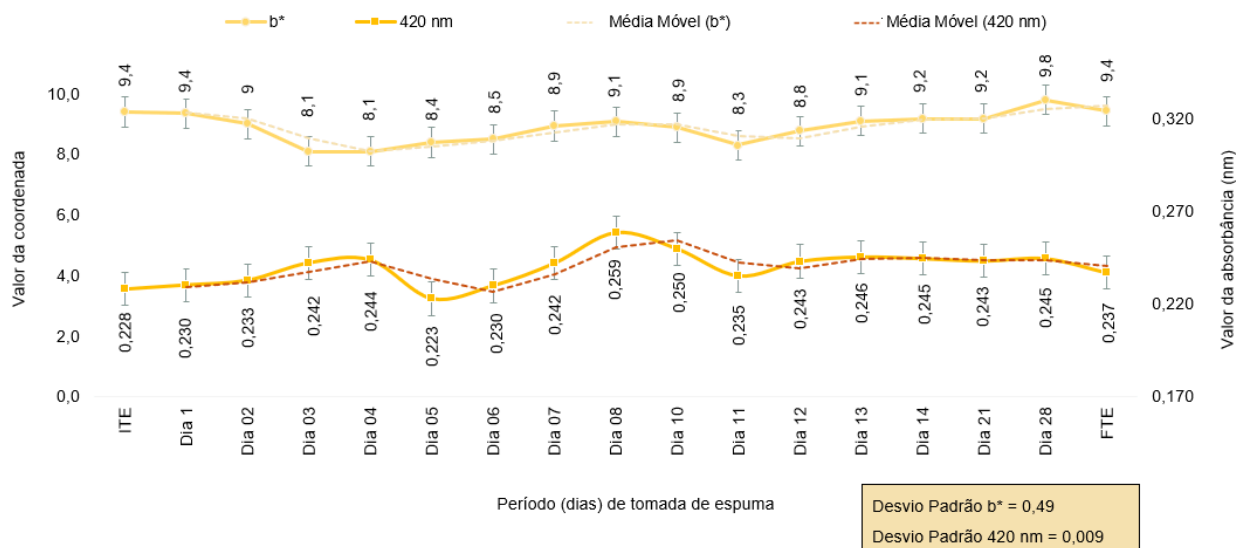
Durante a tomada de espuma do espumante rosé avaliado, observou-se que a coordenada  $b^*$  variou dentro de uma faixa relativamente estreita, com valores compreendidos entre 8,1 e 9,8, evidenciando uma variação limitada ao longo do processo, embora com tendência geral de aumento. Esse comportamento sugere a formação progressiva de compostos de tonalidade amarelada, como derivados de flavonoides oxidados, frequentemente observados em vinhos submetidos a leve exposição ao oxigênio, especialmente em matrizes com menor disponibilidade de antocianinas livres, condição comum em espumantes rosés (CHEYNIER *et al.*, 2006).

A variação restrita da coordenada  $b^*$  ao longo do acompanhamento pode ainda refletir a proteção conferida pela presença de dióxido de enxofre nas fases iniciais do processo, uma vez que este atua como antioxidante eficaz, retardando reações de oxidação e a formação de pigmentos marrons (DANILEWICZ, 2003).

Paralelamente, a absorvância a 420 nm apresentou valores iniciais entre 0,228 e 0,244, com um pico no dia 8 (0,259), seguido de estabilização e leve queda, encerrando o processo com 0,237 na fase final (FTE). O aumento registrado até o oitavo dia indica uma fase de maior suscetibilidade à oxidação, possivelmente associada à redução dos teores de antioxidantes naturais como glutatona e compostos sulfurados, bem como à maior atividade metabólica das leveduras, que podem liberar compostos reativos ao oxigênio (WATERHOUSE *et al.*, 2016). A estabilização subsequente da absorvância pode ser explicada pela saturação do sistema em  $\text{CO}_2$ , que limita a disponibilidade de oxigênio dissolvido, além da ação de compostos liberados durante a autólise das leveduras, como polissacarídeos, que podem complexar compostos fenólicos e atenuar sua atividade óptica (DEL BARRIO-GALÁ *et al.*, 2019).

Observa-se uma oscilação pontual no valor de absorvância a 420 nm no 11º dia de acompanhamento, a qual não se mantém nos pontos subsequentes, indicando tratar-se de uma variação experimental isolada, sem impacto sobre a tendência geral de evolução do parâmetro ao longo da tomada de espuma.

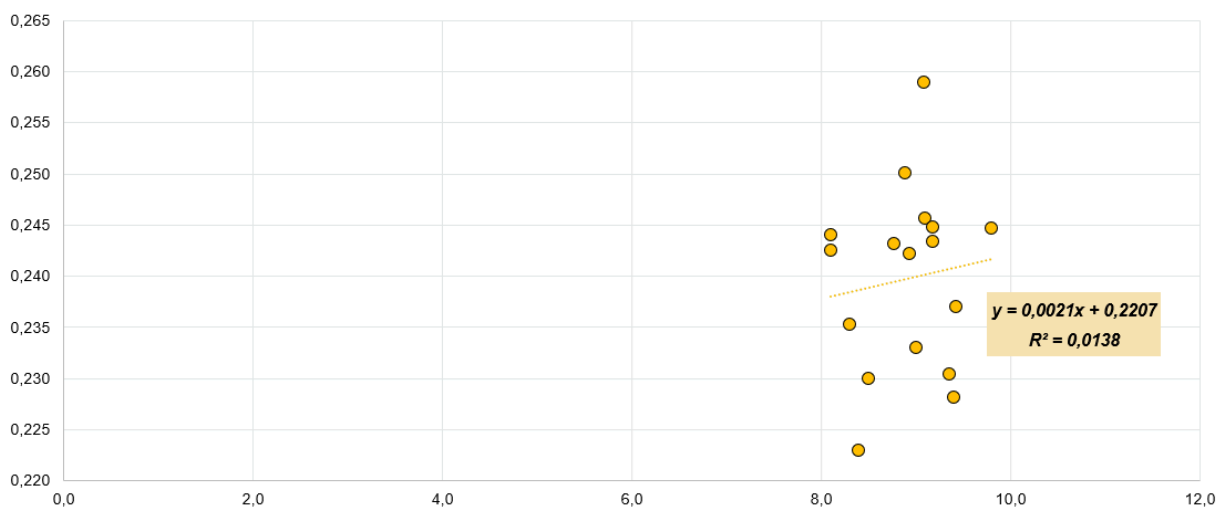
A análise simultânea da coordenada  $b^*$  e da absorvância a 420 nm evidencia a não linearidade e a sensibilidade diferencial entre os métodos espectrofotométrico e colorimétrico instrumental na detecção de alterações cromáticas durante a tomada de espuma, Figura 21. Embora ambas as variáveis estejam associadas à percepção do amarelamento, seus fundamentos analíticos distintos explicam as discrepâncias observadas nos dados.



**Figura 21:** Evolução da coordenada b\* e A420nm durante tomada de espuma

A análise de correlação realizada entre o parâmetro colorimétrico b\* e a absorvância a 420 nm revelou um coeficiente de 0,1175, indicando uma relação positiva muito fraca entre as variáveis. Esse resultado demonstra que as variações observadas na coordenada b\*, associada à tonalidade amarela no espaço CIELAB, não apresentam correspondência linear significativa com as variações na absorvância a 420 nm, faixa espectral relacionada à presença de pigmentos amarelos e compostos oxidados.

Em termos práticos, isso sugere que a intensidade amarela percebida visualmente (b\*) não está diretamente associada ao aumento da absorvância nessa região espectral, evidenciando uma baixa relação entre os métodos colorimétrico e espectrofotométrico para esses parâmetros. Tal comportamento pode estar relacionado à complexidade da matriz do espumante rosé, em que múltiplos compostos fenólicos e reações de oxidação podem influenciar a cor de forma distinta nos dois métodos.



**Figura 22:** Regressão linear entre parâmetros colorimétricos ( $b^*$ ) e espectrofotométricos (420 nm)

A absorbância a 420 nm é um método espectrofotométrico direto, que quantifica a absorção de luz por compostos cromóforos com picos de absorção nessa faixa do visível, especialmente polímeros fenólicos oxidados e produtos de reações de Maillard (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006; WATERHOUSE *et al.*, 2016). Assim, esta medida é altamente sensível à presença de fenóis oxidados, quinonas, aldeídos aromáticos e pigmentos intermediários, mesmo em concentrações que ainda não geram alterações visuais perceptíveis. Esse comportamento é evidente no presente estudo entre os Dias 4 e 6, quando a absorbância a 420 nm apresenta aumento significativo (de 0,244 para 0,259), enquanto a coordenada  $b^*$  sofre uma leve depressão (de 8,4 para 8,1). Essa dissociação sugere um acúmulo de compostos absorventes que ainda não impactam significativamente a percepção de cor no espaço tridimensional CIELAB.

Por outro lado, a coordenada  $b^*$  resulta de medições colorimétricas baseadas na resposta espectral integrada da luz refletida ou transmitida pela amostra, processada segundo as funções de igualação de cor padronizadas pela CIE. Essa coordenada representa a dimensão cromática amarelo ( $+b^*$ ) – azul ( $-b^*$ ) e, portanto, é influenciada não apenas pela absorbância em 420 nm, mas por todo o espectro

visível (especialmente entre 400 e 500 nm). A coordenada  $b^*$  é afetada por interações ópticas complexas, como turvação, dispersão da luz, presença de colóides e combinações de absorções em múltiplos comprimentos de onda (DEL ALAMO-SANZA & NEVARES, 2018). Isso justifica a maior estabilidade ou inércia da  $b^*$  frente a oscilações rápidas de  $A_{420}$ , e a tendência de aumento suave e progressivo observada após o pico de absorbância, refletindo modificações mais perceptíveis e acumulativas no tom amarelado do produto final.

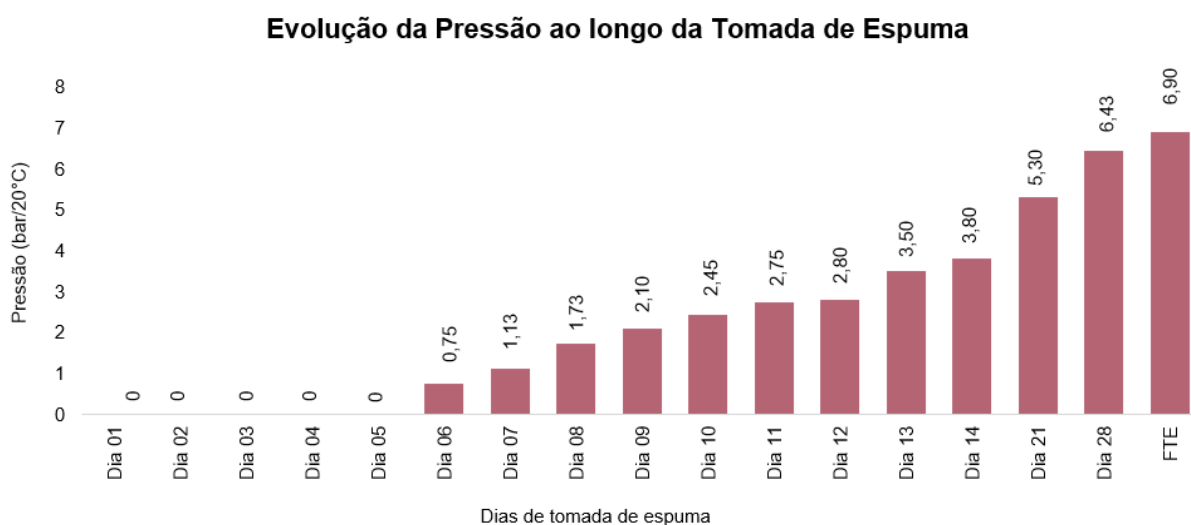
Além disso, deve-se considerar que a medição espectrofotométrica a 420 nm é específica, pontual e quantitativa para os compostos que absorvem luz nesta faixa, enquanto a medição em  $b^*$  é multivariada, baseada em percepção visual simulada, e possui maior limiar para detecção de alterações. Em outras palavras, a absorbância capta mudanças moleculares antes que estas se convertam em alterações visíveis detectáveis pelo sistema CIELAB. Essa defasagem temporal e sensibilidade diferenciada entre as técnicas já foi descrita em estudos comparativos sobre estabilidade de cor em vinhos brancos e rosés submetidos à microoxigenação ou envelhecimento oxidativo (CHEYNIER *et al.*, 2006; GNOINSKI *et al.*, 2021).

Portanto, a complementaridade entre os métodos se torna evidente: enquanto a absorbância a 420 nm atua como um marcador precoce de oxidação, útil para o controle tecnológico imediato, a coordenada  $b^*$  funciona como um indicador acumulativo da evolução cromática percebida, relevante para o julgamento sensorial e estabilidade visual do espumante. Essa distinção técnico-analítica é fundamental para a correta interpretação dos dados de cor em espumantes rosés e justifica o uso integrado dos dois métodos na avaliação cromática durante a tomada de espuma.

#### **8.2.4 Pressão**

A evolução da pressão de  $\text{CO}_2$  ao longo da tomada de espuma, conforme evidenciado na Figura 23, reflete diretamente a progressão da fermentação secundária. Observa-se que nos quatro primeiros dias (ITE a Dia 4) a pressão

permanece nula, caracterizando a fase de latência fermentativa, em que as leveduras recém-inoculadas ainda não iniciaram sua atividade metabólica de forma significativa. Esse comportamento é consistente com a literatura, que aponta uma fase inicial de adaptação celular antes da produção efetiva de CO<sub>2</sub> em ambientes pressurizados (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006).



**Figura 23:** Evolução da produção de CO<sub>2</sub> durante a tomada de espuma

A partir do dia 5, com o início da produção de gás carbônico (0,5 bar), houve um crescimento progressivo da pressão interna, alcançando 2,0 bar no Dia 10 e chegando a 5,4 bar ao FTE. Esse aumento gradual da pressão é indicativo da fermentação ativa, sendo um marcador confiável da formação de gás dissolvido no vinho base. Segundo Waterhouse *et al.* (2016), esse processo resulta na saturação do meio com CO<sub>2</sub>, criando um ambiente progressivamente mais redutor.

A mudança do estado oxidativo do meio, promovida pela presença crescente de CO<sub>2</sub>, tem implicações diretas sobre a estabilidade cromática dos espumantes rosés. Em condições aeradas, como nas etapas iniciais (baixa pressão), há maior risco de oxidação de compostos fenólicos, especialmente antocianinas e flavonoides, com conseqüente aumento na absorbância em 420 nm (Figura 21),

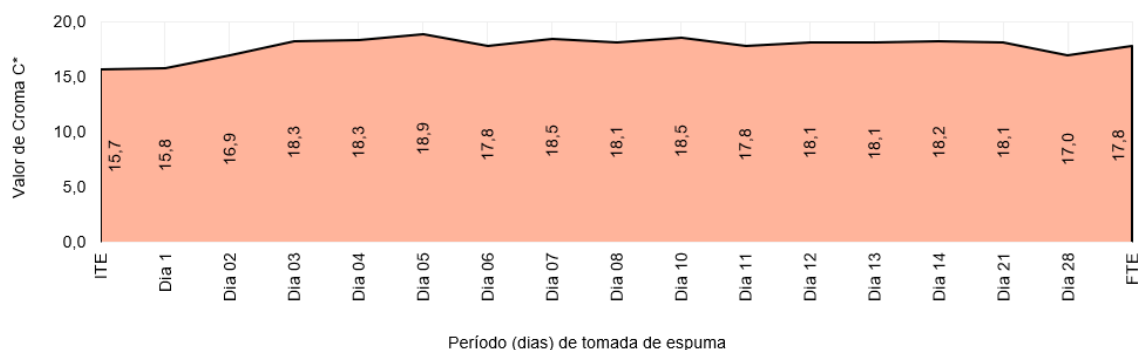
faixa associada a pigmentos oxidativos e escurecimento (CHEYNIER *et al.*, 2006). À medida que o ambiente se torna mais anaeróbico, espera-se uma redução desses processos oxidativos e a consequente estabilização da cor, favorecida por reações de copigmentação e interação com macromoléculas liberadas pelas leveduras, como as manoproteínas (GUADALUPE *et al.*, 2010).

De acordo com a Figura 23 ainda evidencia um incremento mais acentuado da pressão entre os dias 13 e 21 (3,0 para 5,03 bar), fase correspondente à maior taxa de fermentação e à máxima produção de CO<sub>2</sub>. Durante esse intervalo, o sistema atinge um ponto de estabilização redox mais efetivo, no qual a cor do espumante tende a apresentar maior vivacidade e menor suscetibilidade à oxidação. Este comportamento é corroborado por estudos que associam o aumento da pressão interna ao incremento da estabilidade coloidal e cromática em espumantes elaborados pelo método Charmat (DEL ALAMO-SANZA & NEVARES, 2018).

Assim, a curva de pressão apresentada na Figura 23 não apenas indica a eficiência da fermentação, como também permite inferências sobre o comportamento esperado da cor ao longo do processo. A correlação entre ambiente redutor (alta pressão), baixa oxidação e maior estabilidade da coloração confere suporte técnico ao uso da pressão como parâmetro complementar no monitoramento cromático da tomada de espuma em espumantes rosés.

#### **8.2.5 Croma (c\*)**

Os valores de croma (C\*) mantiveram-se relativamente constantes ao longo do período monitorado, refletindo estabilidade na saturação da cor percebida, Figura 24. Essa constância indica que, apesar das alterações químicas naturais durante a segunda fermentação, a intensidade global da cor permaneceu estável. Essa tendência está de acordo com estudos que apontam que a formação progressiva de pigmentos estáveis, como antocianinas condensadas e pigmentos poliméricos, contribui para a manutenção do croma em vinhos envelhecidos (JACKSON, 2020; KENNEDY *et al.*, 2006).



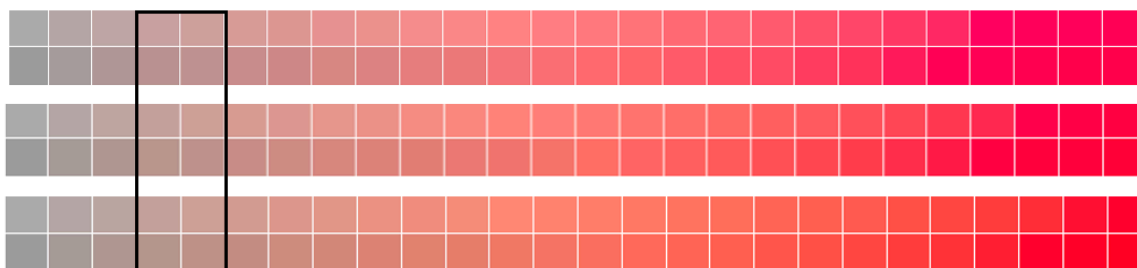
**Figura 24:** Evolução de cor durante a tomada de espuma

Neste experimento, os valores de Cromo ( $c^*$ ) enquadram-se numa faixa intermediária, correspondente a uma saturação moderada da tonalidade rosada. Esse perfil cromático pode ser explicado pela elaboração via *assemblage* entre uvas tintas e brancas (Pinot Noir, Chardonnay e Riesling Itálico), que dilui parcialmente os pigmentos antociânicos, resultando numa coloração mais leve e elegante. Essa dinâmica é consistente com a literatura que descreve como a copigmentação, a polimerização e a formação de derivados estáveis, especialmente as piranoantocianinas, promovem um equilíbrio entre intensidade de cor e estabilidade (OENO ONE; ZHAO, 2023).

Assim, a observação de estabilidade no croma  $C^*$  ao longo da segunda fermentação sugere que os mecanismos de estabilização de pigmentos (polimerização, formação de piranoestruturas, interações com polissacarídeos) estão efetivamente atuando, resultando em um perfil cromático típico de espumantes rosés brut: vibrante, mas sem saturação excessiva.

Na Figura 25, é apresentada a escala representativa da evolução do croma ( $C^*$ ) durante a tomada de espuma de espumantes rosés, ilustrando o aumento progressivo da saturação da cor. A área delimitada em preto indica a faixa de valores observada experimentalmente para o espumante Brut Rosé elaborado pelo

método Charmat, caracterizada por saturação intermediária e tonalidade equilibrada, típica de *assemblages* entre bases brancas e tintas.

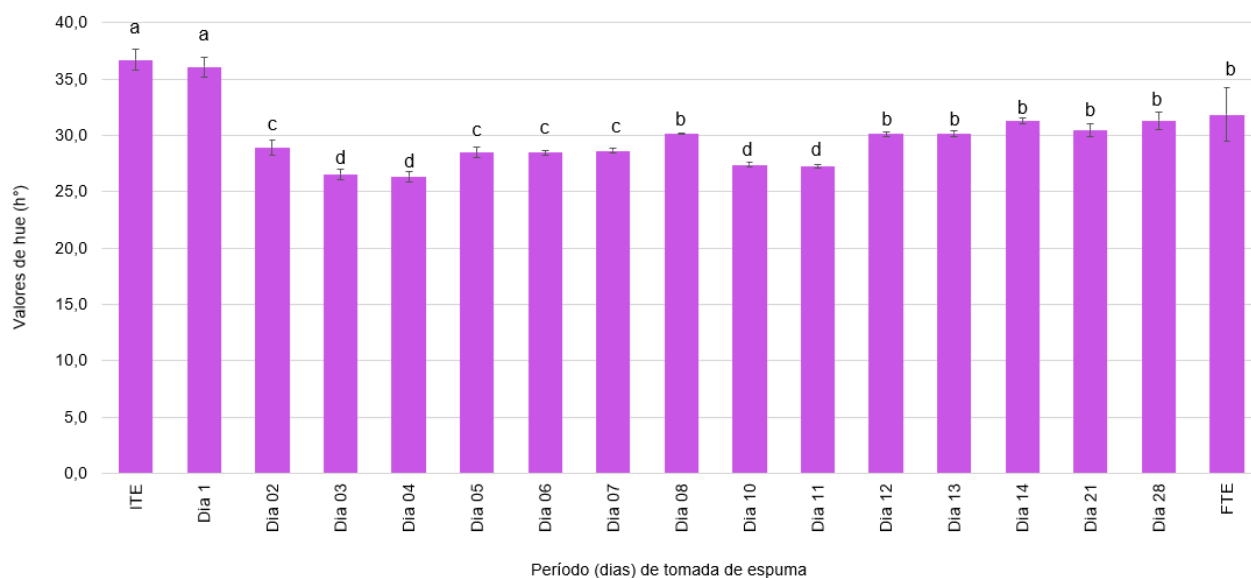


**Figura 25:** Evolução do croma ( $C^*$ ) em vinhos rosés, destacando em preto a faixa intermediária observada para o espumante Brut Rosé elaborado pelo método Charmat, durante a tomada de espuma

### 8.2.6 Matiz ( $h^\circ$ )

Por outro lado, a matiz ( $h^\circ$ ), Figura , apresentou oscilações ao longo do tempo, sugerindo mudanças na proporção entre diferentes classes de pigmentos, particularmente entre antocianinas livres, predominantes em estágios iniciais, e formas combinadas ou polimerizadas, que se tornam mais relevantes à medida que avança a fermentação e o envelhecimento (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006; WANG *et al.*, 2023).

O teste de comparações múltiplas de Tukey ( $p < 0,05$ ) aplicado aos valores do ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ) evidenciou diferenças estatisticamente significativas entre as etapas da tomada de espuma. Os maiores valores de  $h^\circ$  foram observados na ITE e no primeiro dia de fermentação, diferindo significativamente das fases subsequentes. Os menores valores concentraram-se entre os dias 03 e 11, os quais não diferiram entre si, indicando uma região de mínima tonalidade. A partir do oitavo dia, verificou-se aumento progressivo dos valores de  $h^\circ$ , com estabilização nas etapas finais do processo, incluindo FTE, sem diferenças estatísticas relevantes entre esses pontos.



**Figura 26:** Evolução do ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ) durante a tomada de espuma do espumante rosé. Os valores correspondem às médias  $\pm$  desvio padrão ( $n = 5$ ). Letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa entre os dias, de acordo com a análise de variância (ANOVA) seguida do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Além disso, a presença de compostos derivados do metabolismo das leveduras, como acetaldeído e ácido pirúvico, pode influenciar diretamente a formação de novos pigmentos estáveis, como as piranoantocianinas, as quais alteram a tonalidade e conferem maior resistência à oxidação e à instabilidade corante (WATERHOUSE *et al.*, 2016; MORATA *et al.*, 2016). A escolha da cepa de levedura também pode impactar esse equilíbrio, uma vez que diferentes linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* apresentam variações na capacidade de adsorver antocianinas, afetando a composição cromática final (ECHEVERRIGARAY *et al.*, 2020). A Figura 27 ilustra a faixa de valores de matiz ( $h^\circ$ ) observada para o espumante ao longo da tomada de espuma, destacando que os resultados analíticos permaneceram concentrados dentro dos limites representados pelas linhas.

Dessa forma, as oscilações observadas nos valores de matiz ( $h^\circ$ ) refletem o dinamismo das reações entre compostos fenólicos e metabólitos derivados da

levedura durante a tomada de espuma e envelhecimento, influenciando diretamente a percepção cromática e a evolução da coloração do espumante rosé.

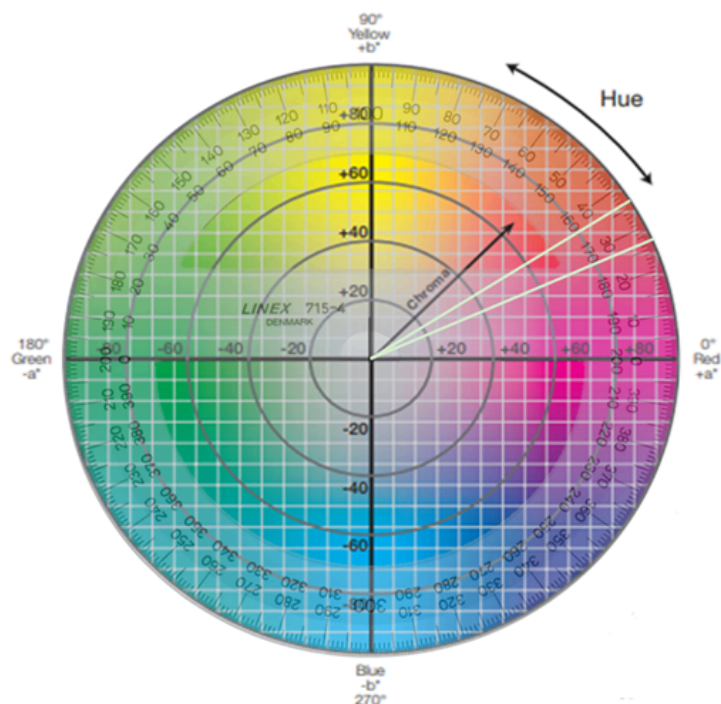


Figura 27: Faixa de matiz ( $h^\circ$ ) durante a tomada de espuma

### 8.2.7 Gráfico cielab 3D: plotando todos os valores ( $a^*$ , $b^*$ , $L^*$ )

A representação tridimensional das coordenadas CIELAB permitiu avaliar de forma integrada a dinâmica cromática das amostras ao longo do tempo, evidenciando que a evolução da cor durante a tomada de espuma ocorreu por meio de ajustes progressivos e interdependentes entre luminosidade, componente vermelha e componente amarela. O deslocamento gradual dos pontos no espaço tridimensional indica que as transformações cromáticas não foram episódicas ou abruptas, mas resultaram de um processo contínuo de reorganização estrutural dos pigmentos presentes na matriz vínica, comportamento consistente com a natureza

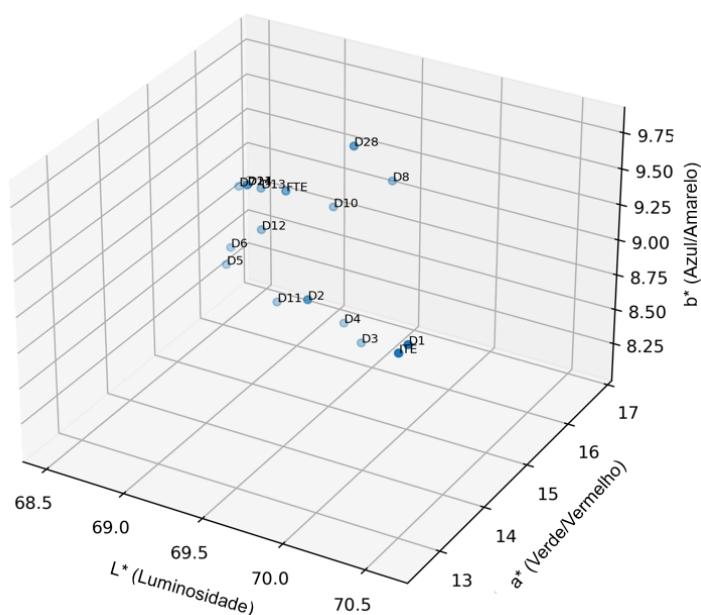
dinâmica dos equilíbrios pigmentares descritos para sistemas vínicos fermentativos (SOMERS & EVANS, 1977; RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006).

A diminuição inicial de  $L^*$  sugere leve aumento da densidade óptica, possivelmente associado à formação de espécies pigmentares mais complexas decorrentes de interações entre compostos fenólicos e metabólitos produzidos durante a atividade fermentativa. Esse fenômeno é compatível com reações de condensação e copigmentação que promovem intensificação da cor e redução da luminosidade, conforme amplamente documentado para vinhos jovens em evolução (BOULTON, 2001; WATERHOUSE *et al.*, 2016). Simultaneamente, o aumento observado na coordenada  $a^*$  nos estágios iniciais indica intensificação da tonalidade avermelhada, fenômeno associado à estabilização parcial de antocianinas por interações intermoleculares e formação de complexos pigmentares mais estáveis (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006; HE *et al.*, 2012).

Por outro lado, a relativa estabilidade da coordenada  $b^*$  sugere que os processos de amarelecimento foram limitados ao longo do período avaliado, indicando ausência de oxidação expressiva ou formação significativa de pigmentos poliméricos acastanhados. Esse comportamento está de acordo com estudos que demonstram que o aumento de  $b^*$  em vinhos está geralmente relacionado à oxidação fenólica e à formação de derivados poliméricos de antocianinas e flavanóis (PÉREZ-MAGARIÑO & GONZÁLEZ-SAN JOSÉ, 2006). A limitação desse aumento sugere condições relativamente redutivas, potencialmente associadas à presença de dióxido de enxofre e ao ambiente rico em  $CO_2$  característico da fermentação, fatores reconhecidos por restringirem reações oxidativas e preservarem a cor (JACKSON, 2014).

Considerando o conjunto das coordenadas, a trajetória espacial observada reforça a interpretação de que a evolução cromática durante a tomada de espuma resulta de um equilíbrio dinâmico entre formação, transformação e estabilização de pigmentos. Esse padrão confirma que a cor do espumante rosé não depende apenas da concentração inicial de compostos fenólicos, mas também da cinética das

reações químicas e das condições físico-químicas do meio fermentativo, corroborando a abordagem multivariada recomendada para estudos cromáticos em vinhos (OIV, 2019). Assim, a análise tridimensional CIELAB demonstra ser uma ferramenta robusta para compreender a complexidade da evolução cromática em sistemas vínicos, permitindo visualizar tendências não detectáveis por análises univariadas isoladas (Figura 28).



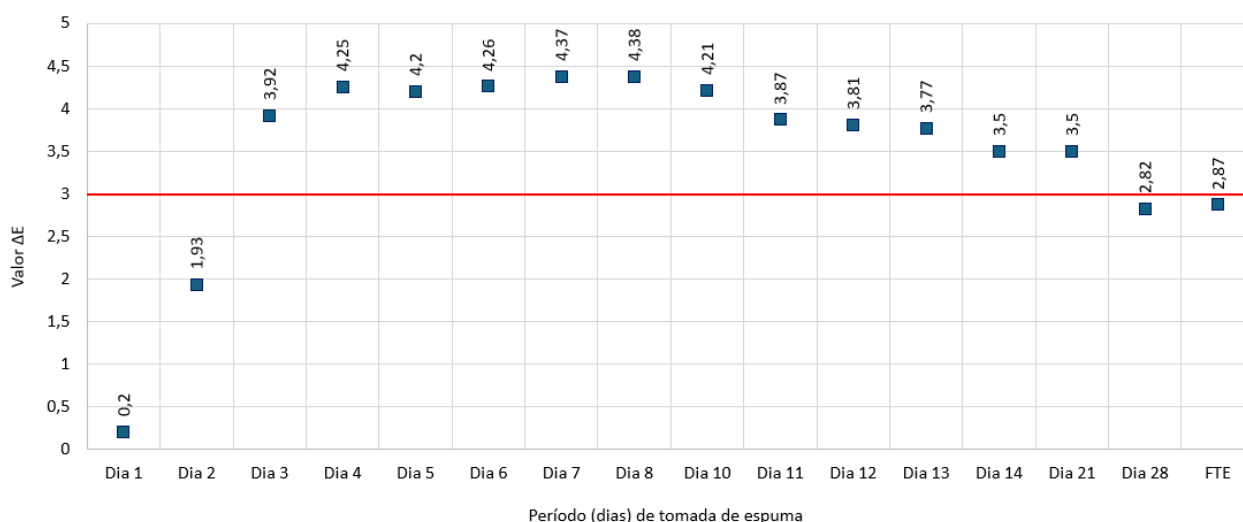
**Figura 28:** Distribuição tridimensional das coordenadas CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) durante a tomada de espuma

### 8.2.8 Variação global de cor ( $\Delta E$ )

Os valores de  $\Delta E$  em relação ao ITE demonstraram aumento progressivo da diferença cromática até o Dia 8 ( $\Delta E = 4,38$ ), indicando intensificação das alterações de cor nas fases iniciais da tomada de espuma. Após esse período, observou-se redução gradual dos valores, atingindo  $\Delta E = 2,87$  no FTE, sugerindo estabilização cromática ao final do processo fermentativo.

Observa-se que a maioria dos pontos entre os Dias 3 e 21 ultrapassa o limite perceptível ( $\Delta E > 3$ ), indicando que as alterações cromáticas nesse

intervalo são visualmente detectáveis, enquanto os estágios inicial e final apresentam diferenças menos evidentes (Figura 29). Esse padrão sugere que a cor final não depende apenas da composição inicial, mas principalmente das transformações que ocorrem durante a fermentação.



**Figura 29:** Evolução da diferença total de cor ( $\Delta E^*ab$ ) em relação ao ITE durante a tomada de espuma. A linha horizontal representa o limite de perceptibilidade visual ( $\Delta E = 3$ ).

### 8.2.9 Absorbância 620 nm

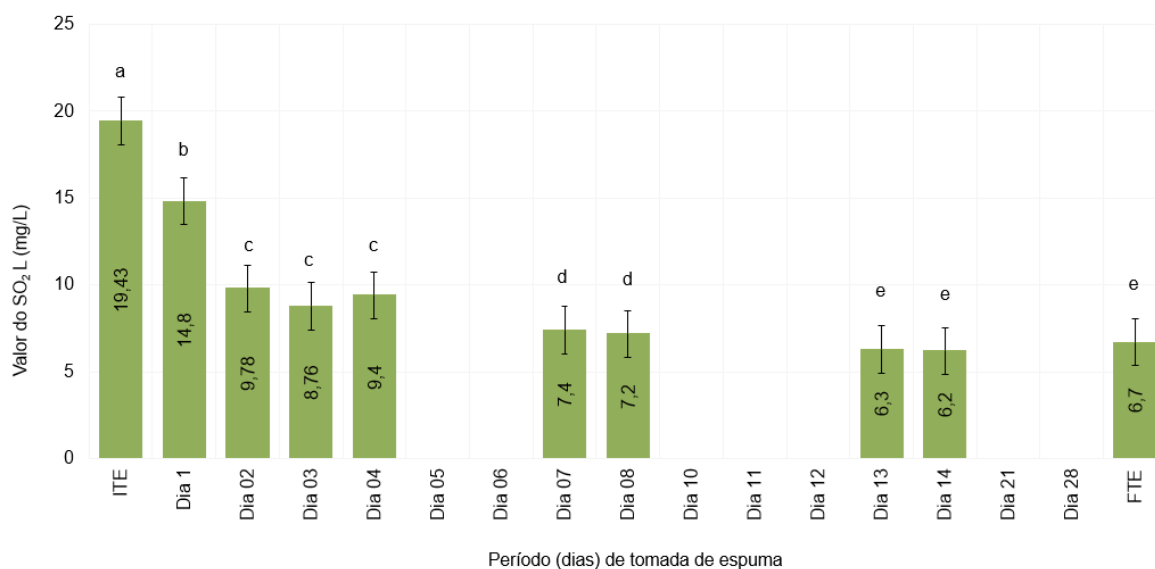
A absorbância em 620 nm, associada a tons azulados, manteve-se muito baixa durante todo o período, comportamento esperado em espumantes rosés, que apresentam baixa concentração de pigmentos cianínicos (JACKSON, 2020). Em geral, a cor dos rosés é dominada pelas tonalidades vermelho-alaranjadas, sendo os compostos responsáveis por tonalidades azuladas (como antocianinas em formas neutras ou complexos metálicos) presentes em quantidades insignificantes, Figura 30.



**Figura 30:** Evolução de A620nm durante a tomada de espuma

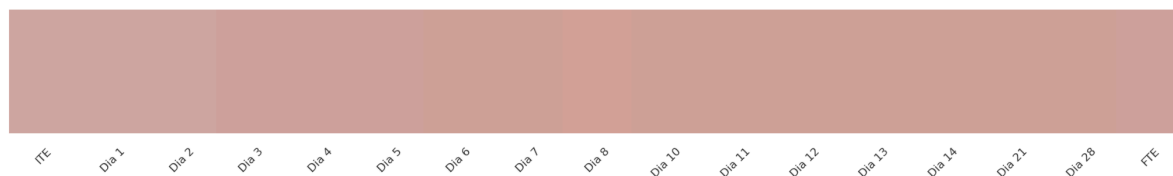
### 8.2.10 Dióxido de enxofre livre (SO<sub>2</sub>)

Em relação ao dióxido de enxofre livre (SO<sub>2</sub>), apresentado na Figura 31, observou-se redução logo após o início da segunda fermentação, comportamento típico associado à reação do SO<sub>2</sub> com compostos carbonílicos, especialmente o acetaldeído, formado durante o metabolismo fermentativo das leveduras (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006; WATERHOUSE *et al.*, 2016). Essa interação promove a diminuição da fração livre, devido à formação de complexos estáveis. Os menores teores foram registrados nos dias 13 e 14, período coincidente com maior atividade fermentativa e, conseqüentemente, maior produção de acetaldeído (JACKSON, 2020). Ao final da fermentação, verificou-se discreta recuperação dos níveis de SO<sub>2</sub> livre, possivelmente associada à redução na formação de compostos carbonílicos e à menor demanda de complexação (ZOECKLEIN *et al.*, 1999). O equilíbrio entre as formas livre e combinada de SO<sub>2</sub> é influenciado por fatores como pH, temperatura e composição fenólica do vinho.



**Figura 31:** Evolução de SO<sub>2</sub> livre durante a tomada de espuma

A Figura 32 representa visualmente a evolução da cor aparente do espumante rosé ao longo da tomada de espuma, com base na conversão das coordenadas CIELAB para o espaço de cor RGB. Essa conversão permite observar de forma perceptível ao olho humano as sutis alterações cromáticas registradas instrumentalmente. No entanto, é importante destacar que essa representação RGB não leva em consideração de forma explícita os parâmetros de croma ( $C^*$ ) e ângulo de matiz ( $h^\circ$ ), que são determinantes para a caracterização precisa da saturação e tonalidade da cor. Ainda assim, nota-se uma leve intensificação do tom rosado entre o início (ITE) e o final do processo (FTE), possivelmente associada à formação de um ambiente redutor pela liberação de CO<sub>2</sub>, que contribui para a preservação dos compostos fenólicos frente à oxidação (WATERHOUSE *et al.*, 2016). Além disso, a atuação das leveduras pode favorecer a copigmentação e a liberação de manoproteínas, mecanismos que contribuem para maior estabilidade e saturação da cor (MANJÓN *et al.*, 2020), embora as variações visuais se mantenham discretas ao longo do tempo.



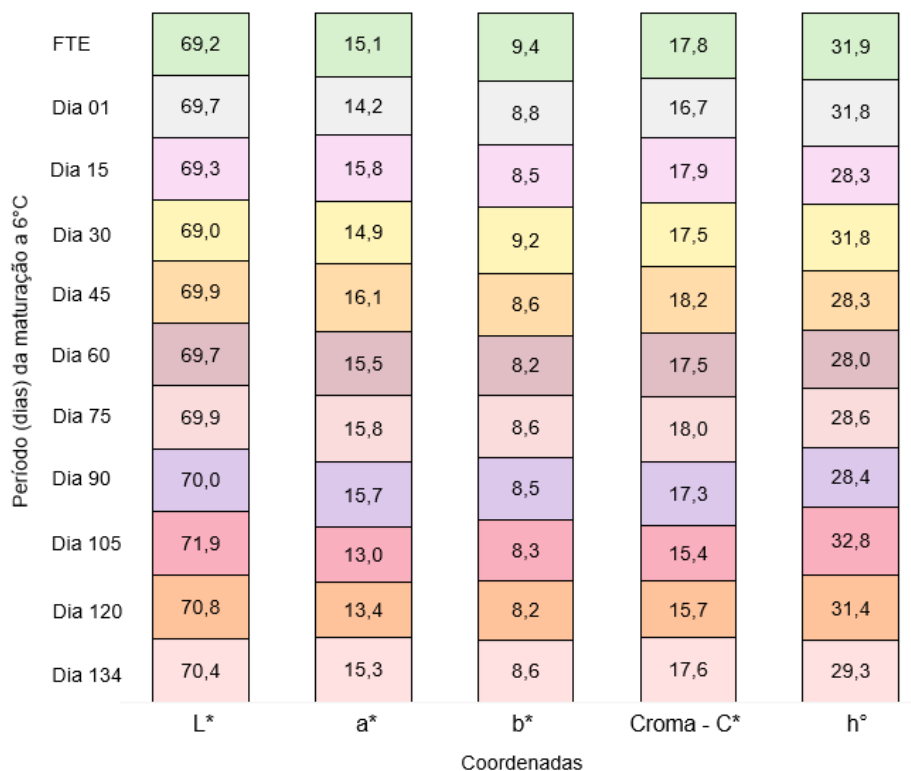
**Figura 32:** Representação da cor com base na conversão das coordenadas CIELAB para o espaço de cor RGB

### 8.3 Maturação

A média de tempo de maturação nos tanques analisados foi de 134 dias. As análises foram realizadas em período quinzenal.

A análise da evolução das coordenadas de cor no sistema CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), bem como dos parâmetros derivados cromatização ( $C^*$ ) e ângulo de matiz ( $h^\circ$ ), permite observar transformações cromáticas significativas em relação ao FTE. Essas alterações refletem fenômenos físico-químicos que ocorrem durante a segunda fermentação e o envelhecimento em autólise, especialmente relevantes para a estabilidade da cor em espumantes rosés (Figura 33):

A amostra FTE apresentou valores iniciais típicos para vinhos rosés de boa intensidade corante:  $L^* = 69,2$ ,  $a^* = 15,1$ ,  $b^* = 9,4$ , Cromatização  $C^* = 17,8$  e  $h^\circ = 31,9$ . Tais valores refletem uma coloração rosada brilhante, influenciada pela presença de antocianinas e flavonóis extraídos durante a prensagem de uvas tintas (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006; MAZZA & MINIATI, 1993).



**Figura 33:** Evolução das coordenadas durante a maturação a 6°C

Nas primeiras semanas de maturação (dia 01 ao dia 30 a 6°C), as coordenadas CIELAB apresentaram variações suaves, indicando uma fase de estabilização inicial após a segunda fermentação. A coordenada L\* se manteve entre 69,7 e 69,0, enquanto a\* variou de 14,2 a 14,9 e b\* de 8,8 a 9,2. O croma apresentou pequena oscilação, mas sem mudanças significativas. Esse comportamento é compatível com a ação estabilizadora da baixa temperatura (6 °C), que inibe reações oxidativas e preserva os pigmentos monoméricos (BOULTON, 2001; MORENO-ARRIBAS & POLO, 2009).

A partir do dia 60, observa-se um ponto de inflexão nos dados. A luminosidade (L\*) atinge o nível de 69,7, mas volta a subir nos dias seguintes, chegando a 71,9 no dia 105. Esse aumento pode ser atribuído à clarificação natural da matriz coloidal, favorecida pela autólise de leveduras, que promove liberação de manoproteínas e decantação de partículas instáveis (LI *et al.*, 2023). Já a

coordenada  $a^*$  apresenta um pico no dia 45 (16,1) e no dia 75 (15,8), seguido por queda no dia 105 (13,0). Esse declínio sugere a degradação de antocianinas livres ou a formação de pigmentos mais estáveis e menos intensamente vermelhos, como os pigmentos poliméricos e piranoantocianinas (HE *et al.*, 2012; FERNANDES *et al.*, 2017).

A coordenada  $b^*$ , diminui ligeiramente até o Dia 45 (8,6), e se estabiliza em torno de 8,2 a 8,6 até o final do período. Isso pode indicar precipitação de flavonóis ou leve oxidação de pigmentos amarelados, fenômeno frequente em envelhecimento de vinhos mesmo sob refrigeração (GAMBUTI *et al.*, 2018).

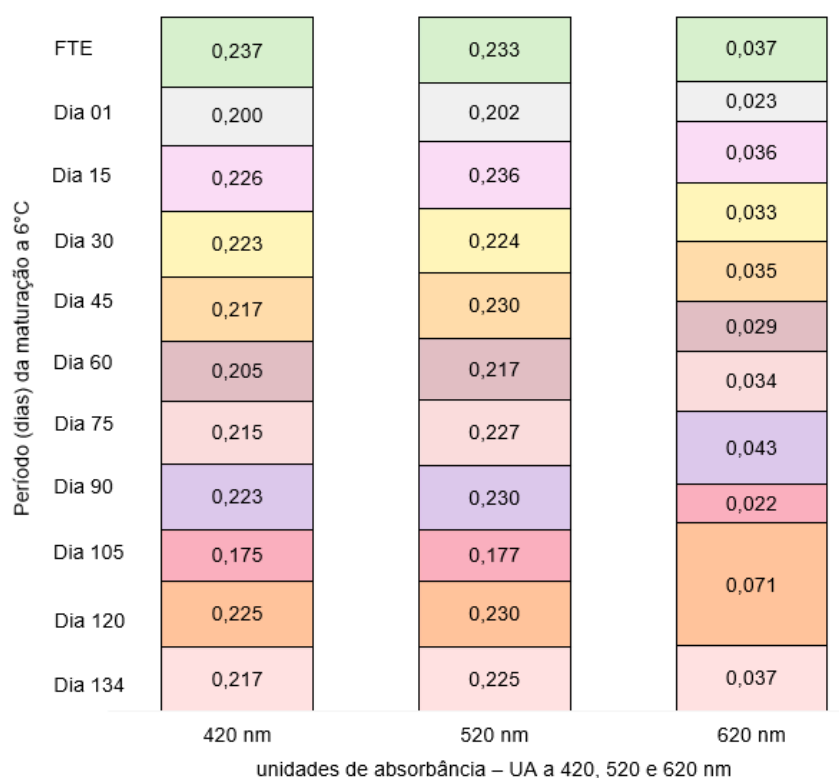
O comportamento do croma ( $C^*$ ) confirma a tendência de oscilação da saturação da cor: há um pico no dia 45 (18,2), seguido de leve queda até 15,4 no dia 105, antes de recuperar para 17,6 no dia 134. A saturação colorante, portanto, apresenta uma perda transitória, compatível com processos de polimerização e reações de copigmentação, mas tende à recuperação parcial após o ponto máximo da autólise.

O ângulo de matiz ( $h^\circ$ ) permanece relativamente estável ao longo do tempo, variando de 28,0 a 32,8, o que indica pequenas mudanças de tonalidade, dentro do espectro rosado/alaranjado. O pico no dia 105 (32,8) sugere a presença de pigmentos mais oxidados ou a conversão parcial de pigmentos antociânicos em derivados menos vermelhos e mais amarronzados, processo típico de espumantes envelhecidos (HERNÁNDEZ *et al.*, 2011).

A análise cromática do espumante rosé ao longo de 134 dias de maturação a 6 °C revelou transformações sutis porém relevantes na estrutura de cor do produto. A comparação com a amostra FTE mostrou que a tomada de espuma e o envelhecimento sobre borras promovem oscilações no componente vermelho ( $a^*$ ) e na saturação da cor ( $C^*$ ), enquanto a luminosidade ( $L^*$ ) e o ângulo de matiz ( $h^\circ$ ) permanecem dentro de limites estáveis. A maturação a 6°C demonstrou ser eficiente para preservar a identidade visual do espumante, com clareamento progressivo e

reorganização dos pigmentos no final do processo. A retomada dos valores de croma e matiz nas etapas finais sugere que, após o impacto da autólise e da copigmentação, o produto tende à estabilização visual e cromática.

Na região do amarelo (420 nm), a absorvância apresentou decréscimo contínuo ao longo da maturação, em paralelo à redução da coordenada  $b^*$ . Esse comportamento indica perda gradual dos matizes amarelados, resultado típico da diminuição de flavonóis oxidados e de pigmentos formados por oxidação indireta de antocianinas em meio ácido (BOULTON, 2001). O padrão sugere que, com o avanço do processo, esses compostos atingem um estado de equilíbrio, deixando de contribuir de forma marcante para a cor final, Figura 34:



**Figura 34:** Evolução das absorvâncias durante a maturação a 6°C

Na região do vermelho (520 nm), observou-se maior intensidade nas fases iniciais, seguida por redução progressiva. Essa trajetória acompanha o

comportamento da coordenada  $a^*$ , indicando que as antocianinas monoméricas, inicialmente predominantes, sofreram degradação ou transformação em pigmentos mais estáveis e menos saturados. A diminuição da intensidade nessa faixa espectral está relacionada à formação de pigmentos derivados, como os piranoantociânicos, além da precipitação ou condensação de antocianinas (HE *et al.*, 2012; FERNANDES *et al.*, 2017).

A absorvância a 620 nm, permaneceu baixa até o dia 90, mas aumentou expressivamente até 0,071 no dia 120. Essa tendência está diretamente associada ao aumento da coordenada  $L^*$ , ou seja, à percepção de maior luminosidade na matriz. A presença de pigmentos poliméricos derivados de antocianinas e taninos contribui para a formação de colorações mais estáveis, com menores contribuições de saturação, mas com aumento da estabilidade óptica e, em alguns casos, da refletância luminosa (MATEUS *et al.*, 2001). O crescimento de  $A_{620}$  sugere que o sistema fenólico alcançou um estágio de reorganização estrutural, com formação de pigmentos de condensação que absorvem em comprimentos de onda mais longos e geram modificações perceptíveis na densidade e luminosidade da cor (CHEYNIER *et al.*, 2006).

De forma integrada, a redução concomitante da absorvância a 520 nm e da coordenada  $a^*$  evidencia a diminuição da intensidade do componente vermelho vivo, característico das fases iniciais de elaboração do espumante rosé, resultado associado à degradação progressiva das antocianinas monoméricas (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006; GIUSTI; WROLSTAD, 2001). Paralelamente, o incremento de  $A_{420}$  e  $b^*$  indica um deslocamento gradual da coloração para matizes alaranjados-amarelados, compatíveis com processos oxidativos moderados e com a formação de pigmentos derivados da oxidação indireta de antocianinas e flavonóis (BOULTON, 2001; FERNANDES *et al.*, 2017). Por sua vez, a elevação de  $A_{620}$ , associada ao aumento de  $L^*$  nas etapas finais da maturação, sugere a presença de pigmentos de maior peso molecular, como pigmentos poliméricos e piranoantocianinas, que apresentam maior estabilidade e menor saturação,

conferindo à matriz cromática um aspecto mais uniforme, brilhante e visualmente limpo (CHEYNIER *et al.*, 2006; HE *et al.*, 2012).

A análise de correlação entre a absorvância a 420 nm e o parâmetro cromático  $b^*$  evidenciou uma relação positiva moderada entre as variáveis ( $r \approx 0,46$ ). Esse resultado indica que incrementos na absorvância associada ao escurecimento oxidativo tendem a acompanhar leves aumentos nos valores de  $b^*$ , sugerindo uma direção cromática mais amarelada. Embora a força da correlação não seja elevada, o comportamento conjunto das variáveis aponta para uma interação consistente entre o desenvolvimento de tonalidades amarelas e a evolução da absorvância no domínio do amarelecimento, especialmente ao longo da tomada de espuma. Esses achados reforçam que alterações espectrofotométricas em 420 nm podem refletir, ainda que de forma moderada, mudanças perceptíveis na dimensão  $b^*$  do espaço CIELAB.

A correlação entre a absorvância a 520 nm e o parâmetro cromático  $a^*$  apresentou um coeficiente de Pearson de aproximadamente 0,69, indicando uma correlação positiva moderada a forte entre essas variáveis. Esse resultado sugere que aumentos na absorvância na região de 520 nm — típica da contribuição dos pigmentos responsáveis pelas tonalidades rosadas e avermelhadas — tendem a refletir incrementos proporcionais no parâmetro  $a^*$ , associado ao eixo vermelho-verde no espaço CIELAB. Assim, a evolução espectrofotométrica em 520 nm acompanha de maneira consistente as variações em  $a^*$ , reforçando a interpretação de que a intensidade da coloração rosada do espumante responde diretamente às mudanças na absorção óptica nessa faixa do visível, especialmente ao longo da tomada de espuma.

A relação entre a absorvância a 420 nm e a coordenada  $b^*$  apresentou um ajuste linear descrito pela equação  $b^* = 10,612x + 6,3522$ , com coeficiente de determinação  $R^2 = 0,2077$ . Esse valor indica que apenas cerca de  $0,456=45,6\%$  da variação observada em  $b^*$  é explicada pela absorvância nessa faixa espectral, evidenciando uma associação fraca a moderada entre as variáveis. Tal

comportamento é coerente com a dinâmica do amarelecimento em espumantes rosés, uma vez que a evolução de  $b^*$  resulta de múltiplos fatores, incluindo oxidação, copigmentação e transformações fenólicas, nem sempre diretamente refletidos na absorbância isolada de 420 nm. Ainda assim, a tendência positiva observada confirma que aumentos no componente amarelo do espaço CIELAB acompanham, em alguma medida, o incremento da absorção na região associada ao escurecimento oxidativo, reforçando a complementaridade entre as técnicas espectrofotométrica e colorimétrica no monitoramento da cor.

De forma mais consistente, a relação entre a absorbância a 520 nm e a coordenada  $a^*$  resultou na equação de regressão  $a^* = 40,824x + 5,9602$ , com coeficiente de determinação  $R^2 = 0,4723$ . Esse resultado demonstra que aproximadamente 68,7% da variabilidade de  $a^*$  é explicada pelas mudanças na absorbância nessa região do espectro, indicando uma correlação moderada a forte. A 520 nm localizam-se as bandas de absorção características dos pigmentos responsáveis pelas tonalidades rosadas e avermelhadas, razão pela qual o aumento da absorbância nessa faixa acompanha diretamente a intensificação de  $a^*$ . Assim, a coerência entre o comportamento espectrofotométrico e as variações perceptíveis no eixo vermelho-verde do espaço CIELAB reforça a relevância dessa métrica para compreender a evolução cromática dos espumantes rosés ao longo da tomada de espuma, especialmente no que se refere à estabilidade e extração dos pigmentos.

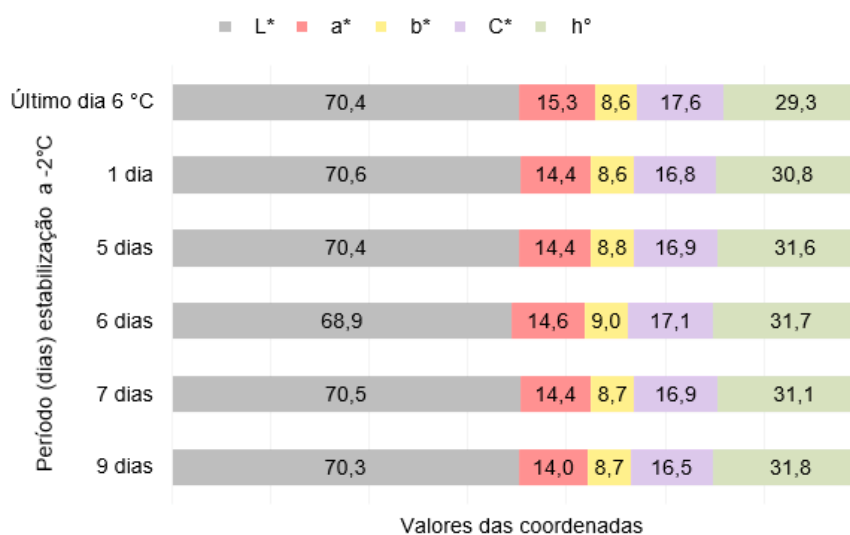
#### 8.4 Estabilização

A estabilização a frio é um processo essencial na produção de espumantes, utilizado principalmente para prevenir a precipitação de cristais de bitartarato de potássio ( $KC_4H_5O_6$ ) após o engarrafamento. Essa precipitação, embora não represente risco à saúde, pode ser indesejável do ponto de vista estético e comercial, comprometendo a limpidez e a aparência do produto final (RANKINE, 1989). Durante a estabilização, o vinho é resfriado a temperaturas próximas de  $-2\text{ }^\circ\text{C}$  por um período determinado, promovendo a formação e posterior remoção desses

cristais antes da tomada de espuma ou do envase. Tal procedimento é especialmente importante em espumantes, cuja apresentação visual é parte crucial da experiência sensorial do consumidor.

A análise foi concentrada nos dez primeiros dias da estabilização a frio por se tratar do período mais crítico em termos de transformação bioquímica e variação físico-química, especialmente no que diz respeito à evolução da cor e à atividade das leveduras. Nesse intervalo inicial, ocorrem alterações mais intensas e dinâmicas nos parâmetros cromáticos, o que justifica o foco analítico nessa fase. Além disso, a escolha visou otimizar o uso de recursos laboratoriais, garantindo a obtenção de dados relevantes sem comprometer a qualidade e a confiabilidade das análises (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006).

Durante o período de estabilização a frio, as coordenadas cromáticas CIELCH ( $L^*$ ,  $C^*$  e  $h^\circ$ ) do espumante rosé apresentaram variações sutis, mas coerentes com o comportamento esperado segundo a literatura enológica, Figura 35:



**Figura 35:** Evolução das coordenadas de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , Cromo -  $C^*$ ,  $h^\circ$ ) na estabilização a -2°C

A luminosidade ( $L^*$ ) manteve-se praticamente constante, oscilando entre 70,3 e 70,6, com uma ligeira queda pontual no sexto dia (68,9), o que indica que a

claridade do produto não foi significativamente afetada pela baixa temperatura. A coordenada de croma ( $C^*$ ), variou entre 16,5 e 17,6, com uma leve redução nos primeiros dias de estabilização e pequena recuperação no final. Essa oscilação pode estar associada à precipitação de compostos fenólicos instáveis ou à formação de complexos com proteínas, fenômenos relatados como comuns durante o resfriamento prolongado (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006; GÓMEZ-MÍGUEZ *et al.*, 2007). Já a coordenada de matiz ( $h^\circ$ ) apresentou um aumento gradual ao longo do tempo, passando de  $29,3^\circ$  (antes da estabilização) para  $31,8^\circ$  no nono dia, sugerindo uma leve alteração no tom da cor em direção a nuances mais alaranjadas. Essa mudança pode estar relacionada à transformação de antocianinas livres em pigmentos condensados ou levemente oxidados, mesmo em ambiente de baixa temperatura (HE *et al.*, 2012). No conjunto, as variações observadas indicam que a estabilização a frio promove alterações discretas e previsíveis no perfil cromático do espumante, sem comprometer sua qualidade visual, o que está de acordo com o esperado para essa etapa do processo tecnológico (MARTÍNEZ-LAPUENTE *et al.*, 2013).

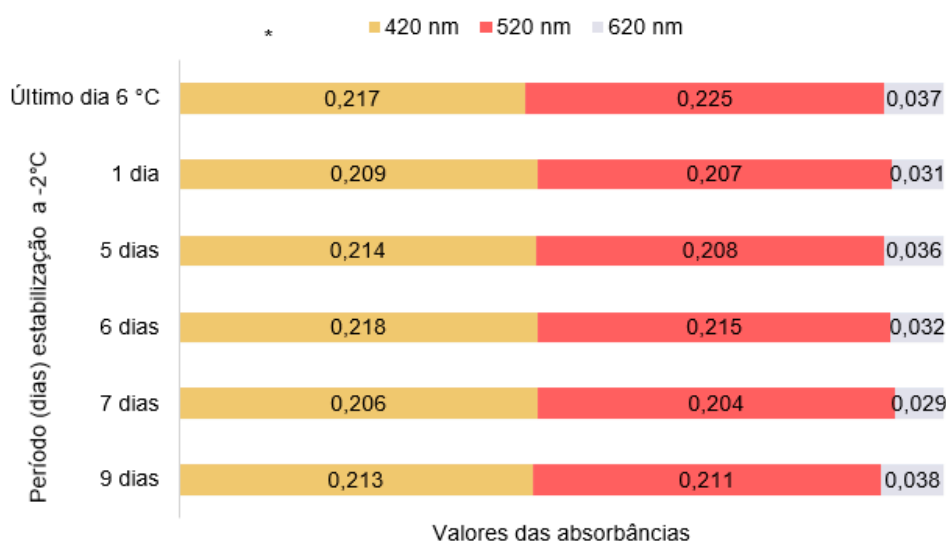
Durante o período de estabilização a frio a  $-2^\circ\text{C}$ , foi possível observar correlações importantes entre as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  e as absorvâncias espectrofotométricas em 520 e 420 nm, respectivamente (Figura 33). A coordenada  $a^*$ , apresentou redução progressiva, passando de 15,3 no último dia a  $6^\circ\text{C}$  para 14,0 no nono dia de estabilização. Essa tendência foi acompanhada por uma diminuição concomitante na absorvância a 520 nm (de 0,225 para 0,211), indicando uma provável perda de compostos corantes do grupo das antocianinas ou pigmentos copigmentados, principais responsáveis pela coloração vermelha em vinhos rosés (HE *et al.*, 2012; RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006).

Esse comportamento é coerente com a literatura, que aponta que a exposição a temperaturas negativas pode induzir a precipitação de sais de bitartarato de potássio, os quais, ao se cristalizarem, podem arrastar consigo pigmentos fenólicos em suspensão, especialmente os de menor estabilidade coloidal (ZOECKLEIN *et al.*, 1995; MANNS *et al.*, 2015). Além disso, a diminuição da atividade das leveduras e

de enzimas oxidativas durante o frio reduz o potencial de regeneração de pigmentos copigmentados, favorecendo a perda de coloração ao longo do tempo.

A coordenada  $b^*$ , por sua vez, oscilou de forma menos expressiva (entre 8,6 e 9,0), mantendo-se relativamente estável ao longo dos nove dias analisados. Essa leve variação acompanhou, de maneira proporcional, às flutuações na absorbância a 420 nm, que variou entre 0,217 e 0,213. A estabilidade desses valores sugere que não houve avanço significativo nos processos oxidativos durante a estabilização a frio — o que era esperado, já que a baixa temperatura inibe reações enzimáticas e químicas que levariam à formação de pigmentos amarelos (GÓMEZ-MÍGUEZ *et al.*, 2007; MARTÍNEZ-LAPUENTE *et al.*, 2013).

Um esclarecimento entre as variáveis sugere que a redução na coordenada  $a^*$  e na absorção a 520 nm, sem aumento na coordenada  $b^*$  ou na absorção a 420 nm, indica que os pigmentos vermelhos estão sendo removidos, possivelmente por variações, e não convertidos em compostos oxidados amarelos. Isso significa que a mudança visual percebida é um leve desbotamento da cor rosada original, refletido pelo aumento na coordenação  $h^\circ$  no gráfico anterior.



**Figura 36:** Evolução das absorbâncias (420, 520 e 620 nm) na estabilização a -2°C

Portanto, a análise conjunta das coordenadas CIELAB e das absorvâncias UV-Vis permite concluir que, durante a estabilização a frio, ocorre uma discreta perda de compostos corantes vermelhos, sem incremento de pigmentos oxidados, mantendo o equilíbrio tonal do espumante. Essa estabilidade cromática, mesmo com variações mínimas, é desejável na produção de espumantes rosés, cuja coloração atrativa é um atributo sensorial fundamental para aceitação comercial.

A análise da relação entre o parâmetro cromático  $a^*$  e a absorvância em 520 nm revelou uma correlação negativa fraca entre as variáveis, com  $r = -0,4316$ , indicando que aumentos na absorvância tendem a estar associados a reduções moderadas nos valores de  $a^*$ . O modelo linear ajustado apresentou  $R^2 = 0,1863$ , evidenciando que aproximadamente 43,2% da variação observada em  $a^*$  pode ser explicada pela absorvância nessa faixa espectral, o que aponta para uma relação de baixa intensidade, mas ainda relevante na interpretação do comportamento cromático da amostra. A equação da reta obtida foi  $a^* = -58,07 \cdot \text{Abs}_{520} + 27,18$ , descrevendo a tendência geral de diminuição de  $a^*$  em função do aumento da densidade óptica a 520 nm. Esses resultados reforçam que, embora exista associação entre os parâmetros, outros fatores provavelmente também influenciam a variação de  $a^*$ , exigindo análises complementares para uma compreensão mais aprofundada do sistema.

A análise da relação entre a coordenada  $b^*$  e a absorvância em 420 nm revelou uma tendência positiva moderada entre as variáveis. A regressão linear ajustada resultou na equação  $y = 0,01441 \cdot x + 0,08697$ , com coeficiente de correlação  $r = 0,617$  e coeficiente de determinação  $R^2 = 0,381$ . Esses valores indicam que aproximadamente 61,7% da variação na absorvância a 420 nm pode ser explicada pelas mudanças na coordenada  $b^*$ , sugerindo que pequenas variações na tonalidade amarela estão associadas ao aumento da absorvância nessa região espectral.

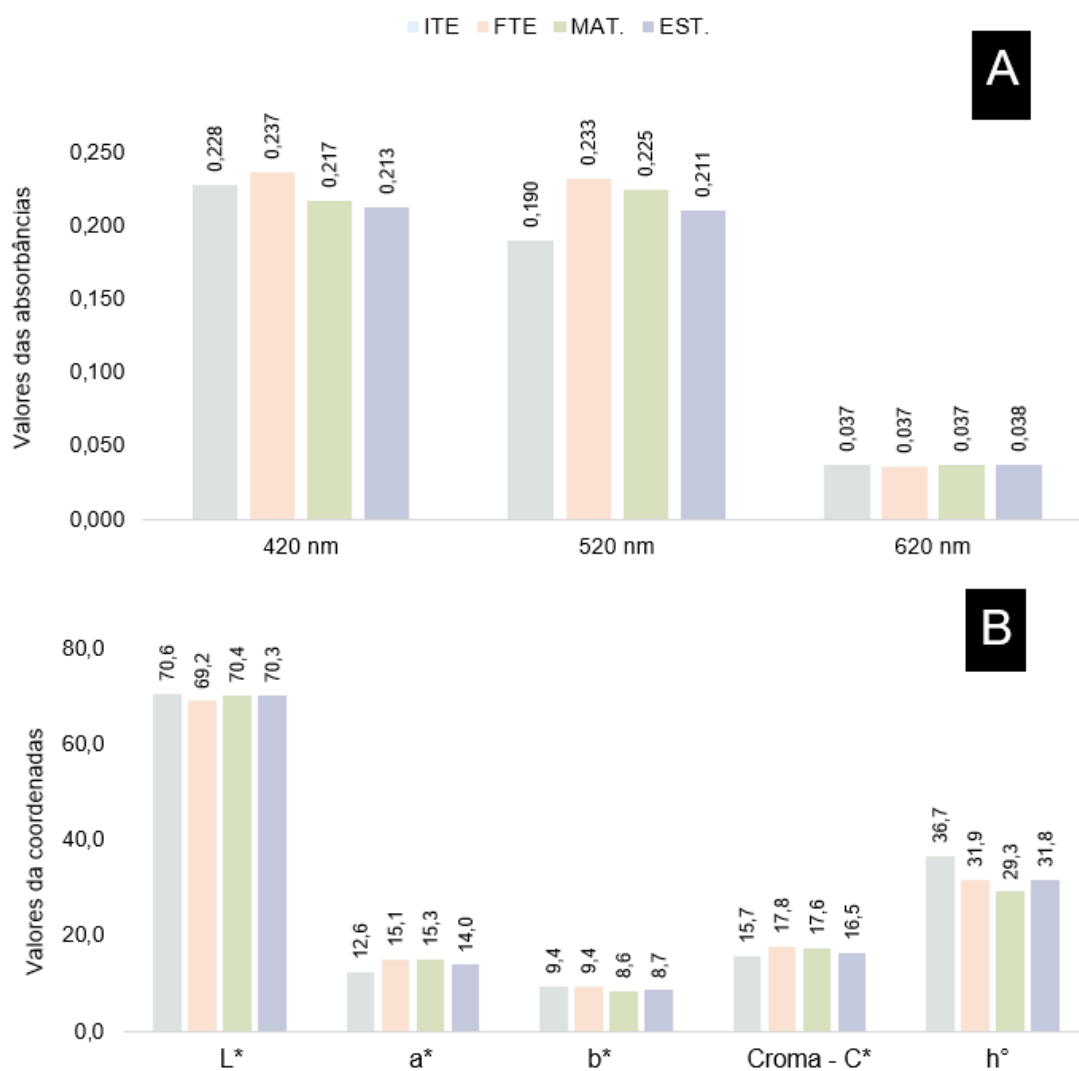
Embora a correlação seja moderada, ela reforça o papel da componente  $b^*$  na caracterização do escurecimento suave observado durante processos

enológicos, especialmente quando relacionados à oxidação ou evolução cromática do produto. No entanto, o valor de  $R^2$  também evidencia que outros fatores físico-químicos não avaliados neste conjunto de dados contribuem de maneira significativa para a variabilidade da absorvância.

## 8.5 PANORAMA GERAL

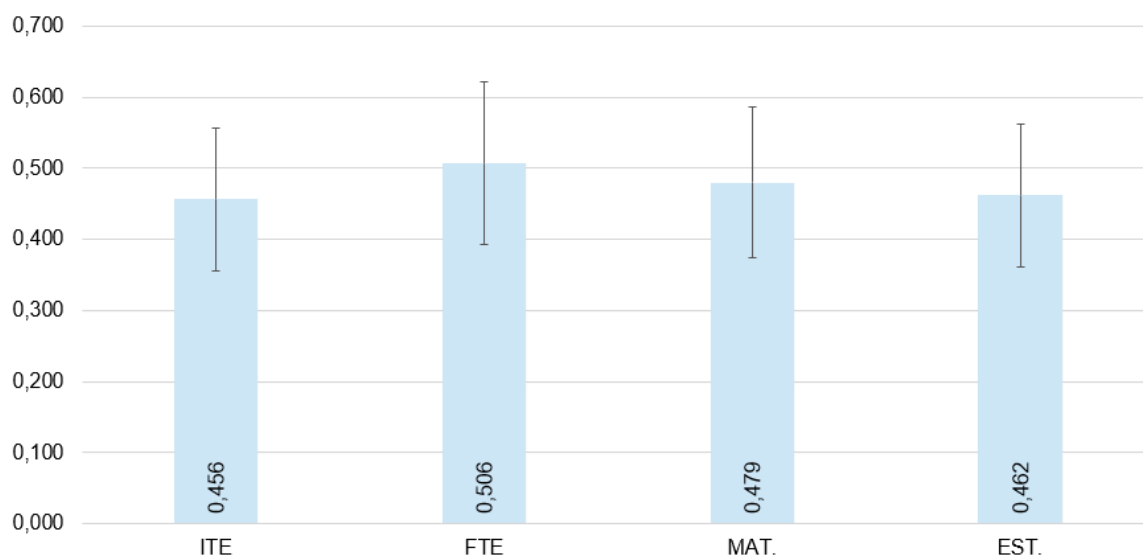
A análise das coordenadas CIELAB evidencia que a luminosidade manteve-se elevada e constante, sugerindo que o produto preservou o brilho característico associado à tipicidade de espumantes rosés. A coordenada  $a^*$  apresentou estabilidade ao longo de todas as fases, confirmando a manutenção do componente vermelho, enquanto a coordenada  $b^*$  permaneceu em níveis reduzidos, indicando discreta contribuição de tonalidades amareladas. O croma ( $C^*$ ) apresentou estabilidade, confirmando a persistência da saturação da cor, aspecto essencial para a atratividade visual e tipicidade do estilo rosé. Já o ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ) manteve-se dentro da faixa característica de vinhos rosados, sem tendência a deslocamentos para regiões associadas a oxidação (valores mais altos, próximos de tons alaranjados) ou a instabilidade pigmentária (valores mais baixos, próximos ao roxo). Esses resultados sugerem que o processo de elaboração pelo método Charmat proporcionou um equilíbrio adequado entre intensidade e tonalidade da cor, favorecendo sua estabilidade cromática, Figura 37. A análise espectrofotométrica complementa essas observações. Os valores de absorvância em 420 nm permaneceram constantes, indicando baixa influência de processos oxidativos; em 520 nm, observou-se a preservação da intensidade típica de antocianinas, responsável pela coloração rosada; e em 620 nm, os valores baixos confirmaram a ausência de evolução para pigmentos poliméricos associados a envelhecimento prolongado.

De forma integrada, os resultados apontam para a manutenção da identidade cromática do espumante rosé ao longo das diferentes etapas de elaboração, assegurando tanto a intensidade visual quanto a estabilidade da tonalidade, atributos essenciais para sua aceitação sensorial e valorização comercial.



**Figura 37:** Panorama geral da tomada de espuma, maturação e estabilização (ITE = início de tomada de espuma; FTE = fim de tomada de espuma; MAT; = maturação a 6°C ; EST = estabilização a frio)

O índice corante (IC) é um parâmetro associado diretamente à fração de pigmentos responsáveis pela tonalidade vermelha, especialmente as antocianinas livres e em formas parcialmente estabilizadas, sendo, portanto, um marcador importante da intensidade cromática característica dos vinhos rosés. A Figura 38, mostra os resultados deste parâmetro a partir das análises do experimento:



**Figura 38:** Intensidade corante (IC) do espumante rosé nas diferentes etapas do processo (ITE - início de tomada de espuma, FTE - fim de tomada de espuma, MAT. - maturação a 6°C e EST. - estabilização a -2°C). As barras representam os valores médios e as barras de erro indicam a variação experimental entre repetições analíticas.

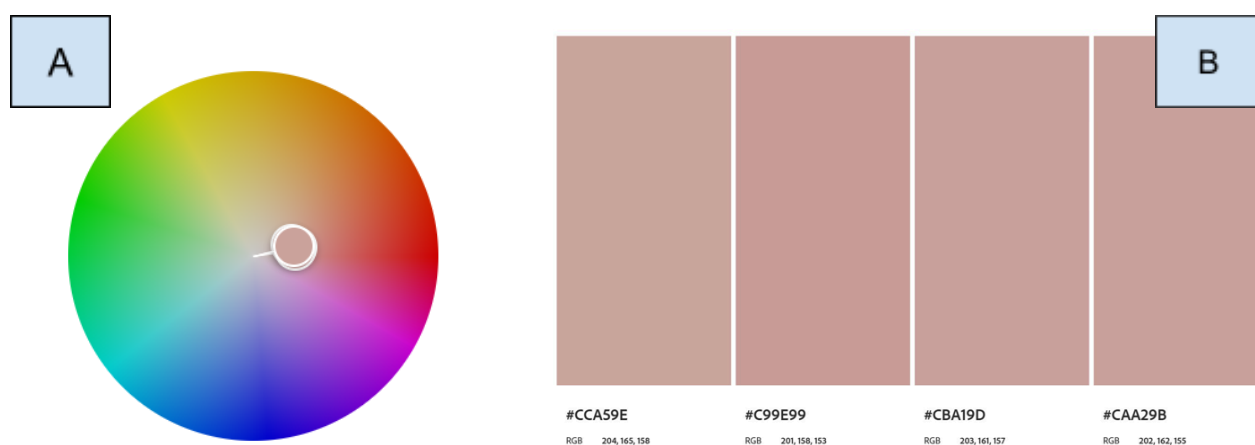
No espumante avaliado, o IC apresentou incremento do vinho base (ITE) até o final da tomada de espuma (FTE), o que reflete o aumento da contribuição das antocianinas em meio pressurizado e em ambiente de baixa disponibilidade de oxigênio. Esse comportamento pode estar relacionado à maior estabilidade da forma catiônica das antocianinas durante a fermentação e à liberação adicional de pigmentos residuais associados às leveduras (WATERHOUSE *et al.*, 2016; RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006).

Na etapa de maturação (MAT), observou-se uma redução discreta do IC, indicando o início da transformação das antocianinas monoméricas em pigmentos mais estáveis, como piranoantocianinas e polímeros, além de eventual precipitação de frações instáveis (HE *et al.*, 2012; FERNANDES *et al.*, 2017). Essa tendência manteve-se até a estabilização a frio (EST), etapa em que o índice corante se

apresentou inferior ao pico observado no final da tomada de espuma, mas ainda preservando a tonalidade rosada e a intensidade visual desejável para o produto final.

De maneira geral, a evolução do índice corante ao longo do processo confirma que a tomada de espuma constituiu a fase de maior expressão cromática, enquanto a maturação e a estabilização subsequente promovem um ajuste natural, favorecendo a estabilização do perfil de cor sem perdas drásticas na intensidade característica do espumante rosé.

Abaixo são apresentadas as Figuras 39:A e 39:B, que representam as formas visuais de ITE, FTE, MAT e EST. Os valores das amostras foram convertidos em RGB, a partir das coordenadas  $L^*a^*b^*$ , e aplicados de maneira online para montar o posicionamento dos pontos e a paleta de cores. Percebe-se uma sutil diferença entre as etapas do processo na representação das cores, entretanto no círculo global isso passa despercebido.



**Figura 39:** a) ciclo global com o posicionamento das cores das etapas de elaboração; b) paleta de cores com as etapas do processo de elaboração

As absorvâncias a 420, 520 e 620 nm apresentaram variações discretas entre as etapas, com médias de 0,2238; 0,2148 e 0,0373, respectivamente. A região de 520 nm, associada predominantemente, foi a que demonstrou maior amplitude entre

as etapas (0,190 a 0,233). Por outro lado, 420 nm apresentou variação moderada, com valores relativamente próximos entre si (0,213 a 0,237). Essa estabilidade sugere menor influência do processo nas frações mais amareladas ou oxidativas da matriz. Já 620 nm permaneceu praticamente invariável (0,037–0,038), revelando que a contribuição dos tons violáceos é mínima neste espumante e não se altera ao longo das etapas. Em análises estatísticas formais, essa faixa espectral apresentaria ausência de significância.

As coordenadas colorimétricas reforçam o comportamento estável de grande parte dos atributos da cor. A luminosidade ( $L^*$ ) variou pouco entre as etapas (69,2 a 70,6), indicando que o espumante manteve seu brilho e intensidade luminosa ao longo do processo. Em contexto estatístico, essa baixa dispersão levaria a resultados não significativos em uma ANOVA.

A coordenada  $a^*$  (12,6 a 15,3), que representa a intensidade dos tons vermelhos, foi mais sensível às etapas intermediárias, sobretudo FTE e MAT. As coordenadas  $b^*$  (8,6 a 9,4) e Cromo  $C^*$  (15,7 a 17,8) permaneceram relativamente estáveis, mostrando pequenas oscilações que não configurariam significância estatística em uma análise inferencial. Isso reforça que a evolução cromática do produto não esteve relacionada à intensidade dos tons amarelados nem ao aumento expressivo da saturação da cor.

A maior variação entre as coordenadas foi observada no ângulo de matiz ( $h^\circ$ ), que reduziu de  $36,7^\circ$  (ITE) para  $29,3^\circ$  (MAT). Essa redução indica uma modificação perceptível do matiz ao longo do processo, sugerindo deslocamento para tonalidades mais rosadas e menos alaranjadas. Em um cenário com replicação, o  $h^\circ$  seria o principal candidato a apresentar significância estatística em ANOVA e testes t entre etapas, corroborando sua sensibilidade na caracterização de vinhos rosés.

Embora a ausência de replicação impeça a realização de inferências estatísticas formais, a análise conjunta dos parâmetros revela que: (1) As mudanças cromáticas ao longo do processo são sutis, porém consistentes, concentradas principalmente no matiz ( $h^\circ$ ) e na intensidade do vermelho ( $a^*$ ). (2) As absorvâncias

em 520 nm refletem de forma clara o comportamento observado em  $a^*$ , confirmando que essa faixa espectral é a mais representativa das mudanças de cor do espumante rosé. (3) Parâmetros como  $L^*$ ,  $b^*$ , Croma  $C^*$  e a absorvância em 620 nm mantiveram-se estáveis, indicando que o processo não alterou significativamente luminosidade, saturação e componentes violáceos.

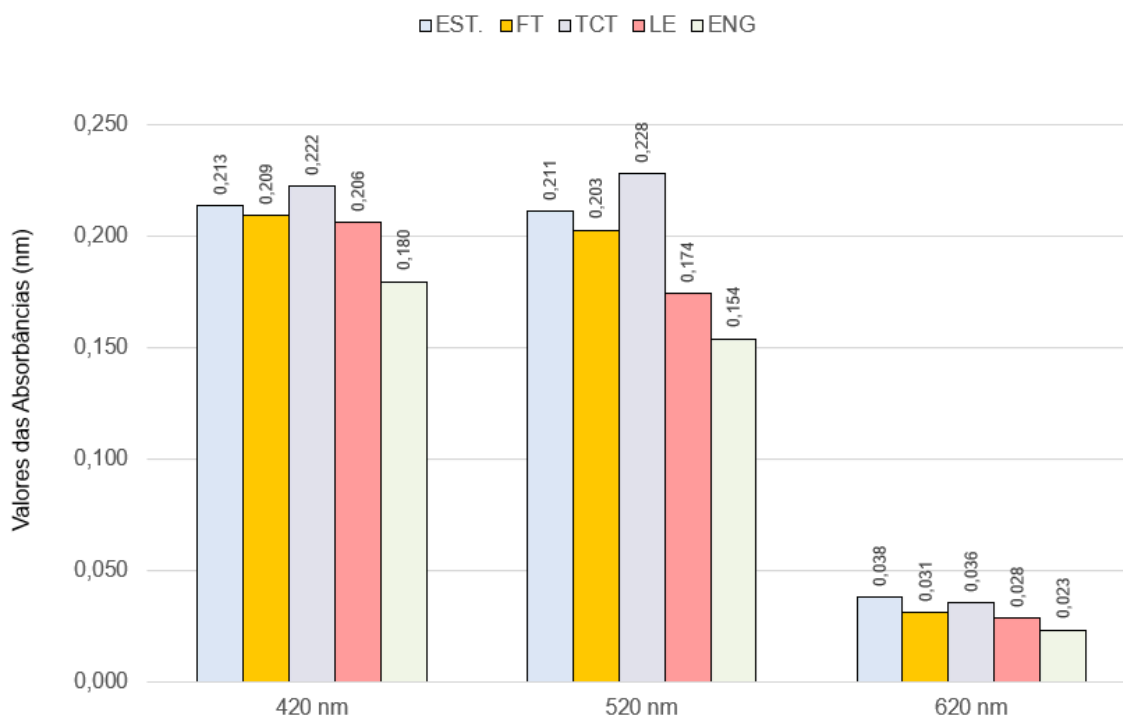
#### 8.6 Preparo para Engarrafamento: filtração tangencial, adição de vinho tinto e licor de expedição

A filtração tangencial é uma técnica de clarificação avançada que utiliza membranas semipermeáveis e fluxo cruzado, permitindo a separação de partículas sólidas do vinho sem saturar o meio filtrante, resultando em maior eficiência, menor perda de produto e preservação dos compostos sensoriais (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006). Já o licor de expedição, adicionado ao final do processo de elaboração do espumante, é tradicionalmente composto por açúcar,  $SO_2$  e, em alguns casos, vinhos de base, sendo essencial para o ajuste do perfil sensorial, doçura e estabilidade microbiológica do produto (JACKSON, 2014). No presente estudo, por decisão da vinícola, optou-se por enriquecer o licor de expedição com uma porcentagem de vinho tinto, além dos componentes convencionais, com o objetivo de reforçar a coloração rosada e aprimorar o equilíbrio visual do espumante rosé. Antes da aplicação definitiva, foi conduzido um teste preliminar (TCT) para determinar a proporção ideal de vinho tinto a ser utilizada, visando alcançar a tonalidade desejada sem comprometer o perfil organoléptico do produto final.

Os dados apresentados nas Figuras 40 e 41 ilustram mudanças com base nas coordenadas de cor CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , Croma  $C^*$ ,  $h^\circ$ ) e absorvâncias espectrais ( $A_{420}$  e  $A_{520}$ ) nas etapas finais do processo: filtração tangencial (FT), teste de correção com tinto (TCT), adição do licor de expedição (LE) e engarrafamento (ENG), comparando com os dados de estabilização a frio.

Inicialmente, as coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  mantêm-se relativamente estáveis entre a estabilização e a filtração tangencial, sugerindo que os processos físicos de clarificação não alteraram significativamente a matriz cromática do produto. Contudo, após o teste de correção com tinto (TCT), observa-se um aumento nos valores de  $a^*$  (15,0) e da absorvância a 520 nm ( $A_{520} = 0,228$ ), evidenciando a incorporação de pigmentos antocianícos. Essa resposta é coerente com a literatura, que aponta a adição de vinho tinto como determinante na definição da cor final de espumantes rosés (MORATA *et al.*, 2019). No entanto, é importante considerar que a estabilidade da cor a partir dessa etapa depende da natureza dos pigmentos adicionados. Antocianinas monoméricas, por exemplo, são altamente suscetíveis à oxidação e à ação do  $SO_2$ , conforme descrito por Fernandes *et al.* (2017), podendo levar à perda precoce de intensidade cromática nas etapas subsequentes.

Após a adição do licor de expedição (LE), observou-se uma queda significativa na coordenada  $a^*$  (12,4) e na absorvância  $A_{520}$  (0,174), acompanhada por um aumento expressivo no teor de  $SO_2$  livre (33,31 mg/L). Esse fenômeno pode ser atribuído tanto à diluição dos pigmentos pelo volume do licor quanto à ação do  $SO_2$ , que reage com as antocianinas livres formando adutos sulfitados incolores. Esse processo é reversível e depende do pH do meio, podendo ser revertido por adição de ácido ou oxidação (CHENG *et al.*, 2023). A presença de  $SO_2$  também influencia a estabilidade dos pigmentos por reduzir as formas oxidáveis e modificar a estrutura das antocianinas, especialmente em meios com pH ácido, como os dos espumantes. De fato, JURD (2006) destacam que o equilíbrio entre as formas flavylium (coloridas) e as formas sulfitadas (incolores) é altamente dependente do pH e da concentração de  $SO_2$ .

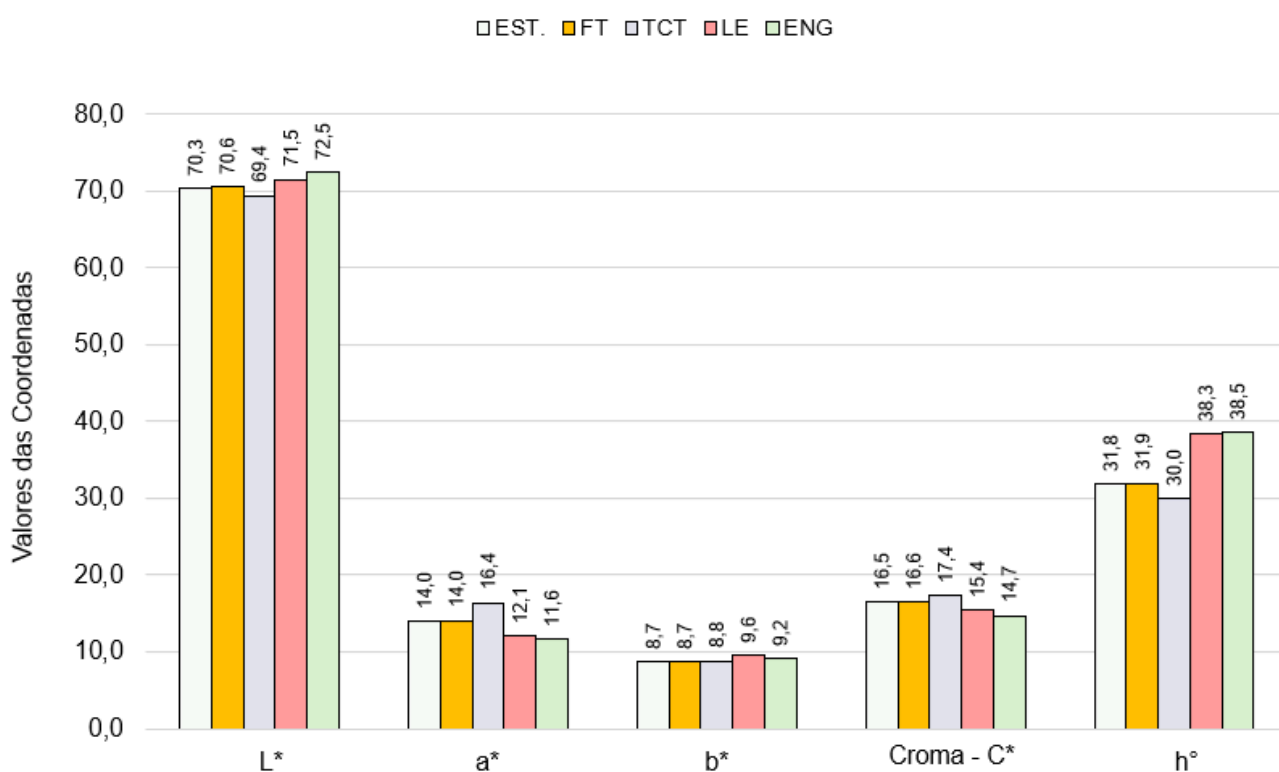


**Figura 40:** Evolução das absorvâncias nas etapas finais do processo de elaboração (EST = último dia a -2°C; FT = após a filtração tangencial; TCT = teste de correção de tinto; LE = após licor de expedição; ENG = durante o engarrafamento)

A coordenada  $b^*$ , manteve-se estável até a etapa de licor de expedição, mas apresenta um aumento considerável no LE(9,6), indicando possível formação de compostos oxidativos, conforme sugerido por Zoecklein *et al.* (2005). Simultaneamente, a coordenada  $L^*$ , que representa a luminosidade, mostra uma leve elevação contínua ao longo do processo, indo de 70,3 na estabilização a frio para 72,5 no engarrafamento, o que reflete maior claridade no produto final — consequência da clarificação física (FT), da ação do  $SO_2$  (LE) e da estabilização coloidal promovida pelas etapas posteriores.

A absorvância a 420 nm, diminui gradualmente do início até o engarrafamento. Essa tendência sugere que o controle oxidativo exercido pelo  $SO_2$  após o LE foi eficaz em evitar o escurecimento do produto, como discutido por Giusti *et al.* (2003). Contudo, o aumento do ângulo de matiz ( $h^\circ$ ), de 31,8 para 38,5, evidencia uma mudança significativa na tonalidade do vinho, com deslocamento do

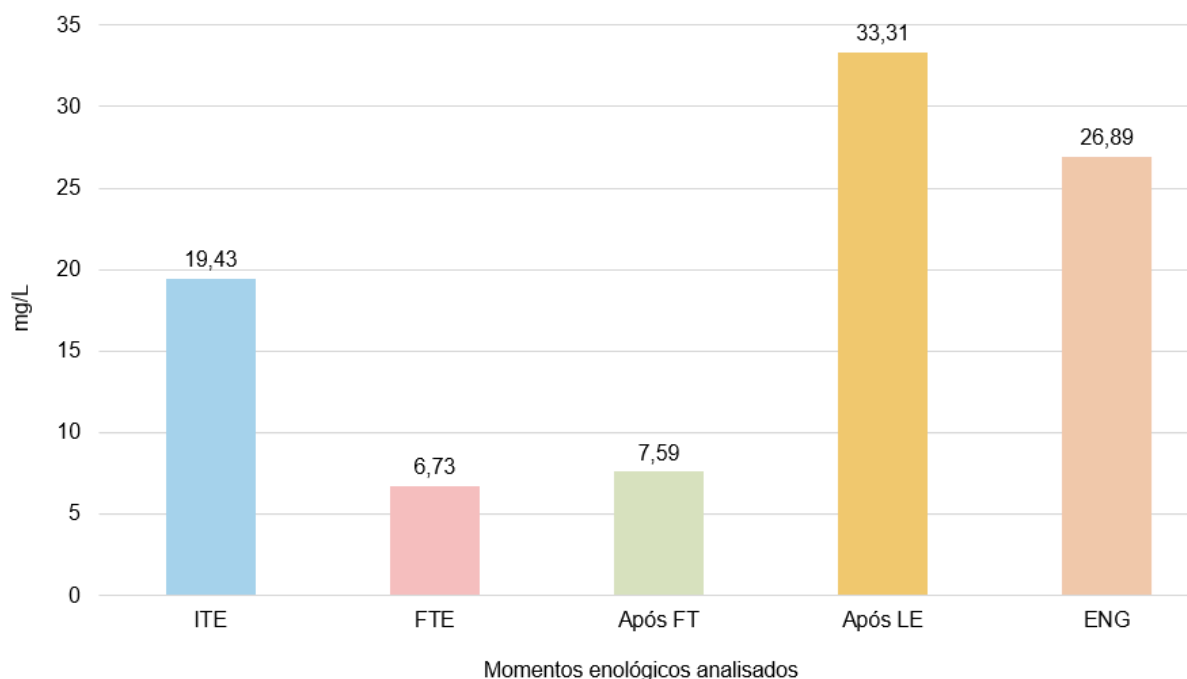
rosa para nuances alaranjadas, particularmente após a adição do licor de expedição (LE) e durante o engarrafamento. Esse comportamento está em concordância com estudos recentes, que relacionam a elevação de  $h^*$  ao envelhecimento oxidativo e à modificação estrutural das antocianinas, fenômenos frequentemente acelerados em vinhos com menor potencial de copigmentação (CHENG *et al.*, 2023).



**Figura 41:** Evolução das coordenadas nos processos finais do processo de elaboração (EST = último dia a -2°C; FT = após a filtração tangencial; TCT = teste de correção de tinto; LE = após licor de expedição; ENG = durante o engarrafamento)

O croma (C\*) atinge seu valor máximo em TCT (17,4), coerente com a adição de vinho tinto. Em seguida, há uma redução em LE e ENG, acompanhando a queda de a\* e  $A_{520}$ . Esse padrão confirma que, embora a adição de antocianinas aumente temporariamente a intensidade da cor, sua estabilidade é afetada pela interação com  $SO_2$  e pela precipitação dos pigmentos durante a estabilização. Mazauric e Salmon (2006) destacam que a presença de leveduras mortas e de compostos oriundos da

autólise pode contribuir para a perda de cor, pois muitos desses componentes têm afinidade com pigmentos e podem removê-los da fase coloidal do vinho.



**Figura 42:** Acompanhamento do SO<sub>2</sub> Livre durante as etapas do processo de elaboração (ITE = início de tomada de espuma; FTE = fim de tomada de espuma; FT = após a filtração tangencial; LE = após licor de expedição; ENG = engarrafamento)

Por fim, a tendência de aumento dos valores de  $h^*$  e  $b^*$  nas etapas finais reforça uma preocupação prática: a coloração do espumante pode migrar para tons alaranjados indesejáveis, comprometendo a tipicidade visual do produto. Waterhouse *et al.* (2016) descrevem que esse comportamento pode ser acelerado por reações de oxidação tardia, pela presença de açúcares residuais no licor, exigindo estratégias adicionais de controle. Nesse sentido, o uso de pigmentos mais estáveis na correção com tinto, a moderação no uso de SO<sub>2</sub> no LE, e a consideração de coadjuvantes tecnológicos — como taninos condensados ou estabilizantes de cor — poderiam auxiliar na manutenção da tonalidade ideal.

Assim, os dados obtidos revelam que o comportamento da cor em espumantes rosés ao longo do processo de elaboração é altamente influenciado pela adição de SO<sub>2</sub>, pela natureza dos pigmentos incorporados e pelas etapas

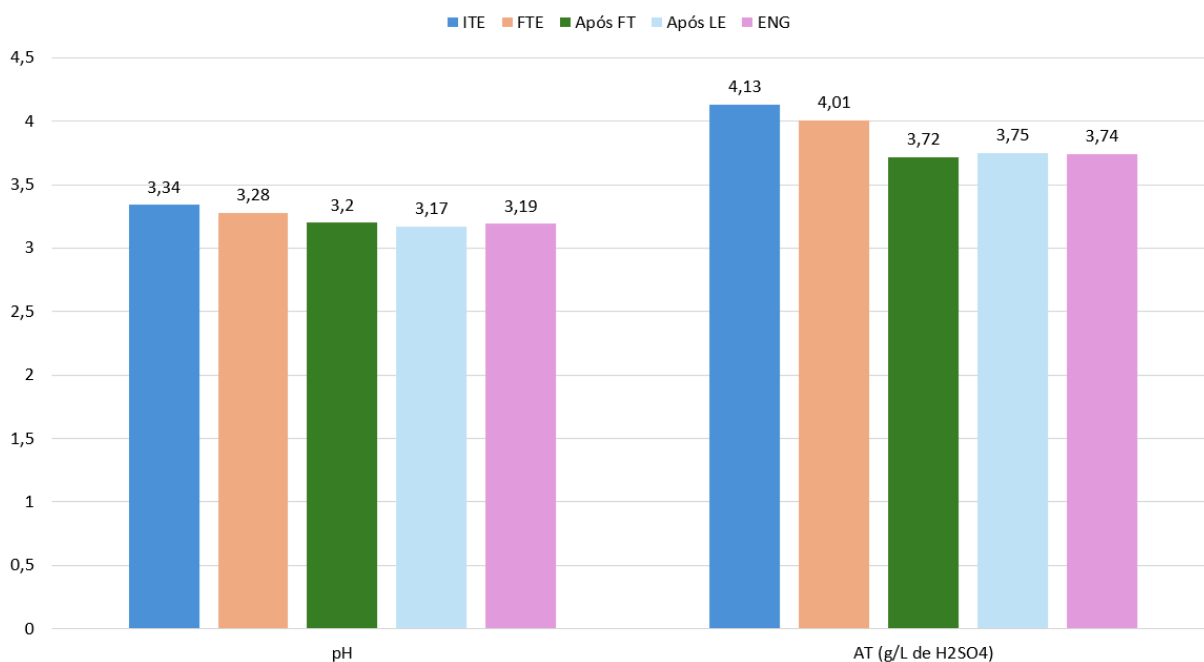
físico-químicas envolvidas. O monitoramento contínuo de variáveis como  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , A420, A520 e  $SO_2$  livre, associado ao conhecimento técnico das transformações enológicas, é fundamental para garantir a estabilidade e a qualidade estética do produto final.

### 8.7 Acidez total e pH

Durante a segunda fermentação, a redução observada tanto na acidez total quanto no pH pode ser interpretada como consequência direta da dinâmica metabólica das leveduras e do equilíbrio químico do sistema. Durante esse estágio, microrganismos convertem açúcares residuais não apenas em etanol e  $CO_2$ , mas também em metabólitos secundários capazes de modificar o perfil ácido do vinho, incluindo ácidos orgânicos e compostos tamponantes, o que pode resultar em pequenas variações no pH e na acidez titulável ao longo do processo (BARTSCH *et al.*, 2019).

Além disso, a dissolução progressiva do dióxido de carbono no meio líquido contribui para a formação de ácido carbônico, alterando temporariamente o equilíbrio ácido-base da matriz e influenciando a acidez percebida sem necessariamente provocar grandes alterações estruturais na composição total de ácidos. Paralelamente, a autólise inicial das leveduras libera macromoléculas, como polissacarídeos e proteínas, que interagem com constituintes do vinho e podem afetar propriedades coloidais e de estabilidade, refletindo indiretamente no comportamento químico global do sistema (AGUIÉ-BEGHIN *et al.*, 2019).

Esse conjunto de fenômenos evidencia que, mesmo quando as variações numéricas são discretas, elas são coerentes com os mecanismos bioquímicos e físico-químicos esperados durante a fermentação secundária em espumantes. Assim, a tendência de leve redução observada para AT e pH não deve ser interpretada como simples flutuação analítica, mas sim como resultado integrado das reações metabólicas, das trocas gasosas e das interações coloidais típicas desse estágio tecnológico.



**Figura 43:** Análises de AT e pH durante o processo de elaboração do espumante deste experimento ((ITE = início de tomada de espuma; FTE = fim de tomada de espuma; FT = após a filtração tangencial; LE = após licor de expedição; ENG = engarrafamento)

Entre o fim da tomada de espuma e a filtração tangencial, o espumante foi submetido a um período de estabilização a frio, prática comum na enologia para promover a precipitação de sais de ácidos orgânicos, especialmente bitartarato de potássio. Essa etapa pode explicar a redução observada na AT (3,72 g/L) e no pH (3,20), uma vez que a precipitação do bitartarato de potássio remove ácido tartárico livre da matriz líquida, contribuindo para a diminuição da acidez total. Embora a tendência esperada fosse o aumento do pH, a cristalização de sais pode provocar rearranjos iônicos e liberação de prótons livres, o que em alguns casos resulta na diminuição do pH, conforme relatado na literatura (WATERHOUSE *et al.*, 2016).

Após a filtração tangencial, foi realizada a adição do licor de expedição, composto apenas por sacarose, sem adição de ácidos. Ainda assim, observou-se um pequeno aumento da AT (3,75 g/L) e uma discreta redução no pH (3,17). Essa variação pode ser atribuída a alterações no equilíbrio ácido-base provocadas pela

adição de açúcar, à presença de CO<sub>2</sub> dissolvido ou à variação analítica dentro de limites aceitáveis, uma vez que não houve interferência direta de ácidos no sistema (JACKSON, 2014).

Por fim, no momento do engarrafamento, os parâmetros mostraram-se estáveis, com AT de 3,74 g/L e pH de 3,19. A leve elevação do pH pode decorrer da homogeneização do vinho, liberação de CO<sub>2</sub> residual ou rearranjos coloidais, frequentemente observados nas fases finais de elaboração (RIBÉREAU-GAYON *et al.*, 2006).

De modo geral, as oscilações observadas ao longo do processo foram discretas e coerentes com os procedimentos enológicos empregados, mantendo-se os valores dentro de faixas adequadas para espumantes rosés, garantindo acidez equilibrada, frescor sensorial e estabilidade microbiológica (BOULTON *et al.*, 1996; JACKSON, 2014).

## 8. 8 VISUALIZAÇÃO DA TRAJETÓRIA DE COR AO LONGO DA ELABORAÇÃO DO ESPUMANTE ROSÉ

A Figura 44 mostra como a cor do espumante rosé muda ao longo do processo de produção. Essas mudanças foram medidas com base no sistema de cor CIELAB, que transforma o que vemos em números. Esses parâmetros foram medidos em diferentes etapas do processo (como ITE, FTE, MAT, TCT, LE, ENG), que correspondem a momentos desde o vinho-base até o espumante final. De forma geral, os valores indicam que as amostras têm cores claras e suaves, típicas de um espumante rosé.

A luminosidade ficou entre 69 e 72, o que significa que todas as amostras são relativamente claras. Observa-se que o vinho vai ficando mais claro nas etapas finais (LE e ENG), possivelmente porque, com o tempo, as partículas em suspensão se sedimentam e o líquido fica mais limpo e transparente.

Os valores de a\* (vermelho) são maiores nas etapas intermediárias —

especialmente FTE, MAT e TCT —, indicando cores rosadas mais intensas. Depois, há uma diminuição do vermelho ( $a^*$ ) e leve aumento do amarelo ( $b^*$ ), mostrando que a cor vai mudando de um rosa mais vivo para um rosa mais alaranjado, comum em espumantes mais envelhecidos.

O croma é mais alto no FTE e depois diminui, o que sugere que a cor perde um pouco de brilho e saturação ao longo do tempo, ficando mais delicada.

No início, o  $h^\circ$  está por volta de  $30^\circ$ , o que representa um tom mais rosado-avermelhado. No final (LE e ENG), chega a  $38^\circ$ , o que indica uma mudança para tons mais alaranjados. Esse tipo de mudança é comum e costuma acontecer devido à oxidação natural dos pigmentos, à transformação das antocianinas e à formação de pigmentos mais estáveis. Os três quadrados coloridos representam mapas de cor no espaço CIELAB para diferentes valores de matiz ( $h^\circ = 30^\circ, 35^\circ$  e  $40^\circ$ ). Cada quadrado marcado indica onde cada amostra se posiciona no gráfico.

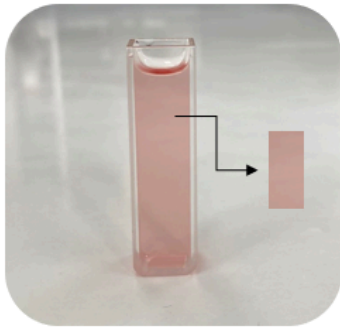
- No  $h^\circ = 30^\circ$ , as cores estão mais concentradas em tons rosados mais intensos, típicos das etapas iniciais e intermediárias (como FTE, MAT, EST e TCT).
- No  $h^\circ = 35^\circ$ , aparecem tons rosados equilibrados, que ainda têm vivacidade, mas já começam a clarear (ITE).
- No  $h^\circ = 40^\circ$ , predominam as amostras mais claras e alaranjadas, correspondentes às etapas finais (LE e ENG).









Esses gráficos ajudam a visualizar a transição gradual da cor: o espumante começa com um tom rosé mais intenso e termina com uma cor mais clara, puxando para o salmão.

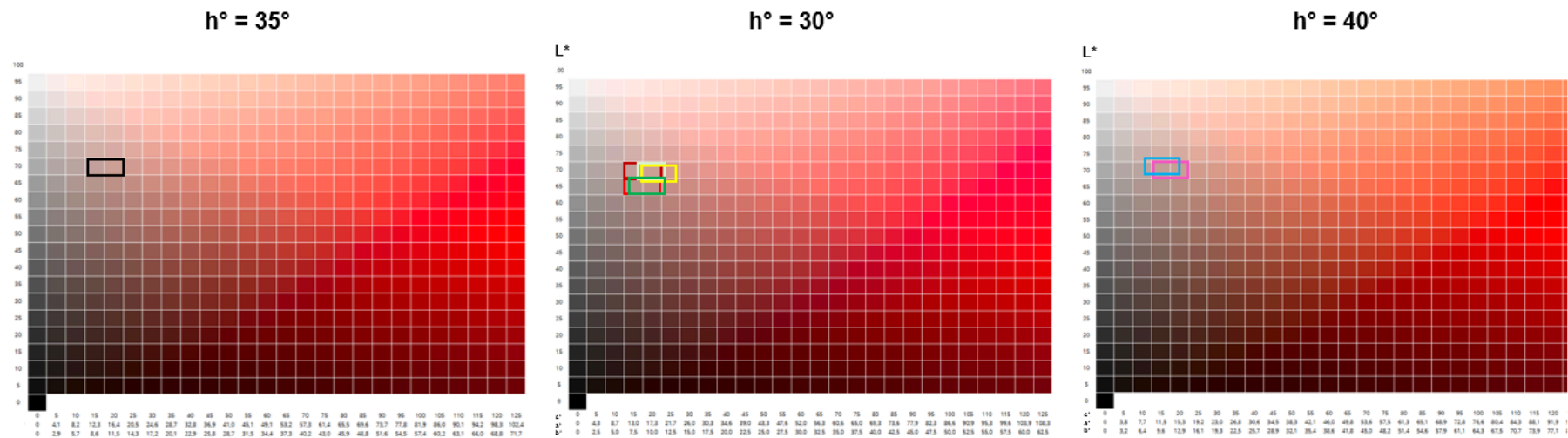
Esses resultados mostram que, durante o processo de elaboração do espumante rosé: A cor se clareia aos poucos, principalmente depois da tomada de espuma e do licor de expedição; há uma redução do vermelho e um leve aumento

do amarelo, mudando o tom do rosa para o salmão; a intensidade da cor diminui, deixando o espumante visualmente mais delicado; Essa evolução é típica e está ligada às transformações químicas dos pigmentos naturais do vinho (como as antocianinas) e à ação do oxigênio com o passar do tempo.

Em resumo, o conjunto de dados mostra que o espumante rosé passa por uma evolução natural da cor ao longo do processo de produção. Ele começa com um tom mais rosado e intenso, típico dos vinhos jovens, e termina com uma coloração mais clara e levemente alaranjada, associada à maturação e à estabilidade visual desejada no produto final. Essas variações são normais e esperadas, e o uso da análise colorimétrica ajuda a acompanhar essas mudanças de forma precisa e comparável entre etapas.



	ITE	FTE	MAT	EST	FT	TCT	LE	ENG
								
<b>L*</b>	70,6	69,2	70,4	70,3	70,6	69,4	71,5	72,5
<b>a*</b>	12,6	15,1	15,3	14,0	14,0	16,4	12,1	11,6
<b>b*</b>	9,4	9,4	8,6	8,7	8,7	8,8	9,6	9,2
<b>c*</b>	15,7	17,8	17,6	16,5	16,6	17,4	15,4	14,7
<b>h°</b>	36,7	31,9	29,3	31,8	31,9	30,0	38,3	38,5



**Figura 44:** Visualização da trajetória de cor ao longo da elaboração do espumante rosé (ITE = início de tomada de espuma; FTE = fim de tomada de espuma; MAT = maturação a 6°C; EST = estabilização a frio a -2°C; FT = após filtração tangencial; TCT = teste de tinto; LE = após licor de expedição; ENG = engarramento).

## 8.9 CAPÍTULO II: EVOLUÇÃO DA COR DO ESPUMANTE ROSÉ DURANTE O ARMAZENAMENTO

A evolução da coloração do espumante rosé durante o armazenamento é apresentada na Figura 45. Observa-se que os parâmetros  $A_{420}$  e  $b^*$ , relacionados à componente amarela da cor, exibiram leve tendência de aumento nas amostras mantidas em estufa a 30 °C, enquanto aquelas armazenadas em temperatura ambiente permaneceram praticamente estáveis. Esse comportamento evidencia que a temperatura de armazenamento exerce influência direta sobre as reações oxidativas, acelerando a formação de pigmentos amarelados e compostos poliméricos resultantes da oxidação de fenóis e antocianinas (CHENG *et al.*, 2023; JACKSON, 2020).

O aumento de  $A_{420}$  é amplamente reconhecido como um indicador de oxidação em vinhos brancos e rosés, refletindo a conversão gradual de compostos fenólicos incolores em quinonas e pigmentos de tonalidade marrom-amarelada (KALLITHRAKA *et al.*, 2005). De forma coerente, o incremento do  $b^*$  reforça esse deslocamento da tonalidade, indicando uma migração da cor para a região amarela do espaço CIELAB. Essa tendência é atribuída à formação de pigmentos secundários, como flavilium-cátions oxidados, polímeros antocianina-tanino e produtos de Maillard não enzimáticos, especialmente sob condições de temperatura elevada (ZHANG *et al.*, 2024; HENSEN *et al.*, 2024).

Durante o armazenamento, a oxidação dos fenóis não apenas escurece a cor, mas também altera o equilíbrio entre os pigmentos vermelhos e amarelos, reduzindo gradualmente a vivacidade inicial do rosé. Essa evolução cromática é típica de vinhos submetidos a condições de microoxigenação ou temperaturas acima de 25 °C, nas quais há intensificação da reação entre antocianinas e acetaldeído, resultando na formação de pigmentos mais

estáveis e menos dependentes do pH (ZHAO *et al.*, 2023; PUÉRTOLAS *et al.*, 2010).

Por outro lado, os parâmetros  $A_{520}$  e  $a^*$ , associados à intensidade da cor vermelha, mantiveram-se praticamente constantes ao longo do armazenamento, tanto nas amostras em temperatura ambiente quanto na estufa. Essa estabilidade pode ser atribuída à baixa concentração inicial de antocianinas livres no espumante rosé — consequência da elaboração por *assemblage* — e à formação de pigmentos poliméricos resistentes à degradação oxidativa, como as piranoantocianinas e antocianina-tanino adutos.

De acordo com Mesquita *et al.* (2024) e Zhang *et al.* (2024), a conversão de antocianinas monoméricas em pigmentos poliméricos ocorre de forma progressiva durante o envelhecimento, conferindo estabilidade cromática a longo prazo e reduzindo a variação da coordenada  $a^*$ . Essa transformação explica o fato de que, mesmo diante de condições de temperatura elevada, não foram observadas perdas significativas de cor vermelha no espumante. Além disso, Zhao *et al.* (2023) demonstraram que os pigmentos poliméricos formados a partir de antocianinas apresentam maior resistência às variações de pH e oxigênio, o que favorece a preservação da intensidade colorimétrica durante o armazenamento.

Os resultados também indicam que a variação entre  $A_{420}$  e  $A_{520}$  — isto é, a relação entre as componentes amarela e vermelha — pode servir como indicador do grau de oxidação e do envelhecimento térmico. Enquanto  $A_{420}$  tende a aumentar pela formação de pigmentos de cor amarelada,  $A_{520}$  tende à estabilidade, refletindo a predominância de processos oxidativos leves, sem perda expressiva da tonalidade rosada. Segundo Jackson (2020), esse comportamento é desejável em espumantes rosés, pois mantém a aparência fresca e brilhante, típica de produtos jovens, evitando tonalidades acastanhadas que comprometem o aspecto sensorial.

De forma geral, a análise conjunta das componentes espectrofotométricas e colorimétricas evidencia que o armazenamento em temperatura elevada (30 °C) promoveu modificações oxidativas mais rápidas, aumentando a contribuição amarela da cor ( $A_{420}$  e  $b^*$ ), ao passo que o armazenamento em temperatura ambiente manteve o equilíbrio cromático por um período mais prolongado. A constância dos valores de  $A_{520}$  e  $a^*$  demonstra que a estrutura polifenólica e os pigmentos estabilizados permaneceram praticamente inalterados, resultando em estabilidade visual e cromática global ao longo dos 16 meses de monitoramento.

Esses resultados corroboram as observações de Puértolas *et al.* (2010) e Cheng *et al.* (2023), que descrevem a formação de pigmentos estáveis e copigmentados como um dos principais mecanismos de manutenção da cor em vinhos submetidos ao envelhecimento. No contexto dos espumantes rosés, essa estabilidade é ainda mais relevante, uma vez que a percepção de cor está diretamente associada à expectativa sensorial de frescor e vivacidade, atributos que influenciam fortemente a aceitação do produto pelo consumidor (JACKSON, 2020).

A Figura 46 apresenta a evolução dos parâmetros colorimétricos  $L^*$  (luminosidade),  $C^*$  (croma) e  $h^\circ$  (matiz), além da absorbância a 620 nm ( $A_{620}$ ), durante o armazenamento do espumante Brut Rosé, sob duas condições: temperatura ambiente e estufa a 30 °C, simulando um processo de envelhecimento acelerado.

Os resultados indicam que a luminosidade ( $L^*$ ) manteve-se estável ao longo dos 16 meses de armazenamento, com pequenas variações em torno de 73. Esse comportamento sugere ausência de escurecimento perceptível, mesmo nas amostras submetidas à temperatura elevada. A estabilidade de  $L^*$  durante o armazenamento é um indicativo de proteção da fração fenólica e de baixa degradação oxidativa das antocianinas (MESQUITA *et al.*, 2024). De acordo com Jackson (2020), valores constantes de luminosidade em vinhos espumantes estão relacionados à formação de pigmentos poliméricos estáveis

e à interação entre antocianinas, taninos e produtos de autólise de leveduras, os quais atuam como agentes protetores frente à oxidação.

No caso do croma ( $C^*$ ), observou-se estabilidade ao longo do armazenamento, com valores médios entre 15 e 19. Essa constância revela manutenção da saturação e pureza da cor, mesmo após mais de um ano de estocagem. O comportamento indica um equilíbrio entre as reações de oxidação e polimerização, em que a perda de antocianinas monoméricas é compensada pela formação gradual de pigmentos mais complexos e estáveis (HENSEN *et al.*, 2024; CHENG *et al.*, 2023). Essa estabilidade é desejável em espumantes rosés, pois garante a persistência do tom rosado característico e evita o aspecto alaranjado ou acastanhado típico de vinhos envelhecidos sob condições inadequadas de armazenamento.

O ângulo de matiz ( $h^\circ$ ) apresentou aumento progressivo nas amostras armazenadas a 30 °C, sugerindo uma mudança gradual do tom rosado para tonalidades mais alaranjadas. Esse deslocamento é coerente com o comportamento esperado para vinhos expostos a temperaturas mais altas, nas quais ocorrem reações oxidativas que convertem antocianinas em pigmentos de matiz mais amarelada (ZHAO *et al.*, 2023; ZHANG *et al.*, 2024). O incremento de  $h^*$  é, portanto, um indicador sensível de oxidação cromática e de início de envelhecimento visual, confirmando que a temperatura de armazenamento é um fator determinante na evolução da cor dos espumantes.

A absorbância a 620 nm ( $A_{620}$ ) manteve-se em níveis baixos e estáveis, o que reforça a ausência de escurecimento excessivo ou desenvolvimento de pigmentos azulados. Isso demonstra que, mesmo após 16 meses, o espumante manteve uma coloração visualmente equilibrada, sem tendência ao tom violáceo ou marrom. Esse resultado está em concordância com observações anteriores para vinhos rosés armazenados, nos quais a fração azul da cor tende a permanecer pouco expressiva devido à baixa concentração de antocianinas altamente conjugadas (JACKSON, 2020; MESQUITA *et al.*, 2024).

De forma geral, os resultados indicam que o espumante Brut Rosé apresentou elevada estabilidade cromática durante o armazenamento, com luminosidade e saturação praticamente inalteradas, e mudanças perceptíveis apenas no matiz, especialmente em temperaturas mais altas. Essa tendência confirma que, embora o tempo de estocagem promova transformações graduais nos pigmentos, a intensidade global da cor é preservada — característica atribuída à presença de pigmentos copigmentados e à baixa concentração de antocianinas livres.

Além disso, a estabilidade observada pode estar associada ao ambiente de armazenamento controlado e à proteção antioxidante conferida pelo dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) residual, que limita a oxidação de compostos fenólicos. Segundo Hensen *et al.* (2024), a presença de pequenas quantidades de SO<sub>2</sub> e a manutenção de pH moderado são fundamentais para reduzir a degradação cromática em vinhos armazenados por longos períodos. Assim, os resultados obtidos demonstram que, mesmo em condições de envelhecimento acelerado, o espumante manteve perfil cromático coerente com produtos jovens e de boa estabilidade visual, característica essencial para a percepção de qualidade em vinhos rosés premium.

Figura 45: Evolução das cores amarelas e vermelhas ao longo de 16 meses de armazenamento em duas condições de armazenamento

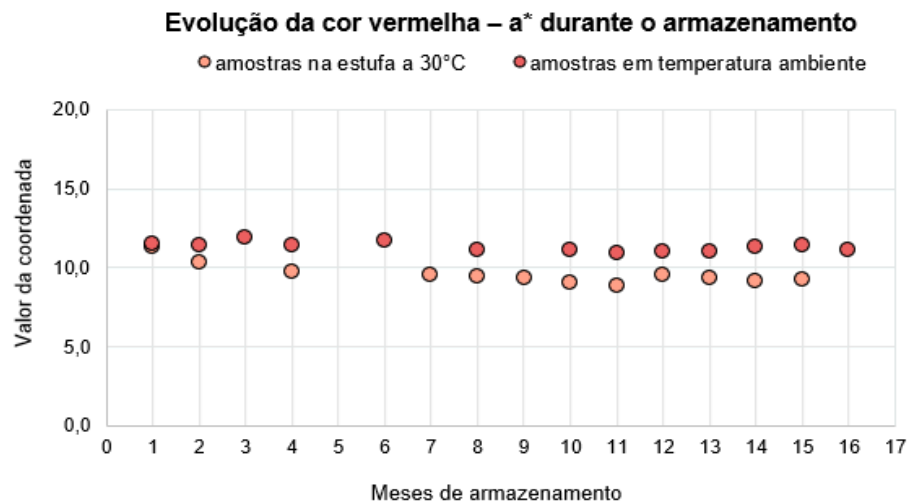
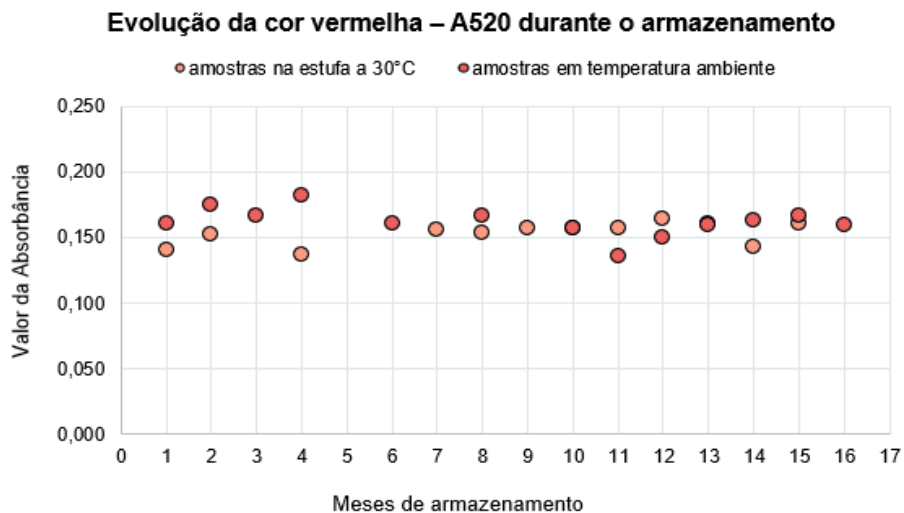
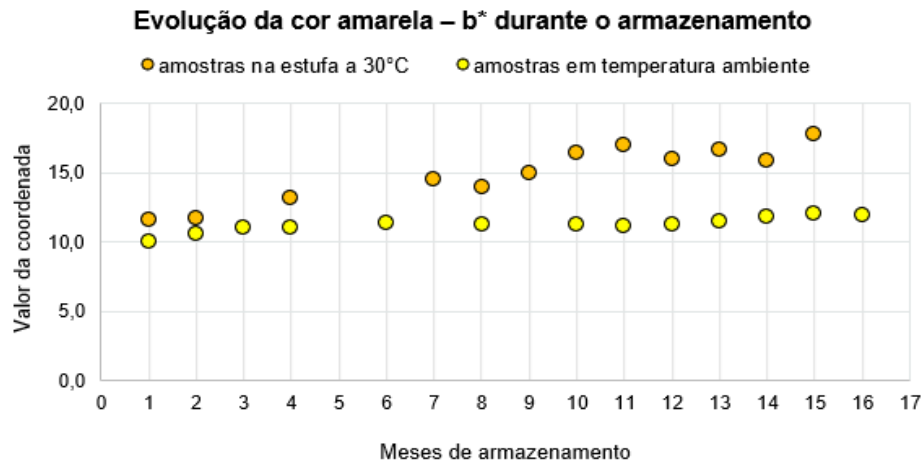
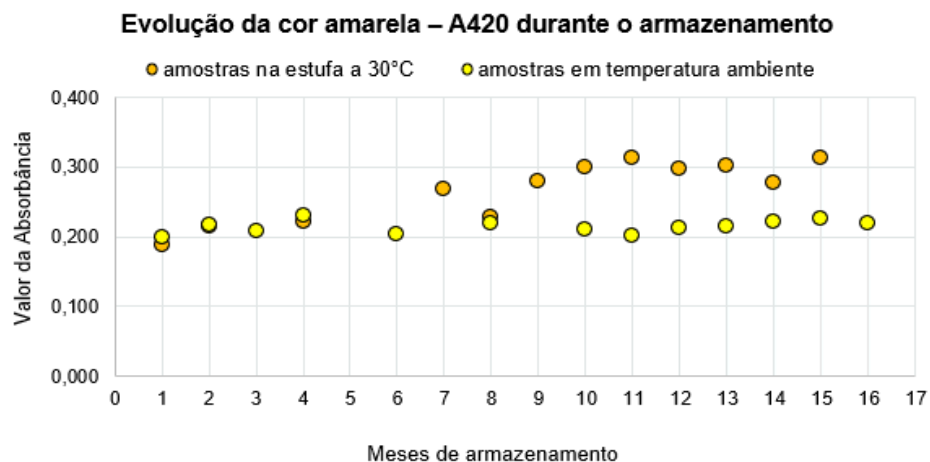
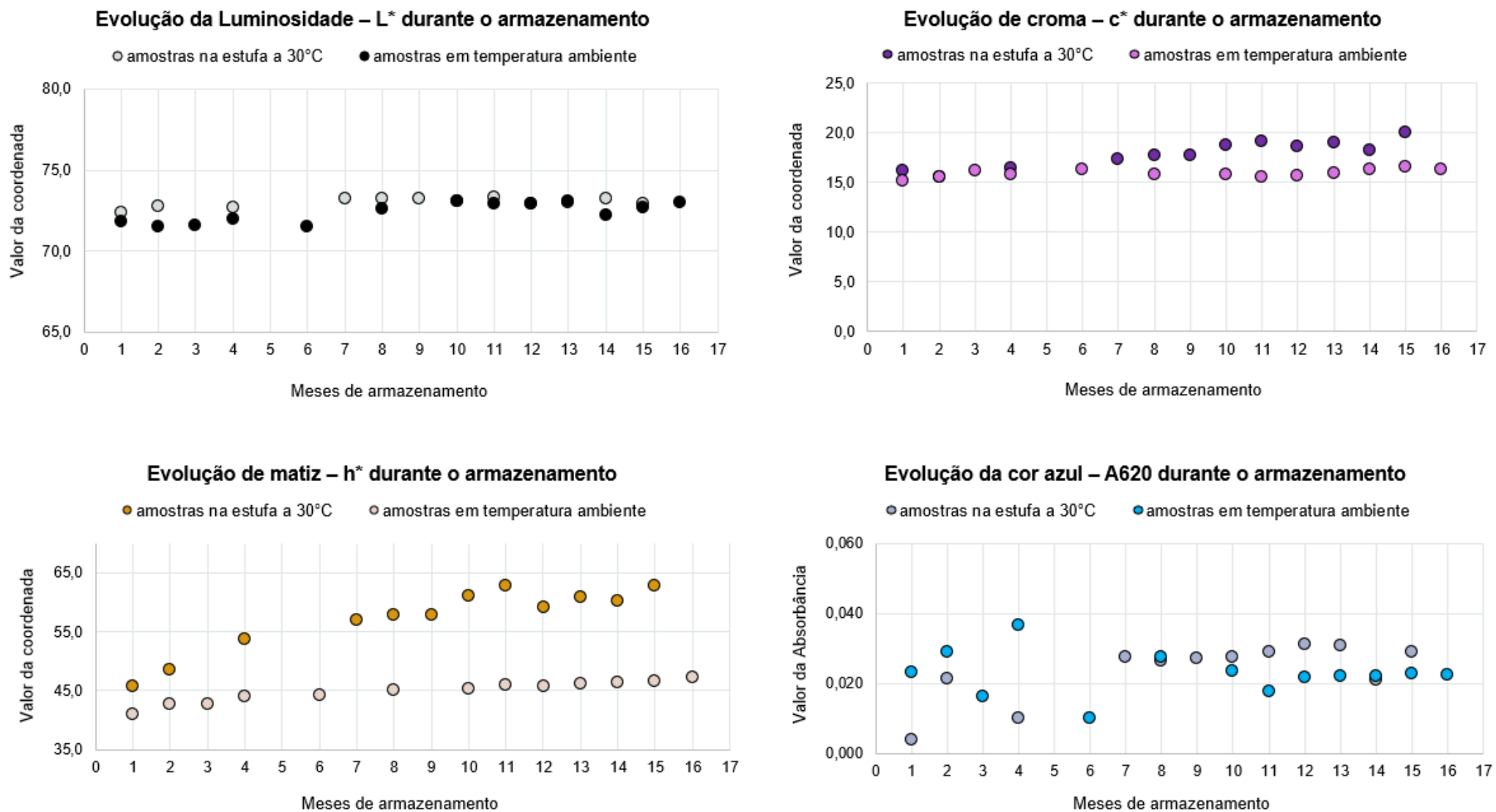


Figura 46: Evolução das cor azul, luminosidade, cromia e matiz ao longo de 16 meses de armazenamento em duas condições de armazenamento



## 9. PRODUTOS DESENVOLVIDOS

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, foram gerados produtos de caráter técnico e aplicabilidade prática, com destaque para a consolidação de um material técnico-analítico contendo os principais resultados obtidos por espectrofotometria UV-Vis e colorimetria CIELAB, aplicados à análise de espumantes rosés ao longo da tomada de espuma e do período após engarrafado. Esse material reúne interpretações detalhadas sobre os comportamentos das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , Cromo  $C^*$  e  $h^\circ$  bem como das absorvâncias em 420, 520 e 620 nm, fornecendo embasamento técnico para profissionais que atuam com o controle de qualidade e padronização visual de espumantes. A organização dos dados em formato acessível visa facilitar sua aplicação tanto em contextos laboratoriais quanto educacionais.

Como desdobramento prático, foram também elaborados protocolos operacionais de análise cromática, descrevendo com precisão as etapas de preparo das amostras, as condições de análise, os parâmetros avaliados e os critérios de interpretação. Esses protocolos abrangem tanto o método espectrofotométrico convencional, utilizando as absorvâncias características da cor dos vinhos, quanto o método instrumental por colorimetria no espaço CIELAB. As instruções desenvolvidas auxiliam na reprodutibilidade das análises, permitindo maior consistência nas avaliações entre diferentes lotes e momentos de produção, além de contribuir para a formação técnica de novos profissionais na área.

Além disso, foram desenvolvidas curvas de comportamento cromático, representando a evolução da cor em diferentes fases do processo de elaboração do espumante. Essas curvas, baseadas nas coordenadas CIELAB e nos dados espectrofotométricos, possibilitam uma visualização clara das tendências e pontos críticos de alteração cromática, como momentos de maior variação de matiz, croma ou intensidade corante. Esse material gráfico oferece suporte à tomada de decisões em processos enológicos, especialmente em etapas que envolvem ajustes visuais (como o teste de correção com tinto),

além de permitir maior compreensão sobre a estabilidade da coloração ao longo do tempo

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, parte dos resultados foi apresentada na Mostra Técnico-Científica (MTC) 2025, promovida pelo Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS), campus Bento Gonçalves. O trabalho, intitulado “*A colorimetria como ferramenta de diferenciação em processos enológicos*”, recebeu destaque entre os projetos da área de Pesquisa e Inovação em Ciências Agrárias. Além disso, outro resumo foi apresentado no 10º Seminário de Pós-Graduação do IFRS, com o título “*Avaliação cromática de espumantes rosés durante a elaboração e após o engarrafamento: um estudo de caso com abordagem instrumental*” ampliando a divulgação dos avanços obtidos e fortalecendo o intercâmbio de conhecimento entre pesquisa e setor enológico. Ambos documentos estão inseridos neste documento em formato de anexo.

Os resultados obtidos neste estudo também foram estruturados para a elaboração de um artigo científico, que será submetido a uma revista especializada em Enologia e Ciências Agrárias. Essa iniciativa tem como objetivo disseminar os achados para a comunidade científica, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre a aplicação da colorimetria na diferenciação de processos enológicos.

## **10. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A análise cromática de espumantes rosés ao longo das etapas de elaboração permitiu caracterizar, de forma técnica e objetiva, os processos dinâmicos que influenciam a estabilidade visual e a qualidade do produto final. A associação entre medições espectrofotométricas e parâmetros colorimétricos CIELAB mostrou-se fundamental para compreender os mecanismos físico-químicos responsáveis pelas alterações de cor e suas implicações tecnológicas.

Durante a tomada de espuma, a coordenada de luminosidade apresentou leve redução, indicando discreto escurecimento da matriz, possivelmente relacionado ao aumento da turbidez coloidal, à liberação de manoproteínas e à intensificação de reações de copigmentação. A coordenada associada à componente vermelha evidenciou aumento inicial seguido de estabilização, sugerindo intensificação da tonalidade típica de espumantes rosés e compatível com rearranjos estruturais de antocianinas em ambiente redutor. Já o parâmetro relacionado à componente amarela demonstrou tendência de elevação ao longo do processo, o que pode estar associado à formação de pigmentos oxidados secundários, indicando sensibilidade às condições redox iniciais.

As respostas espectrofotométricas corroboraram essa interpretação cromática, evidenciando comportamento consistente entre as bandas associadas a compostos fenólicos e os parâmetros colorimétricos, reforçando a interdependência entre composição química e percepção visual. A análise do croma indicou relativa estabilidade da saturação da cor, enquanto variações no ângulo de matiz refletiram modificações estruturais nos pigmentos, como reações de condensação e formação de derivados mais estáveis.

O comportamento da pressão interna demonstrou relação direta com a estabilização cromática, uma vez que o aumento do CO<sub>2</sub> favoreceu um ambiente redutor, limitando processos oxidativos e contribuindo para a manutenção da tonalidade desejada. Paralelamente, a dinâmica do dióxido de enxofre livre evidenciou interação com compostos carbonílicos, com impacto na fração disponível e possível efeito de branqueamento temporário, ressaltando a importância do monitoramento desse parâmetro na interpretação analítica da cor.

De forma geral, a convergência entre os métodos analíticos confirma que o monitoramento instrumental integrado constitui ferramenta eficaz para avaliar a evolução cromática de espumantes rosés, permitindo interpretar alterações estruturais da matriz fenólica e apoiar decisões tecnológicas.

Mesmo considerando limitações experimentais, os resultados demonstram o potencial do sistema CIELAB como abordagem sensível, reproduzível e aplicável ao controle de qualidade, estabelecendo bases metodológicas consistentes para estudos futuros e para o desenvolvimento de soluções tecnológicas voltadas à vitivinicultura.

Dessa forma, os resultados demonstram que a avaliação integrada de parâmetros espectrofotométricos, colorimétricos e físico-químicos constitui uma abordagem robusta para a compreensão da evolução cromática de espumantes rosés ao longo das etapas de elaboração. A convergência entre os métodos analíticos evidenciou que as variações de cor observadas refletem diretamente transformações estruturais de compostos fenólicos e interações químicas características do ambiente fermentativo, reforçando a natureza dinâmica e multifatorial da estabilidade cromática nesses produtos. Mesmo considerando as limitações experimentais, o estudo confirma o potencial do monitoramento instrumental como ferramenta estratégica para controle de qualidade, tomada de decisão enológica e padronização visual. Além disso, os achados sustentam a aplicabilidade do sistema CIELAB como método sensível e reproduzível para o acompanhamento da cor em espumantes rosés, contribuindo para o avanço do conhecimento científico e tecnológico na área.

Assim, a pesquisa estabelece bases metodológicas consistentes para investigações futuras, ampliando perspectivas de validação em diferentes matrizes, safras e condições produtivas, e reforçando a relevância da análise cromática integrada para a inovação e competitividade do setor vitivinícola.

## 10.1 ETAPAS FUTURAS

Além disso, embora o estudo tenha simulado as condições de prateleira (armazenamento em temperatura ambiente, posição vertical), não foram realizadas análises sob diferentes condições de estocagem (ex: refrigeração,

luz direta, posição horizontal), o que poderia ampliar a compreensão da estabilidade cromática em diferentes realidades de mercado.

## 11. REFERÊNCIAS

AGUIÉ-BÉGHIN, Véronique et al. Champagne Bubbles: Isolation and Characterization of amphiphilic macromolecules responsible for the stability of the collar at the Champagne/air interface. **arXiv preprint arXiv:1904.09194**, 2019.

ALABBOSH, Khulood Fahad Saud et al. Oxidative Degradation of Anthocyanins in Red Wine: Kinetic Characterization Under Accelerated Aging Conditions. **Processes**, v. 13, n. 7, p. 2245, 2025.

ALEIXANDRE-TUDO, Jose Luis; DU TOIT, Wessel. A chemometric approach to the evaluation of the ageing ability of red wines. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 203, p. 104067, 2020.

AMERINE, M.A.; OUGH, C.S. **Methodos for analysis of must and wines**. 2nd e. Wiley-interscience, New York, 1986. 377p.

ARAÚJO, Isabel M. et al. Características cromáticas de vinhos verdes tintos. 2005.

ARENA, Elena et al. Effects of light exposure, bottle colour and storage temperature on the quality of Malvasia delle Lipari sweet wine. **Foods**, v. 10, n. 8, p. 1881, 2021.

ARRUDA, Mirela Ribeiro Embirassú et al. Avaliação de extratos de antocianinas como indicadores de pH obtidos por diferentes métodos. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 10, n. 3, p. 87-100, 2019.

ATANASOVA, Vessela et al. Effect of oxygenation on polyphenol changes occurring in the course of wine-making. **Analytica Chimica Acta**, v. 458, n. 1, p. 15-27, 2002.

ATAK, Arif; GÖKSEL, Zekiye; YILMAZ, Yusuf. Changes in major phenolic compounds of seeds, skins, and pulps from various *Vitis* spp. and the effect of

powdery and downy mildew diseases on their levels in grape leaves. **Plants**, v. 10, n. 12, p. 2554, 2021.

AUW, J. M. et al. Effect of processing on the phenolics and color of Cabernet Sauvignon, Chambourcin, and Noble wines and juices. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 47, n. 3, p. 279-286, 1996.

BAI, Xuebing et al. Wine polyphenol oxidation mechanism and the effects on wine quality: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 23, n. 6, p. e70035, 2024.

BARBOSA, Fabrício Silva. Contribuição das práticas de sustentabilidade para a competitividade do enoturismo no setor vitivinícola: um estudo em regiões do Estado do Rio Grande do Sul-Brasil. 2019.

BARIS, Federico; CASTRO MARIN, Antonio; CHINNICI, Fabio. Evolução oxidativa de diferentes vinhos rosés modelo afetados por diferentes teores de antocianinas e taninos. **Beverages**, v. 10, n. 2, p. 43, 2024.

Bartsch, J., Borzi, A., Schenk, C., Schmidt, D., Müller, J., Schulz, V., & Velten, K. (1901). An extended model of wine fermentation including aromas and acids. ArXiv.

BIRSE, Marie Josephine. The colour of red wine. **The University of Adelaide**, 2007.

BOULTON, Roger. The copigmentation of anthocyanins and its role in the color of red wine: A critical review. **American journal of enology and viticulture**, v. 52, n. 2, p. 67-87, 2001.

BOULTON, Roger B. et al. **Principles and practices of winemaking**. Springer Science & Business Media, 2013.

BRANCO, Zélia et al. Impact of Winemaking Techniques on the Phenolic Composition and Antioxidant Properties of Touriga Nacional Wines. **Molecules**, v. 30, n. 7, p. 1601, 2025.

BROUILLARD, Raymond; DUBOIS, Jacques-Emile. Mechanism of the structural transformations of anthocyanins in acidic media. **Journal of the American Chemical Society**, v. 99, n. 5, p. 1359-1364, 1977.

COELHO, Bruno; FERRI, Valdecir Carlos. Physico-chemical and sensory characterization of fine wines from the Gaúcha Campaign of Rio Grande do Sul - Brazil. In: PROCEEDINGS OF 2ND INTERNATIONAL CONGRESS ON BIOACTIVE COMPOUNDS, 2022, Campinas. Anais eletrônicos..., Galoá, 2022.

CABRITA, Maria João; RICARDO-DA-SILVA, Jorge; LAUREANO, Olga. Os compostos polifenólicos das uvas e dos vinhos. **I SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE VITIVINICULTURA. Anais... Ensenada, México**, 2003.

CAIM GROUP. *The first accredited laboratory in Italy for the colour analysis of Franciacorta sparkling wines.* 2024. Disponível em: <https://www.caimgroup.it/en/news/713/>. Acesso em: 31 jul. 2025.

CARREÑO, J. et al. Proposal of an index for the objective evaluation of the colour of red table grapes. **Food Research International**, v. 28, n. 4, p. 373-377, 1995.

CASTAÑEDA-OVANDO, Araceli et al. Chemical studies of anthocyanins: A review. **Food chemistry**, v. 113, n. 4, p. 859-871, 2009.

CASTRO, Pedro Perestrelo Vasconcelos Rodrigues. **Relatório de actividades desenvolvidas na vinha e no sector de Enologia da empresa José Maria da Fonseca.** 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa (Portugal).

CHENG, Siqi et al. Color myth: Anthocyanins reactions and enological approaches achieving their stabilization in the aging process of red wine. **Food Innovation and Advances**, v. 2, n. 4, p. 255-271, 2023.

CHENGOLOVA, Zlatina; IVANOV, Yavor; GODJEVARGOVA, Tzonka. Comparison of identification and quantification of polyphenolic compounds in skins and seeds of four grape varieties. **Molecules**, v. 28, n. 10, p. 4061, 2023.

CHEYNIER, Veronique et al. Structure and properties of wine pigments and tannins. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 57, n. 3, p. 298-305, 2006.

COLORIMETRY, C. I. E. Commission Internationale de l'Éclairage: Vienna. 2004.

COSME, Fernanda; FILIPE-RIBEIRO, Luís; NUNES, Fernando M. Wine stabilisation: An overview of defects and treatments. **Chemistry and biochemistry of winemaking, wine stabilization and aging**, v. 21, p. 175-204, 2021.

DANILEWICZ, John C. Review of reaction mechanisms of oxygen and proposed intermediate reduction products in wine: Central role of iron and copper. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 54, n. 2, p. 73-85, 2003.

DEL ALAMO-SANZA, Maria; NEVARES, Ignacio. Oak wine barrel as an active vessel: A critical review of past and current knowledge. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 58, n. 16, p. 2711-2726, 2018.

DEL BARRIO-GALÁN, Rubén et al. Evaluation of yeast derivative products developed as an alternative to lees: The effect on the polysaccharide, phenolic

and volatile content, and colour and astringency of red wines. **Molecules**, v. 24, n. 8, p. 1478, 2019.

DEL BARRIO-GALÁN, Rubén; MEDEL-MARABOLÍ, Marcela; PEÑA-NEIRA, Álvaro. Effect of different ageing techniques on the polysaccharide and phenolic composition and sensorial characteristics of Chardonnay white wines fermented with different selected *Saccharomyces Cerevisiae* yeast strains. **European Food Research and Technology**, v. 242, n. 7, p. 1069-1085, 2016.

DE FREITAS, Victor; MATEUS, Nuno. Formation of pyranoanthocyanins in red wines: A new and diverse class of anthocyanin derivatives. **Analytical and bioanalytical chemistry**, v. 401, n. 5, p. 1463-1473, 2011.

DE FREITAS, Victor Armando Pereira et al. A review of the current knowledge of red wine colour. **Oeno One**, v. 51, n. 1, 2017.

DELIĆ, Katarina et al. Grape, wine and pomace anthocyanins: Winemaking biochemical transformations, application and potential benefits. **OENO One**, v. 58, n. 4, 2024.

ECHEVERRIGARAY, Sergio et al. Anthocyanin adsorption by *Saccharomyces cerevisiae* during wine fermentation is associated to the loss of yeast cell wall/membrane integrity. **International journal of food microbiology**, v. 314, p. 108383, 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Panorama da vitivinicultura brasileira 2021**. Brasília: Embrapa Uva e Vinho, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/uva-e-vinho/panorama>. Acesso em: 31 jul. 2025.

EMBRAPA UVA E VINHO. **Panorama da vitivinicultura brasileira**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2023.

ESCRIBANO-BAILÓN, María Teresa; RIVAS-GONZALO, Julián C.; GARCÍA-ESTÉVEZ, Ignacio. Wine color evolution and stability. In: **Red wine technology**. Academic Press, 2019. p. 195-205.

FAN, Shuyue; ZHANG, Yu; LI, Yunkui. A new approach for quantitative classification of red wine color from the perspective of micro and macro levels. **Fermentation**, v. 9, n. 6, p. 519, 2023.

FERNANDES, ALMAP. **Impacto da rolha de cortiça na composição polifenólica de vinhos tintos engarrafados**. 2007. Dissertação de Mestrado. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Tecnologia, Ciência e Segurança Alimentar. Porto: Escola de Engenharia da Universidade do Minho-Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

FERNANDES, Ana et al. A review of the current knowledge of red wine colour. **Oeno One**, v. 51, n. 1, p. 1-15, 2017.

FERNÁNDEZ, R.; LIZANA, X. C. Antocianinas en *Solanum tuberosum*: Una revisión. **Agro sur**, v. 48, n. 2, p. 1-8, 2020.

FERREIRA, Marcos David; SPRICIGO, Poliana Cristina. Colorimetria: Princípios e aplicações na agricultura. **Instrumentação pós-colheita em frutas e hortaliças. Parte 4. Análises não destrutivas**, 2017.

FERREIRA, Nélia Filipa Mendes. **Implementação do sistema cielab na avaliação colorimétrica de vinhos brancos e vinhos rosados**. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade NOVA de Lisboa (Portugal).

FREITAS, Victor. O mundo colorido das antocianinas. **Revista de Ciência Elementar**, v. 7, n. 2, 2019.

FULCRAND, Hélène et al. Phenolic reactions during winemaking and aging. **American journal of Enology and Viticulture**, v. 57, n. 3, p. 289-297, 2006.

FURTADO, A. M. **Evolution of the physical-chemical composition and the color characteristics of wine during secondary shelf life**. 2013. 86 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos; Tecnologia de Alimentos; Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

GAMBUTI, A. et al., L. Effect of winemaking practices on color indexes and selected bioactive phenolics of Aglianico wine. **Journal of food science**, 72(9),2007.

GAMBUTI, Angelita et al. Evolution of Sangiovese wines with varied tannin and anthocyanin ratios during oxidative aging. **Frontiers in chemistry**, v. 6, p. 63, 2018.

GARCÍA-MARINO, Matilde et al. Color-copigmentation study by tristimulus colorimetry (CIELAB) in red wines obtained from Tempranillo and Graciano varieties. **Food Research International**, v. 51, n. 1, p. 123-131, 2013.

GIUSTI, M. Mónica; WROLSTAD, Ronald E. Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems. **Biochemical engineering journal**, v. 14, n. 3, p. 217-225, 2003.

GIUSTI, M. Mónica; WROLSTAD, Ronald E. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. **Current protocols in food analytical chemistry**, n. 1, p. F1. 2.1-F1. 2.13, 2001.

GLÓRIES, Y. La couleur des vins rouges. **Conn. Vigne Vin** , v. 4, pág. 253-271, 1984.

GNOINSKI, Gail B. et al. Towards accelerated autolysis? Dynamics of phenolics, proteins, amino acids and lipids in response to novel treatments and during ageing of sparkling wine. **Beverages**, v. 7, n. 3, p. 50, 2021.

GÓMEZ-MÍGUEZ, M. José et al. Assessment of colour and aroma in white wines vinifications: Effects of grape maturity and soil type. **Journal of food engineering**, v. 79, n. 3, p. 758-764, 2007.

GÓMEZ-PLAZA, E. et al. Color and phenolic compounds of a young red wine as discriminating variables of its ageing status. **Food research international**, v. 32, n. 7, p. 503-507, 1999.

GONZÁLEZ-NEVES, Gustavo et al. Prediction of the colour and polyphenolic composition of the young red wines from the phenolic potential of the grapes. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, n. 9, p. 1843-1851, 2010.

GUADALUPE, Zenaida; MARTÍNEZ, Leticia; AYESTARÁN, Belén. Manoproteínas de levedura na produção de vinho tinto: Efeito na composição polissacarídica, polifenólica e corante. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 61, n. 2, p. 191-200, 2010.

GUERRA, C. C. et al. Amigo do vinho brasileiro: Conhecendo o essencial sobre uvas e vinhos. **Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho**, 2005.

GUERRA, C.C. Maturação da uva e condução vinificação para a elaboração de vinhos finos. In: SIMPÓSIO MINEIRO VITICULTURA ENOLOGIA, 1., 2002, Andradas. Viticultura e enologia: atualizando conceitos. Caldas: Epamig, 2002. p.179-192.

HAYASAKA, Yoji et al. The effect of *Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces bayanus* yeast on colour properties and pigment profiles of a Cabernet Sauvignon red wine. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 13, n. 3, p. 176-185, 2007.

HE, Fei et al. Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes. **Molecules**, v. 15, n. 12, p. 9057-9091, 2010.

HENSEL, Marcel et al. New insights into wine color analysis: A comparison of analytical methods to sensory perception for red and white varietal wines. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 72, n. 4, p. 2008-2017, 2023.

HENSEN, Jan-Peter et al. Pectin forms polymeric pigments by complexing anthocyanins during red winemaking and ageing. **Food Research International**, v. 188, p. 114442, 2024.

HEREDIA, FJ; GUZMÁN-CHOZAS, M. A cor do vinho: uma perspectiva histórica. II. Métodos tricromáticos. **Journal of food quality** , v. 16, n. 6, p. 439-449, 1993.

HERNANDEZ, Begona et al. Assessing the color of red wine like a taster's eye. **Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur**, v. 34, n. 2, p. 153-162, 2009.

HERNÁNDEZ, B. et al. Colour evolution of rosé wines after bottling. **South African Journal of Enology and Viticulture**, v. 32, n. 1, p. 42-50, 2011.

HUERTAS, R. et al. Color variability for a wine sample poured into a standard glass wine sampler. **Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur**, v. 28, n. 6, p. 473-479, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DO VINHO – IBRAVIN. **Relatório anual de mercado: consumo de vinhos no Brasil**. Bento Gonçalves, 2024. Disponível em: <https://www.ibravin.org.br/>. Acesso em: 31 jul. 2025.

IBRAVIN – INSTITUTO BRASILEIRO DO VINHO. **Dados do mercado brasileiro de vinhos e espumantes**. Bento Gonçalves, 2024.

IBRAVIN – INSTITUTO BRASILEIRO DO VINHO. **Relatório setorial do mercado vitivinícola brasileiro**. Bento Gonçalves, 2025.

IDEAL BI CONSULTING. **Brazil Wine Market Landscapes 2025**. São Paulo: Ideal BI Consulting, 2025.

IVES. ***Nitrogen nutrition and the oxidative evolution of Lugana wines under accelerated aging conditions***. IVES Technical Reviews, 2024. Disponível em: <https://ives-openscience.eu/14498/>. Acesso em: 31 jul. 2025.

JACKSON, Ronald S. **Wine science: principles and applications**. Academic press, 2020.

JAUD, David A. et al. The effect of rosé wine colors on expected flavor and tastiness: A cross-modal correspondence explanation. **Food Quality and Preference**, v. 123, p. 105308, 2025.

JEZIORNY, Daniel Lemos et al. Território Vale dos Vinhedos. Instituições, indicação geográfica e singularidade na vitivinicultura da Serra Gaúcha. 2009.

JURD, Leonard. Reactions involved in sulfite bleaching of anthocyanins. **Journal of Food Science**, v. 29, n. 1, p. 16-19, 1964.

KALLITHRAKA, Stamatina et al. Determination of major anthocyanin pigments in Hellenic native grape varieties (*Vitis vinifera* sp.): association with antiradical activity. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 18, n. 5, p. 375-386, 2005.

KENNEDY, James A.; SAUCIER, Cédric; GLORIES, Yves. Grape and wine phenolics: History and perspective. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 57, n. 3, p. 239-248, 2006.

KOTOWSKI, Lizete Dilene et al. Quantificação de polifenóis totais de vinhos tintos da safra do ano de 2022. **Revista Interdisciplinar em Ciências da Saúde e Biológicas**, v. 8, n. 2, p. 1-12, 2024.

LE MOIGNE, Marine et al. Sensory and instrumental characterisation of Cabernet Franc grapes according to ripening stages and growing location. **Food Quality and Preference**, v. 19, n. 2, p. 220-231, 2008.

LEBORGNE, Cécile et al. Elucidating the color of Rosé wines using polyphenol-targeted metabolomics. **Molecules**, v. 27, n. 4, p. 1359, 2022.

LI, Siyu et al. Yeast mannoproteins: Organoleptic modulating functions, mechanisms, and product development trends in winemaking. **Food Frontiers**, v. 4, n. 3, p. 1091-1126, 2023.

LI, Yuanyuan et al. Extraction and separation of anthocyanins from Kushui rose by ethanol-(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aqueous two-phase system. **RSC advances**, v. 14, n. 30, p. 21250-21259, 2024.

LITTLE, Angela C. Colorimetry of wines. **Color Research & Application**, v. 5, n. 1, p. 51-56, 1980.

LIU, Caiyun et al. Real-time monitoring of chromatic and phenolic dynamics of vinification employing UV-Vis spectroscopy, Python and chemometrics. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 132, p. 106359, 2024.

LÓPEZ, Noelia et al. Effect of a pulsed electric field treatment on the anthocyanins composition and other quality parameters of Cabernet Sauvignon freshly fermented model wines obtained after different maceration times. **LWT-Food Science and Technology**, v. 42, n. 7, p. 1225-1231, 2009.

MACHADO, Heloísa Polese. Comunicação turística do Vale dos Vinhedos, RS (Brasil): sentidos de enoturismo veiculados no site da Associação dos Produtores de Vinhos finos do Vale dos Vinhedos (APROVALE). 2023.

MALACRIDA, Cassia Roberta; MOTTA, S. da. Antocianinas em suco de uva: composição e estabilidade. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v. 24, n. 1, p. 59-82, 2006.

MANNS, David C. et al. Decreasing pH results in a reduction of anthocyanin coprecipitation during cold stabilization of purple grape juice. **Molecules**, v. 20, n. 1, p. 556-572, 2015.

MARTÍNEZ-LAPUENTE, Leticia et al. Changes in polysaccharide composition during sparkling wine making and aging. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 50, p. 12362-12373, 2013.

MATEUS, N et al., (2001). Occurrence of anthocyanin-derived pigments in red wines. **Journal of agricultural and food chemistry**, 49(10), 4836–4840. <https://doi.org/10.1021/jf001505b>

MAZZA, Giuseppe; MINIATI, Enrico. **Anthocyanins in fruits, vegetables, and grains**. CRC press, 2018.

MEDINA-PLAZA, Cristina et al. Effect of storing conditions (lighting, temperature and bottle color) on rosé wine attributes. **Food Chemistry**, v. 439, p. 138032, 2024.

MELÉNDEZ, M. E. et al. Psychophysical parameters of colour and the chemometric characterisation of wines of the certified denomination of origin 'Rioja'. **Analytica chimica acta**, v. 446, n. 1-2, p. 157-167, 2001.

MESQUITA, Jessica Lea et al. Analysis of pyranoanthocyanins, polymeric pigments and colour parameters in Port wines. **Oeno One**, v. 58, n. 1, 2024.

MILINČIĆ, Danijel D. et al. A bioaccessibilidade de compostos fenólicos derivados da uva: uma visão geral. **Foods**, v. 14, n. 4, p. 607, 2025.

MORAES, Vitória Demétrio et al. Produção de vinhos no cerrado: variedades de uvas e técnicas de produção. 2021.

MORATA, Antonio et al. Formation of pyranoanthocyanins by *Schizosaccharomyces pombe* during the fermentation of red must. **International journal of food microbiology**, v. 159, n. 1, p. 47-53, 2012.

MORENO-ARRIBAS, M. Victoria; POLO, María Carmen (Ed.). **Wine chemistry and biochemistry**. New York, NY, USA:: Springer, 2009.

NASCIMENTO, Amanda Lais Alves Almeida. Study of strategies to improve the bioavailability of anthocyanins. 2024.

OFOEDU, Chigozie E. et al. Comparative evaluation of physicochemical, antioxidant, and sensory properties of red wine as markers of its quality and authenticity. **International Journal of Food Science**, v. 2022, n. 1, p. 8368992, 2022.

OIV. **Determination of chromatic characteristics according to CIELab**. Compendium of International Analysis of Methods, (Chromatic Characteristics), 2006. p.1– 16.

OIV – Organisation Internationale de la Vigne et du Vin. **Compendium of International Methods of Analysis of Wines and Musts**. Paris: OIV, 2009.

OIV – ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DA VINHA E DO VINHO. **State of the World Vine and Wine Sector in 2024**. Paris: OIV, 2024.

PATI, Sandra et al. Evolução de compostos fenólicos e voláteis durante o armazenamento em garrafa de um vinho branco sem adição de sulfito. **Journal of the Science of Food and Agriculture** , v. 100, n. 2, p. 775-784, 2020.

PELONNIER-MAGIMEL, Edouard et al. Color characterization of bordeaux red wines produced without added sulfites. **Foods**, v. 12, n. 12, p. 2358, 2023.

PEREZ, Maria Luiza Nonato. **Análise do comportamento de compra, inovação e envolvimento do consumidor brasileiro de vinhos**. 2020. Tese de Doutorado.

PERES, Stephanie et al. Rose wine market: anything but colour?. **Foods**, v. 9, n. 12, p. 1850, 2020.

PÉREZ-MAGARIÑO, Silvia; GONZÁLEZ-SAN JOSÉ, M. Luisa. Prediction of red and rosé wine CIELab parameters from simple absorbance measurements. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 82, n. 11, p. 1319-1324, 2002.

PÉREZ-MAGARIÑO, Silvia; GONZÁLEZ-SAN JOSÉ, Luisa. Relações entre parâmetros colorimétricos de vinhos rosé avaliados por diferentes métodos. **Journal of Wine Research** , v. 17, n. 1, p. 35-43, 2006.

PERTILLE, I. et al. Caracterização química de vinhos rosés 'Merlot' da safra 2023 com uvas de diferentes sistemas de condução. 2025.

PEYNAUD, Emile; BROADBENT, John Michael; SCHUSTER, Michael. The taste of wine: the art and science of wine application. **(No Title)**.

PINHEIRO, Débora Fernandes et al. Grape Juice and Red Wine: Composition, Processing, and Health Implications. **Food and Humanity**, p. 100828, 2025.

PUÉRTOLAS, E. et al. Evolution of polyphenolic compounds in red wine from Cabernet Sauvignon grapes processed by pulsed electric fields during aging in bottle. **Food Chemistry**, v. 119, n. 3, p. 1063-1070, 2010.

RANKINE, B. C. Making good wine: a manual of winemaking practice for Australia and New Zealand/Bryce Rankine; with an introduction by Maynard A. Amerine. **South Melbourne: Sun Books**, 1989.

REMY-TANNEAU, Sophie et al. Characterization of a colorless anthocyanin-flavan-3-ol dimer containing both carbon-carbon and ether interflavanoid linkages by NMR and mass spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 12, p. 3592-3597, 2003.

RINALDI, Alessandra et al. Effect of oxidation on color parameters, tannins, and sensory characteristics of Sangiovese wines. **European Food Research and Technology**, v. 247, n. 12, p. 2977-2991, 2021.

RIBÉREAU-GAYON, P.; STONESTREET, E. Determination of anthocyanins in red wine. **Bulletin de la Societe chimique de France**, v. 9, p. 2649-2652, 1965.

RIBÉREAU-GAYON, Pascal et al. (Ed.). **Handbook of enology, Volume 1: The microbiology of wine and vinifications**. John Wiley & Sons, 2006.

RICCI, Arianna et al. The Role of Copigmentation in Colour Attributes and Their Evolution in Model Wine: A Thermodynamic and Colorimetric Study. **Foods**, v. 14, n. 14, p. 2467, 2025.

ROUBERT, J. Determination rapide du “nombre de couleurs” des vins rouges. **La France Viticole**, v. 9, p. 71-73, 1977.

ROSÉ WINES WORLD TRACKING. **Rosé wine consumption and production data 2022**. 2022. Disponível em: <https://www.rosewinesworldtracking.com/>. Acesso em: 31 jul. 2025.

SALAS, Erika et al. Reactions of anthocyanins and tannins in model solutions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 27, p. 7951-7961, 2003.

SALAS, Erika, et al. "Structure determination and colour properties of a new directly linked flavanol–anthocyanin dimer." **Tetrahedron Letters** 45.47 (2004): 8725-8729.

SACCHI, K. L.; BOU-MILHEM, K.; BERRI, S.; BERG, H. W. The effect of light exposure on wine color and phenolics. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 56, n. 3, p. 208–214, 2005.

SAUCIER, C.; GIL, M.; REYNES, C.; ÁVILA, F.; LOUAZIL, P.; CAZALS, G.; CHEYNIER, V.; ENJALABAL, C.; ITURMENDI, N.; SANTOS, L.; SABATIER, R.; MOINE, V.. Além das cores dos vinhos rosés: impacto da origem e da tecnologia de vinificação em suas composições de cor, polifenóis e tióis. Série de conferências IVES, **OENO IVAS** 2019.

SAUNDERS, David. **Cor, Medição de Cor e Mudança de Cor** . Routledge, 2024.

SOMERS, Thomas Christopher. The polymeric nature of wine pigments. **Phytochemistry**, v. 10, n. 9, p. 2175-2186, 1971.

SOUFLEROS, E. The phenolic potential of wines from French grape varieties Cabernet Sauvignon, Merlot and Syrah cultivated in the region of Thessaloniki (Northern Greece) and its evolution during aging. **Food and Nutrition Sciences**, 7, 122-137.

SUDRAUD, P. Interpretation des courbes d'absorption des vins rouges. **Ann. Technol. Agric**, v. 7, n. 2, p. 203-208, 1958.

TEIXEIRA, António et al. Berry phenolics of grapevine under challenging environments. **International journal of molecular sciences**, v. 14, n. 9, p. 18711-18739, 2013.

TIMBERLAKE, C. F.; BRIDLE, P. Flavylum salts, anthocyanidins and anthocyanins II.—Reactions with sulphur dioxide. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 18, n. 10, p. 479-485, 1967.

TROUILLAS, Patrick et al. Stabilizing and modulating color by copigmentation: Insights from theory and experiment. **Chemical reviews**, v. 116, n. 9, p. 4937-4982, 2016.

VAN LEEUWEN, Cornelis; SEGUIN, Gerard. The concept of terroir in viticulture. **Journal of wine research**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2006.

VIEIRA, C. B. M. **Análise Cromatográfica de Substâncias Voláteis Em Vinhos Do Rio Grande Do Sul**. Centro Federal De Educação Tecnológica De Minas Gerais Departamento De Química Curso De Química Tecnológica. 2013.

WANG, Zhaoxiang et al. Non-acylated and acylated anthocynins in red wines of different ages: Color contribution and evaluation. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 115, p. 104951, 2023.

WATERHOUSE, Andrew L.; LAURIE, V. Felipe. Oxidation of wine phenolics: A critical evaluation and hypotheses. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 57, n. 3, p. 306-313, 2006.

WATERHOUSE, Andrew L.; SACKS, Gavin L.; JEFFERY, David W. **Understanding wine chemistry**. John Wiley & Sons, 2024.

WYSZECKI, Günther; STILES, Walter Stanley. **Ciência das cores: conceitos e métodos, dados quantitativos e fórmulas** . John Wiley & Sons, 2000.

WIMALASIRI, P. et al. Pinot noir wine produced using whole bunches has reduced colour and phenolic concentrations, but different sensory characteristics compared to destemmed wines. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 59, n. 6, p. 3346–3355, 2023.

WIMALASIRI, Pradeep M. et al. Colour characterisation of two-year-old Pinot noir wines by UV–Vis spectrophotometry and tristimulus colourimetry (CIELab): Effect of whole bunch or grape stems addition. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 3, p. 1176-1185, 2023.

WIRTH, Jérémie et al. Impact of post-bottling oxygen exposure on the sensory characteristics and phenolic composition of Grenache rosé wines. **Food Chemistry**, v. 132, n. 4, p. 1861-1871, 2012.

WORLD ROSÉ OBSERVATORY. **Economic Report – Rosé Wines World Tracking**. Aix-en-Provence: Centre du Rosé, 2025.

ZAMORA, F. **Elaboración y crianza del vino tinto: aspectos científicos y prácticos**. AMV. Madrid, 229p., 2003.

ZHANG, Hua-Lin et al. Effects of phenolic evolution on color characteristics of single-cultivar *Vitis vinifera* L. Marselan and Merlot wines during vinification and aging. **Foods**, v. 13, n. 3, p. 494, 2024.

ZHAO, Meijing et al. Colour properties and tannin concentrations of polymeric phenolic materials extracted from Pinot Noir wines of a single NZ producer. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 9, p. 4761-4769, 2023.

ZOECKLEIN, Bruce W. et al. Microbiology of winemaking. In: **Wine Analysis and Production**. Boston, MA: Springer US, 1999. p. 280-302.

## **12. APÊNDICE I: Metodologia para açúcares redutores**

### **Preparo de amostra**

1. Descarbonatar previamente as amostras em agitador magnético;
2. Amostras de início de tomada de espuma devem ser diluídas na proporção: 20 mL de amostra em um balão de 100 mL de água destilada (5 diluições);
3. Amostras de espumantes após licor de expedição devem sofrer a inversão do açúcar (processo descrito abaixo);
4. Amostras de vinho tinto devem ser descoloradas. Em 100 mL de vinho tinto, adicionar uma colher (chá) de carvão e homogeneizar. Aguardar entre 5 a 10 minutos e filtrar com papel Whatman número 1.

### **Titulação**

1. Selecionar um erlenmeyer de boca larga;
2. Com óculos de proteção, adicionar 5 mL de Fehling A e 5 mL de Fehling B;
3. Adicionar 3 gotas de solução anti-espumante e completar o volume com água destilada até 50 mL;
4. Com luvas para calor, colocar o erlenmeyer em aquecimento e aguardar a fervura, homogeneizando-o frequentemente;
5. Adicionar a amostra (sem diluição, diluída, invertida ou descolorada) na bureta e posicioná-la acima do erlenmeyer em aquecimento;
6. Quando iniciar a fervura da solução Fehling A + Fehling B, iniciar a titulação;
7. Com luvas para calor, homogeneizar frequentemente o erlenmeyer;
8. Titular até o primeiro ponto de viragem com perda da coloração inicial;
9. Adicionar 2 gotas de azul de metileno 1%;
10. Continuar com a titulação até o segundo ponto de virgem com coloração alaranjada ou perda de tonalidade azul;
11. Anotar os mL gastos na titulação;

**Cálculo do resultado:**

**Fator do Fehling / mL gastos x fator da diluição = g/L de açúcares  
redutores**

- Fator de diluição amostras sem diluição = 1
- Fator de diluição amostras de início de tomada = 5
- Fator de diluição inversão espumante categoria brut ou extra-brut = 5
- Fator de diluição inversão espumante categoria demi-sec = 10

### 13. APÊNDICE II: Metodología para pH com pHmetro Hach HQ 40d ou Séries

#### Preparo de amostra

1. Amostras de mosto em fermentação, vinho base e espumante devem ser descarbonatadas;
2. Amostras de mosto não necessitam de descarbonatação prévia.

#### Medição pH com pHmetro Hach Series

1. Ligar o pHmetro;
2. Realizar a calibração diária selecionando a opção “calibrar”;
3. Inserir o eletrodo na solução pH 4,00 e apertar o botão ler;
4. Aguardar o resultado, enxaguar o eletrodo com água destilada e secá-lo com papel higiênico macio;
5. Inserir o eletrodo na solução pH 7,00 e apertar o botão ler;
6. Aguardar o resultado, enxaguar o eletrodo com água destilada e secá-lo com papel higiênico macio;
7. Salvar a calibração;
8. Inserir o eletrodo na amostra, apertar o botão ler e aguardar o resultado;
9. Enxaguar o eletrodo com água destilada e secá-lo com papel higiênico macio.

**Importante:** Os eletrodos devem permanecer em solução de repouso KCl 3 M. Essa solução deve ser substituída uma vez por semana.

## **14. APÊNDICE III: Metodologia para SO<sub>2</sub> livre e total - titulador automático**

### **Preparo de amostra**

1. Amostras de espumante devem ser levemente descarbonatadas em agitador magnético;
2. Amostras de vinho base não necessitam de descarbonatação prévia.

### **Preparo do titulador**

1. Verificar o nível das soluções iodo N/64, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3N e KOH 2,5N;
2. Verificar se há formação de bolhas de ar na seringa 2;
3. Caso ocorra presença de bolhas, no menu inicial selecionar o modo Purga;
4. Posicionar um bécker de descarte logo abaixo da saída das mangueiras;
5. Selecionar a purga de Todos os elementos e aguardar a finalização;
6. Após a mensagem “Sequência de purga completa”, selecionar Ok e clicar e Saída para retornar ao menu inicial.

### **Determinação de SO<sub>2</sub> livre e total - eletrodo MTC 695**

1. Pipetar 50 mL de amostra no frasco plástico de fundo largo com marcação para 50 mL;
2. Adicionar uma barra magnética no interior do frasco;
3. Acoplar o frasco ao equipamento, posionando-o no centro da demarcação;
4. Regular a altura do frasco até que o mesmo encoste na base do equipamento;
5. Inserir o eletrodo no interior do frasco;
6. Selecionar o método SO<sub>2</sub> Chandon e aguardar a configuração do método;
7. Selecionar Início;
8. Aguardar a titulação e o resultado automático da amostra;
9. Selecionar a tecla Próximo;

10. Se a medição for instável, clicar em Replicar amostra e Selecionar;
11. Pipetar novamente a amostra em um novo frasco e iniciar uma nova leitura;
12. Caso contrário, selecionar Nova amostra ou Saída para salvar o resultado e retornar ao menu inicial;
13. Remover o eletrodo da amostra, enxaguá-lo com água destilada e secá-lo com papel higiênico macio;
14. Soltar o frasco do equipamento e descartar a amostra;

**Importante:** O equipamento expressa automaticamente o teor de SO<sub>2</sub> livre e combinado. Para obter o SO<sub>2</sub> total, deve-se somar os dois resultados (livre + combinado).

## 15. APÊNDICE IV: Metodologia para Acidez total - titulador automático

**Importante:** Não utilizar o titulador automático para amostras de mosto e mosto em fermentação, em virtude da turbidez e compatibilidade da sonda

### Preparo de amostra

1. Amostras de vinho base e espumante devem ser descarbonatadas em agitador magnético.

### Calibração do eletrodo PHC725

1. Diariamente, antes das medições, deve-se realizar a calibração do eletrodo PHC725;
2. Ligar o equipamento e aguardar a inicialização;
3. Selecionar o modo Calibração e Calibração de eletrodo;
4. Remover o eletrodo da solução de repouso, enxaguá-lo com água destilada e secá-lo com papel higiênico macio;
5. Remover o tampão do orifício do eletrodo e mante-lo aberto;
6. Mergulhar o eletrodo em um bécker com solução tampão pH 7, cuidando para que o mesmo fique submerso na solução e não bata no fundo do bécker;
7. Selecionar a tecla Início e aguardar o resultado;
8. Caso o resultado seja diferente de 7,00, com as teclas ▲ ▼ ajustar o valor e clicar em Selecionar;
9. Aguardar o resultado final em 7,00 e clicar na tecla Sim para continuar com a calibração;
10. Remover o eletrodo da solução tampão pH 7, enxaguá-lo com água destilada e secá-lo com papel higiênico macio;
11. Mergulhar o eletrodo em um bécker com solução tampão pH 4, cuidando para que o mesmo fique submerso na solução e não bata no fundo do bécker;

12. Selecionar a tecla Início e aguardar o resultado;
13. Caso o resultado seja diferente de 4,00, com as teclas ▲ ▼ ajustar o valor e clicar em Selecionar;
14. Aguardar o resultado final em 4,00 e clicar na tecla Não para finalizar a calibração;
15. Clicar na tecla Validar para aceitar a calibração e aguardar o retorno ao menu inicial;
16. Remover o eletrodo da solução tampão pH 4, enxaguá-lo com água destilada e secá-lo com papel higiênico macio.

**Importante:** As soluções tampão devem ser descartadas após a calibração e não devem retornar ao frasco original.

### **Preparo do titulador**

1. Verificar o nível da solução NaOH 0,1N;
2. Verificar se há formação de bolhas de ar na seringa 1;
3. Caso ocorra presença de bolhas, no menu inicial selecionar o modo Purga;
4. Posicionar um bécker de descarte logo abaixo da saída das mangueiras;
5. Selecionar a purga de Todos os elementos e aguardar a finalização;
6. Após a mensagem “Sequência de purga completa”, selecionar Ok e clicar em Saída para retornar ao menu inicial.

### **Determinação de acidez total**

1. Pipetar 25 mL de amostra no frasco plástico de fundo estreito com marcação para 25 mL;
2. Adicionar uma barra magnética no interior do frasco;
3. Acoplar o frasco ao equipamento, posionando-o no centro da demarcação;

4. Regular a altura do frasco até que o mesmo encoste na base do equipamento;
5. Inserir o eletrodo no interior do frasco, com orifício aberto e adaptador para regulagem de altura;
6. Selecionar o método Acidez Chandon e aguardar a configuração do método;
7. Selecionar Início e aguardar a homogeneização da amostra;
8. Aguardar a titulação e o resultado automático da amostra;
9. Selecionar a tecla Próximo;
10. Se a medição for instável, clicar em Replicar amostra e Selecionar;
11. Pipetar novamente a amostra em um novo frasco e iniciar uma nova leitura;
12. Caso contrário, selecionar Nova amostra ou Saída para salvar o resultado e retornar ao menu inicial;
13. Remover o eletrodo da amostra, enxaguá-lo com água destilada e secá-lo com papel higiênico macio;
14. Soltar o frasco do equipamento e descartar a amostra;

**Importante:** Ao final das análises, manter o eletrodo em solução de repouso KCl 3M com o orifício fechado. A solução de repouso deve ser substituída uma vez por semana, a fim de evitar a formação de mofo.

## **16. APÊNDICE V: Metodologia para Cor - espectrofotômetro**

### **Preparo de amostra**

1. Amostras de mosto em fermentação e espumante devem ser descarbonatadas em agitador magnético;
2. Amostras de mosto e vinho base não necessitam de descarbonatação prévia;
3. Filtrar a amostra em membrana 0,65 micras e adicioná-la na cubeta, até completar no mínimo 2/3 da sua capacidade.

### **Medição de cor**

1. Ligar o espectrofotômetro e aguardar a auto-verificação;
2. Selecionar o método fotométrico e clicar em 8λ;
3. Abrir a tampa do equipamento e posicionar uma cubeta de água destilada em cada um dos compartimentos;
4. Observar que a face não opaca da cubeta deve estar direcionada ao leitor do espectrofotômetro;
5. Fechar a tampa do equipamento;
6. Realizar a correção de base e em seguida o auto-zero;
7. Manter a cubeta trazeira de água destilada e remover a cubeta frontal;
8. Na posição frontal, inserir a cubeta da amostra;
9. Fechar a tampa do equipamento;
10. Clicar em Ler e aguardar o resultado;
11. Remover a cubeta do equipamento e descartar a amostra;
12. Lavar a cubeta com água e colocá-la de molho em detergente Extran.

### **Medição de cor em vinhos tintos**

1. Utilizar cubeta de 2 mm e adaptador;
2. Prosseguir com os passos descritos anteriormente;
3. Multiplicar os resultados por 5 (fator de correção da cubeta).

**Importante**

1. Entre uma amostra e outra, deve-se fazer o auto-zero posicionando as duas cubetas de água destilada no equipamento;
2. Se o espectrofotômetro permanecer por um longo tempo em funcionamento, deve-se repetir a operação correção de base;

**Resultados**

**IC (intensidade corante) = leitura 420 nm + leitura 520 nm + leitura  
620 nm**

**Matiz = leitura 420 nm / leitura 520 nm**

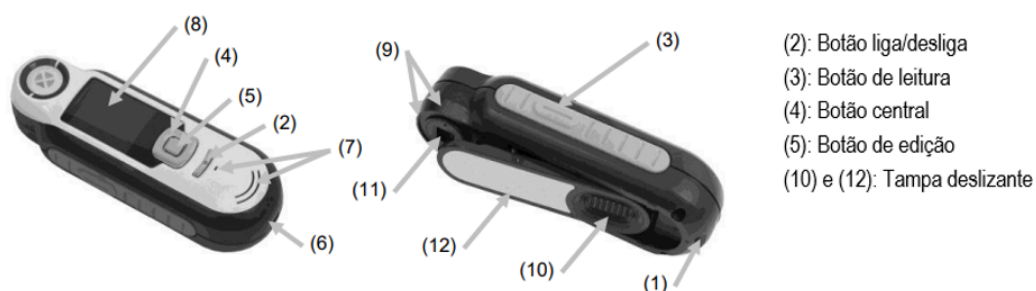
## **17. APÊNDICE VI: Metodologia para Cor - colorímetro**

### **Calibração**

1. Ligar o equipamento;
2. Fechar a tampa deslizante situada na parte de trás do equipamento e mantê-lo na posição horizontal;
3. Pressionar a tecla Medir situada na lateral esquerda e aguardar a conclusão da calibração.

### **Análise de cor**

1. Filtrar a amostra com auxílio de seringa e filtro membrana 0,65 micras;
  2. Adicionar a amostra em cubeta de 5 mm, enchendo-a por no mínimo 2/3 da sua capacidade;
  3. Posicionar a cubeta no adaptador do suporte, conforme indicado na posição 3 da imagem a seguir:
- 
4. Abrir a tampa deslizante do equipamento e posicioná-lo no suporte (posição 1 da imagem anterior);
  5. Tampar com a tampa protetora (posição 2);
  6. Pressionar a tecla Medir situada na lateral esquerda e aguardar a conclusão da medição;
  7. No botão central do equipamento, selecionar a tecla que orienta para baixo e verificar os resultados da medição.



## Resultados

Os resultados obtidos são coordenadas cartesianas  $L^*a^*b$  e coordenadas polares  $L^*C^*h^*$ .

L: luminosidade da amostra, sendo de 0 (preto) a 100 (branco).

a: eixo verde ( $a < 0$ ) a vermelho ( $a > 0$ ).

b: eixo azul ( $b < 0$ ) a amarelo ( $b > 0$ ).

C: eixo saturação, de 0 no meio do círculo (insaturada, cor neutra) a 100 na borda (cor saturada, cor pura).

h: eixo nuance. Medição angular de  $0^\circ$  (vermelho) a  $90^\circ$  (amarelo), de  $180^\circ$  (verde) a  $270^\circ$  (azul) e voltando para  $0^\circ$ .

## 18. APÊNDICE VII: Resumo MTC

### A colorimetria como ferramenta de diferenciação em processos enológicos

Larissa Moro Goulart<sup>1</sup>; Roberta Schmatz<sup>1\*</sup>; Evandro Ficagna<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) - *Campus* Bento Gonçalves. Bento Gonçalves, RS, Brasil.

\*Orientador(a); \*\*Coorientador

A cor desempenha papel central na percepção de qualidade dos espumantes rosés, influenciando diretamente sua aceitação no mercado e sendo fator decisivo na escolha do consumidor. O crescimento expressivo do consumo de vinhos rosés nos últimos anos, associado à busca por produtos visualmente atrativos, motivou este estudo, que visa compreender como a coloração se comporta durante a elaboração e após o engarrafamento de espumantes brut rosés elaborados pelo método Charmat. O objetivo principal foi acompanhar a evolução cromática ao longo das etapas produtivas, utilizando abordagens instrumentais complementares para análise de cor: espectrofotometria UV-Vis, com leitura das absorvâncias em 420, 520 e 620 nm, e colorimetria no sistema CIELAB, por meio das coordenadas L\*, a\*, b\*, croma (C\*) e ângulo de matiz (h°). As amostras foram coletadas de forma sistemática desde o início da segunda fermentação até dezesseis meses após o engarrafamento, abrangendo fases como tomada de espuma, maturação, estabilização a frio, filtração tangencial, adição do licor de expedição e engarrafamento. Também foram incluídas simulações laboratoriais com adição de acetaldeído para avaliar a interferência do dióxido de enxofre na medição de cor, além de soluções modelo com diferentes proporções de vinho tinto em base branca, a fim de validar a sensibilidade dos métodos. Os resultados demonstraram que os maiores desvios cromáticos ocorrem nos primeiros dias da segunda fermentação, com aumento da coordenada a\* e da absorvância a 520 nm, indicando intensificação da coloração vermelha. Com o avanço da maturação, observou-se estabilização nos parâmetros L\* e C\*, enquanto b\* e h° apresentaram oscilações moderadas, principalmente após a adição do licor de expedição. A análise comparativa evidenciou forte correlação entre a\* e A520, confirmando a convergência entre os métodos, sendo a colorimetria mais eficaz para detectar variações visuais sutis. Com base nos dados obtidos, foi possível elaborar um protocolo técnico para análise cromática em espumantes e propor o desenvolvimento de uma plataforma digital voltada ao monitoramento da cor durante a produção e o armazenamento. Conclui-se que a análise instrumental integrada é uma ferramenta valiosa para a padronização visual dos espumantes rosés, auxiliando no controle de qualidade e agregando valor competitivo ao produto final.

**Palavras-chave:** espumante rosé; espectrofotômetro; colorimetria CIELAB; evolução da cor; engarrafamento.

Trabalho executado com recursos do EDITAL PROPPI Nº 18/2024 – FOMENTO INTERNO PARA PROJETOS DE PESQUISA E INOVAÇÃO 2025.

## 19. APÊNDICE VIII: Resumo 10º Salão de Pesquisa, Ensino e Extensão

### **Avaliação cromática de espumantes rosés durante a elaboração e após o engarrafamento: um estudo de caso com abordagem instrumental**

Larissa Moro Goulart<sup>1</sup>; Roberta Schmatz<sup>1\*</sup>; Evandro Ficagna<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) -  
*Campus Bento Gonçalves*. Bento Gonçalves, RS, Brasil.

\*Orientador(a); \*\*Coorientador

#### **INTRODUÇÃO**

A cor desempenha papel fundamental na percepção de qualidade de vinhos e espumantes, atuando como um dos primeiros atributos avaliados pelo consumidor e influenciando de forma decisiva a expectativa sensorial em relação à bebida. Entre os diferentes estilos, os espumantes rosés destacam-se não apenas pelo frescor e perfil aromático característico, mas sobretudo pela aparência visual, considerada um dos principais fatores de atratividade mercadológica. Nas últimas décadas, observou-se um crescimento expressivo no consumo de vinhos rosés, impulsionado por tendências globais que privilegiam bebidas mais leves, frescas e visualmente marcantes. Esse movimento também impactou a produção de espumantes, consolidando os rosés como produtos estratégicos para a indústria vitivinícola.

A definição da cor nos espumantes rosés resulta de uma série de fatores, incluindo a escolha da base vínica, a utilização de vinhos tintos para a correção cromática, o tempo de contato com cascas durante a vinificação e os processos oxidativos e redutivos que ocorrem ao longo da fermentação e do envelhecimento. No entanto, a instabilidade cromática continua sendo um dos maiores desafios para enólogos e pesquisadores. A degradação de antocianinas, a copigmentação e as reações com compostos como o dióxido de enxofre e o acetaldeído influenciam não apenas a intensidade da cor, mas também sua estabilidade ao longo do tempo. Estudos clássicos e recentes apontam que a preservação da tonalidade rosada depende de uma complexa interação entre fatores químicos, físico-químicos e tecnológicos.

Diante desse cenário, este estudo buscou responder ao seguinte problema de

pesquisa: de que forma ocorre a evolução cromática de espumantes rosés elaborados pelo método Charmat durante a segunda fermentação e ao longo da maturação em garrafa, e quais metodologias instrumentais se mostram mais eficazes para monitorar essas transformações? A justificativa para tal investigação reside na necessidade de estabelecer protocolos técnicos que assegurem maior controle enológico, padronização visual e estabilidade cromática do produto. Assim, definiu-se como objetivo geral avaliar a evolução da cor de espumantes brut rosés desde a segunda fermentação até dezesseis meses após o engarrafamento, empregando espectrofotometria UV-Vis e colorimetria no sistema CIELAB.

## **METODOLOGIA**

A pesquisa foi conduzida em parceria com a vinícola Chandon, localizada na Serra Gaúcha, RS. O lote experimental analisado consistiu em um espumante brut rosé elaborado pelo método Charmat, a partir de uma base branca composta por Pinot Noir, Chardonnay e Riesling Itália, corrigida com um assemblage de vinho tinto até a obtenção da tonalidade desejada.

As amostragens foram conduzidas em diferentes fases da elaboração, de modo a contemplar os momentos de maior relevância para a evolução cromática. Durante a tomada de espuma, considerada a etapa mais sensível em função da intensa atividade fermentativa e das transformações nos pigmentos, realizaram-se coletas diárias nos primeiros dez dias, seguidas de coletas semanais até a conclusão da segunda fermentação. Na sequência, as análises abrangeram a fase de maturação em tanque a 6 °C, etapa essencial para a estabilização físico-química do produto e para a preservação da cor. Também foram avaliados os efeitos da estabilização a frio, procedimento crítico para a remoção de sais e proteínas instáveis que podem interferir na limpidez e no brilho do espumante. A filtração tangencial foi incluída por sua relevância na clarificação final e por potencialmente impactar a intensidade da cor. Posteriormente, foram monitoradas as alterações decorrentes da adição do licor de expedição, etapa na qual há influência direta na composição e na percepção visual. O

engarrafamento foi acompanhado por representar a transição entre o ambiente controlado do tanque e o início do envelhecimento em garrafa. Finalmente, procedeu-se ao monitoramento periódico do espumante já engarrafado, de modo a compreender a estabilidade cromática durante a maturação e a vida útil do produto.

Foram aplicadas duas metodologias de análise instrumental. A espectrofotometria UV-Vis foi realizada em espectrofotômetro Shimadzu UV-1900, com medições em 420 nm, 520 nm e 620 nm. A colorimetria foi conduzida com o equipamento Nomasense P1000, no sistema CIELAB, fornecendo as coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , além do cálculo de croma ( $C^*$ ) e ângulo de matiz ( $h^\circ$ ). Ensaio com soluções modelo também foram preparados. Em um deles, a base branca foi ajustada com proporções crescentes de vinho Marselan, simulando diferentes intensidades de cor. Outro ensaio avaliou a interferência de compostos como acetaldeído e dióxido de enxofre

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados mostraram que a fase de tomada de espuma foi a mais crítica em termos de variação cromática. A coordenada  $a^*$  apresentou crescimento progressivo até o oitavo dia, indicando intensificação da tonalidade vermelha, acompanhada pelo aumento da absorbância a 520 nm. A coordenada  $L^*$  sofreu leve queda inicial, atribuída à turvação da matriz e à formação de novos compostos durante a fermentação. A partir da estabilização a frio, houve recuperação gradual, mantendo-se estável durante a maturação em garrafa. A coordenada  $b^*$  apresentou pequenas oscilações, com discreto aumento nos primeiros dias do processo de elaboração e tendência de estabilização após o engarrafamento. O ângulo de matiz ( $h^\circ$ ) reduziu-se durante a segunda fermentação, refletindo intensificação do vermelho, e mostrou oscilações suaves nos meses posteriores.

Durante a maturação, observou-se relativa estabilidade cromática, embora pequenas variações tenham ocorrido em função da ação do dióxido de enxofre e de fenômenos oxidativos naturais. A luminosidade recuperou-se gradualmente, contribuindo para um aspecto mais brilhante do espumante após o engarrafamento.

Nos ensaios modelo, a correlação entre as proporções de vinho Marselan e os valores de  $a^*$  e  $A_{520}$  foi consistente, validando a sensibilidade das metodologias. Já os testes com dióxido de enxofre evidenciaram que concentrações elevadas influenciam significativamente as leituras de  $b^*$  e  $h^\circ$ , reforçando a importância do controle enológico desse composto.

Os resultados obtidos estão em consonância com estudos anteriores que destacam a instabilidade cromática dos vinhos rosés. A intensificação inicial da tonalidade vermelha, seguida de estabilização, confirma a hipótese de que a tomada de espuma é a etapa mais crítica para o acompanhamento cromático. A redução da luminosidade ( $L^*$ ) durante a fermentação e sua recuperação posterior refletem processos de clarificação e estabilização coloidal. A oscilação discreta de  $b^*$  e  $h^\circ$  sugere que, embora menos expressivas visualmente, essas coordenadas fornecem informações relevantes sobre equilíbrio tonal e tendências oxidativas.

A análise comparativa entre os métodos demonstrou que a espectrofotometria, apesar de sua simplicidade e objetividade, não capta nuances perceptíveis para o consumidor, ao passo que a colorimetria aproxima-se mais da percepção visual. Assim, a utilização combinada das duas técnicas mostrou-se estratégica, unindo quantificação objetiva e sensibilidade estética.

Os ensaios com soluções modelo reforçaram a aplicabilidade dos métodos. A linearidade entre proporções de vinho Marselan e parâmetros cromáticos confirma a confiabilidade dos instrumentos. Já a interferência do  $SO_2$  destaca a necessidade de integração entre monitoramento químico e cromático, evitando interpretações equivocadas e garantindo maior controle sobre a estabilidade do produto.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Conclui-se que a evolução cromática de espumantes rosés elaborados pelo método Charmat é marcada por intensas variações durante a tomada de espuma e relativa estabilidade na maturação em garrafa. O uso combinado de espectrofotometria e colorimetria mostrou-se eficaz para compreender essas

alterações, oferecendo informações para o controle de qualidade e para a padronização estética.

O estudo contribui não apenas em termos científicos, mas também práticos, ao propor protocolos técnicos analíticos e de monitoramento e sugerir o desenvolvimento de uma plataforma digital de acompanhamento em tempo real. Tal inovação representa um avanço significativo para o setor, unindo enologia e tecnologia, e permitindo maior precisão na tomada de decisões.

Como perspectivas futuras, recomenda-se ampliar a pesquisa para diferentes variedades de uvas, métodos de elaboração e safras, a fim de validar a robustez dos protocolos propostos. A integração entre dados cromáticos, físico-químicos e sensoriais, aliada a soluções digitais, poderá consolidar um novo paradigma de monitoramento enológico, fortalecendo a competitividade da vitivinicultura brasileira.

**Palavras-chave:** Espumante rosé; Análise instrumental; Evolução da cor.

## 19. APÊNDICE IX: Submissão do artigo

### **Evolução cromática de espumante brut rosé durante o processo de elaboração pelo método charmat: um estudo instrumental**

**Resumo:** A cor é um dos atributos sensoriais mais relevantes para a aceitação de espumantes rosés, influenciando diretamente a percepção de qualidade e a decisão de compra. Neste estudo, avaliou-se a evolução cromática de um espumante Brut Rosé elaborado pelo método Charmat, com ênfase nas alterações ao longo das principais etapas do processo produtivo, especialmente durante a tomada de espuma, a maturação e a estabilização. Para o monitoramento da cor, foram empregadas duas abordagens instrumentais complementares: a espectrofotometria UV-Vis, por meio da determinação das absorbâncias em 420, 520 e 620 nm, e a colorimetria no sistema CIELAB, a partir dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  e  $h^\circ$ . Os resultados indicaram que a tomada de espuma foi a etapa de maior intensidade de variação cromática, com aumento temporário da tonalidade vermelha e alterações visualmente perceptíveis. Ao longo da maturação e da estabilização, observou-se uma tendência de redução da intensidade do componente vermelho, acompanhada de clareamento progressivo e reorganização dos pigmentos. O estudo demonstra que o monitoramento instrumental da cor constitui uma ferramenta essencial para o controle de qualidade de espumantes rosés, contribuindo para a compreensão dos efeitos das etapas enológicas sobre a estabilidade visual do produto.

**Palavras-chave:** antocianinas; estabilidade cromática; CIELAB; espectrofotometria UV-Vis; tomada de espuma.

### **Chromatic evolution of brut rosé sparkling wine during the charmat method production process: an instrumental study**

**Abstract:** Color is one of the most relevant sensory attributes for the acceptance of rosé sparkling wines, directly influencing the perception of quality and the purchase decision. This study evaluated the chromatic evolution of a Brut Rosé sparkling wine produced using the Charmat method, with emphasis on changes throughout the main stages of the production process, especially during secondary fermentation, maturation, and stabilization. Two

complementary instrumental approaches were used to monitor color: UV-Vis spectrophotometry, through the determination of absorbances at 420, 520, and 620 nm, and colorimetry using the CIELAB system, based on the parameters L\*, a\*, b\*, C\*, and h°. The results indicated that secondary fermentation was the stage with the greatest intensity of chromatic variation, with a temporary increase in red hue and visually perceptible changes. Throughout maturation and stabilization, a tendency towards a reduction in the intensity of the red component was observed, accompanied by progressive lightening and reorganization of the pigments. The study demonstrates that instrumental color monitoring is an essential tool for quality control of rosé sparkling wines, contributing to the understanding of the effects of winemaking steps on the visual stability of the product.

**Keywords:** anthocyanins; color stability; CIELAB; UV-Vis spectrophotometry; foam sampling.

## 1. Introdução:

O crescimento do mercado global de vinhos, especialmente de espumantes rosés, têm intensificado a demanda por estudos voltados à caracterização da qualidade, com destaque para a cor como um dos principais atributos responsáveis pela aceitação do consumidor. A percepção cromática influencia diretamente a expectativa sensorial e a decisão de compra, sendo considerada um fator determinante na avaliação e escolha do produto (LEBORGNE *et al.*, 2022; NGUYEN; DURNER, 2023; FAIRBAIRN *et al.*, 2024). Nesse contexto, a estabilidade da cor ao longo do tempo e durante o processamento assume papel estratégico, tanto do ponto de vista tecnológico quanto mercadológico.

Nos espumantes rosés, a cor resulta de um sistema complexo e dinâmico envolvendo compostos fenólicos, especialmente antocianinas, flavonóis e seus produtos de reação, cuja distribuição e estabilidade dependem fortemente das condições físico-químicas do meio (ZHANG *et al.*, 2022; EL RAYESS *et al.*, 2024). Durante a vinificação, fatores como tempo de maceração, composição do vinho base, pH, temperatura, disponibilidade de

oxigênio e interações coloidais influenciam significativamente a extração, transformação e estabilização desses compostos (LIU *et al.*, 2025).

Além disso, o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) desempenha papel fundamental na modulação da cor, atuando tanto na proteção contra a oxidação quanto na formação de complexos reversíveis com antocianinas e pigmentos derivados, afetando sua expressão cromática (HERAS-ROGER *et al.*, 2024; CHENG *et al.*, 2023).

No método Charmat, a segunda fermentação ocorre em tanques pressurizados, estabelecendo um ambiente caracterizado por baixa disponibilidade de oxigênio, aumento de pressão e intensa interação entre compostos dissolvidos e frações coloidais. Essas condições favorecem reações químicas específicas — incluindo transformações de antocianinas, copigmentação e formação de pigmentos derivados — impactando diretamente a evolução da cor durante a tomada de espuma e a estabilização (DELIĆ *et al.*, 2024; BARIS *et al.*, 2024). Dessa forma, o monitoramento cromático ao longo dessas etapas torna-se essencial para compreender os mecanismos envolvidos e otimizar a qualidade final do produto.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a evolução cromática de um espumante Brut Rosé elaborado pelo método Charmat, com foco nas transformações observadas ao longo da tomada de espuma, maturação e estabilização, utilizando espectrofotometria UV-Vis e colorimetria CIELAB.

## 2. Material e métodos

O estudo foi conduzido com um espumante Brut Rosé, safra 2022, elaborado pelo método Charmat, em escala industrial, na região da Serra Gaúcha, a partir de vinho base composto pelas cultivares Pinot Noir (40%), Chardonnay (20%) e Riesling Itália (40%). O acompanhamento experimental

contemplou as principais etapas do processo produtivo, compreendendo a tomada de espuma, a maturação a 6°C e a estabilização a -2°C. O estudo foi delimitado até a etapa de estabilização, não contemplando operações de envase, totalizando 178 dias para conclusão do experimento em cada um dos tanques. Foram acompanhados 5 tanques idênticos.

A segunda fermentação ocorreu em tanques pressurizados de 27.000L, com duração média de aproximadamente 35 dias, sendo considerada finalizada quando o teor residual de açúcares atingiu valores inferiores a 2 g/L. Após essa etapa, o espumante permaneceu em maturação a 6 °C por cerca de 134 dias, seguida de estabilização a baixa temperatura (-2 °C).

A avaliação cromática do produto foi realizada por meio de duas abordagens instrumentais complementares. A primeira consistiu na espectrofotometria na região do ultravioleta-visível (UV-Vis), com um espectrofotômetro Shimadzu UV-1900, com medições em 420 nm, 520 nm e 620 nm com determinação associada, respectivamente, aos componentes amarelado, avermelhado e azulado da cor. A partir desses dados, foi possível acompanhar a evolução dos parâmetros espectrais ao longo das diferentes etapas de elaboração.

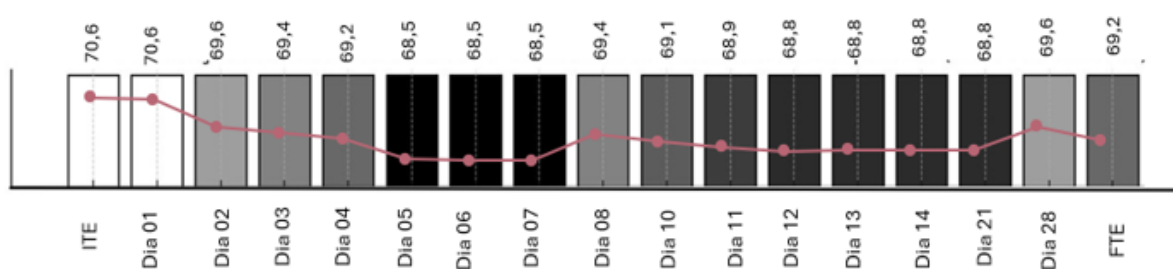
A segunda abordagem baseou-se na colorimetria pelo sistema CIELAB, por meio da determinação dos parâmetros L\* (luminosidade), a\* (eixo verde-vermelho), b\* (eixo azul-amarelo), C\* (croma) e h° (ângulo de matiz), utilizando um colorímetro Nomasense P1000. Essa metodologia permitiu descrever de forma objetiva as variações de tonalidade, saturação e luminosidade do espumante durante o processo produtivo.

Adicionalmente, foram monitorados parâmetros físico-químicos complementares, como pressão, acidez total, pH e teor de SO<sub>2</sub> livre, através de medições em manômetros, titulação ácido-base, sonda de leitura e método Ripper, respectivamente, em função de sua reconhecida influência sobre a estabilidade cromática e sobre o comportamento dos pigmentos ao longo da elaboração e do armazenamento.

### 3. Resultados e discussão

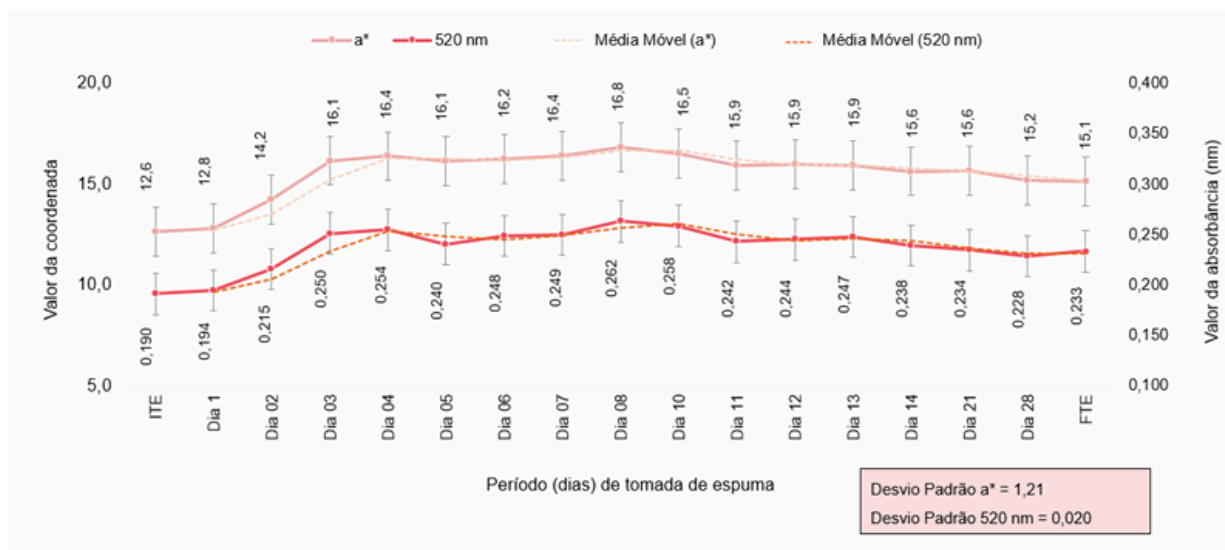
#### 3.1 Tomada de espuma

A tomada de espuma (Figura 1) representou a etapa de maior dinamismo cromático na elaboração do espumante rosé. Nesse período, observou-se redução da luminosidade (de 70,6 para 69,2), indicando leve escurecimento do produto. Esse comportamento pode estar associado ao aumento da turbidez devido à presença de leveduras em suspensão e às alterações ópticas causadas pela formação e dissolução de CO<sub>2</sub> durante a fermentação secundária, fatores que influenciam a dispersão da luz e a percepção instrumental da cor (DELÍĆ *et al.*, 2024; YAO *et al.*, 2024).



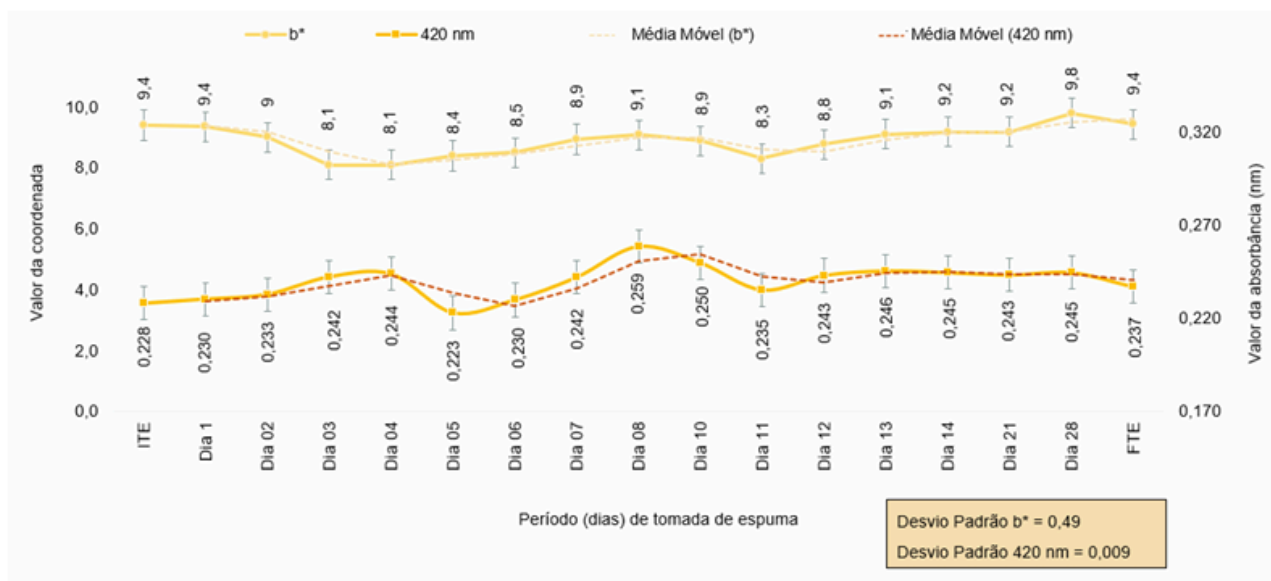
**Figura 1:** Evolução da luminosidade durante a tomada de espuma

Paralelamente, a coordenada  $a^*$  apresentou elevação expressiva nos primeiros dias da tomada de espuma, atingindo valor máximo de 16,8 no oitavo dia de fermentação, o que evidencia intensificação temporária da componente vermelha da cor (Figura 2). Esse comportamento foi acompanhado pelo aumento da absorbância em 520 nm, parâmetro classicamente relacionado à fração avermelhada dos vinhos, indicando elevada concordância entre a colorimetria CIELAB e a espectrofotometria UV-Vis. A forte correlação observada entre  $a^*$  e  $A_{520}$  reforça a aplicabilidade complementar desses métodos no monitoramento da evolução cromática de espumantes rosés, especialmente no acompanhamento das transformações das antocianinas e de pigmentos correlatos ao longo da fermentação (CHENG *et al.*, 2023; BARIS *et al.*, 2024).



**Figura 2:** Evolução da coordenada  $a^*$  e da absorbância 520nm durante a tomada de espuma

Em contraste, a coordenada  $b^*$  e a absorbância em 420 nm apresentaram apenas oscilações discretas, sugerindo formação limitada de tonalidades amareladas durante essa etapa (Figura 3). Esse resultado indica que, embora o sistema tenha sofrido mudanças cromáticas importantes, não houve predomínio de processos associados ao amarelecimento ou à evolução oxidativa mais intensa. O croma ( $C^*$ ) manteve-se relativamente estável, indicando preservação da saturação global da cor, enquanto o ângulo de matiz ( $h^\circ$ ) oscilou em resposta à dinâmica de transformação dos pigmentos, particularmente em função do equilíbrio entre antocianinas livres, formas hidratadas, complexos transitórios e compostos mais estáveis ou polimerizados formados durante a fermentação secundária (CHENG *et al.*, 2023; LIU *et al.*, 2025).

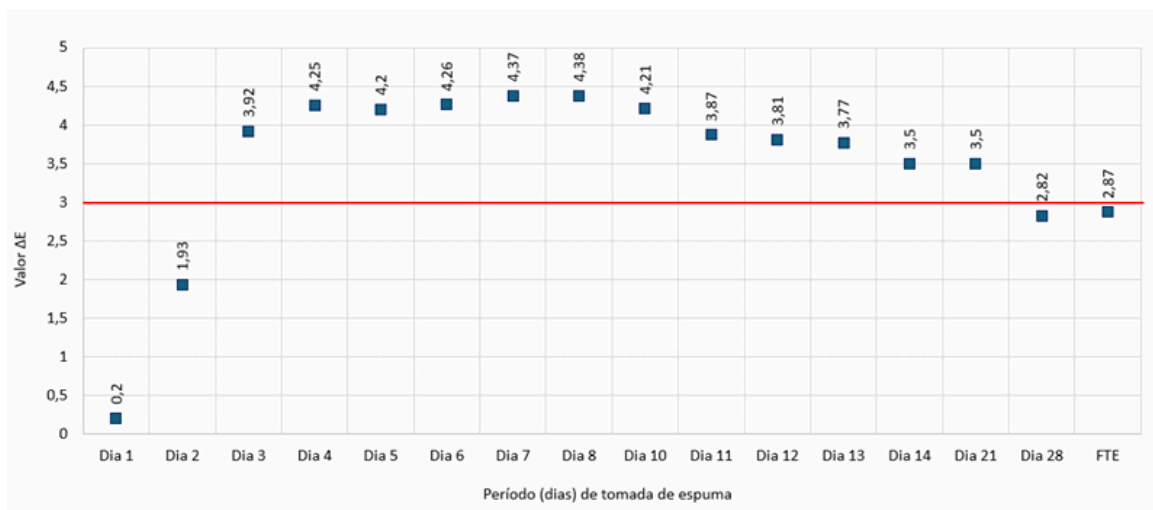


**Figura 3:** evolução da coordenada  $b^*$  e da absorbância 420nm

A magnitude dessas alterações foi confirmada pelos valores de diferença total de cor ( $\Delta E$ ), que aumentaram progressivamente em relação ao início da tomada de espuma e atingiram 4,38 no oitavo dia (Figura 4). Considerando que valores de  $\Delta E$  acima do limiar de percepção visual indicam mudanças detectáveis ao observador, esse resultado demonstra que a principal transformação cromática do espumante ocorreu justamente nos primeiros dias da segunda fermentação. Assim, a tomada de espuma não se configura apenas como uma etapa tecnológica de formação de gás e pressão, mas também como um momento decisivo para a definição do perfil visual final do produto (LAGO-VANZELA *et al.*, 2023; DELIĆ *et al.*, 2024).

Do ponto de vista físico-químico, a elevação progressiva da pressão até aproximadamente 5,4 bar contribuiu para a formação de um ambiente mais redutor, potencialmente favorável à preservação de pigmentos sensíveis à oxidação. Simultaneamente, verificou-se redução acentuada do teor de  $\text{SO}_2$  livre, especialmente nos primeiros dias da fermentação, comportamento que pode estar relacionado à sua reação com metabólitos produzidos pela atividade das leveduras, entre eles o acetaldeído. Desse modo, a evolução cromática

observada durante a tomada de espuma resulta da interação entre fenômenos fermentativos, condições redox e transformações químicas envolvendo antocianinas e seus derivados, evidenciando essa etapa como crítica para a configuração cromática final do espumante rosé (WATERHOUSE; SACKS; JEFFERY, 2024; DELIĆ *et al.*, 2024).



**Figura 4:** Evolução da diferença total de cor ( $\Delta E^*ab$ ) em relação ao ITE durante a tomada de espuma. A linha horizontal representa o limite de perceptibilidade visual ( $\Delta E = 3$ ).

### 3.2 Maturação

Durante a etapa de maturação a 6 °C, observou-se uma evolução cromática caracterizada por transformações graduais e predominantemente estabilizadoras da cor, em contraste com as variações mais intensas registradas durante a tomada de espuma. Ao longo de aproximadamente 134 dias, as coordenadas do sistema CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), bem como os parâmetros derivados ( $C^*$  e  $h^\circ$ ), evidenciaram um comportamento dinâmico, porém sem alterações abruptas, indicando um processo de reorganização progressiva do sistema fenólico do espumante.

Nas primeiras semanas (até cerca de 30 dias), as variações foram discretas, sugerindo uma fase inicial de estabilização pós-fermentativa. Esse comportamento está diretamente relacionado à baixa temperatura de

armazenamento, que reduz a cinética de reações oxidativas e de degradação de antocianinas, favorecendo a manutenção das formas monoméricas e copigmentadas (WATERHOUSE; SACKS; JEFFERY, 2024). Além disso, estudos recentes demonstram que temperaturas reduzidas retardam significativamente a perda de antocianinas e a evolução para tonalidades amareladas, reforçando o papel do controle térmico na estabilidade cromática de vinhos rosés (MEDINA-PLAZA *et al.*, 2024).

A partir de aproximadamente 60 dias, observa-se um ponto de inflexão nos parâmetros cromáticos. A coordenada  $L^*$  apresentou aumento progressivo, indicando um clareamento da matriz, fenômeno frequentemente associado à sedimentação de partículas coloidais e à autólise de leveduras. Esse processo promove a liberação de manoproteínas e polissacarídeos, que contribuem para a estabilização coloidal e interação com compostos fenólicos, influenciando a expressão da cor (LIU *et al.*, 2025).

Paralelamente, a coordenada  $a^*$  apresentou comportamento não linear, com picos intermediários seguidos de declínio, refletindo a redução da intensidade do vermelho vivo. Esse padrão é consistente com a transformação de antocianinas livres em formas mais estáveis, como piranoantocianinas e pigmentos poliméricos, além de reações de condensação com taninos (BARIS, 2024). Em vinhos rosés e espumantes rosés, essa dinâmica é particularmente sensível devido à menor concentração inicial de antocianinas, o que torna o sistema mais suscetível a perdas cromáticas (BONNARDEL *et al.*, 2024; PUERTA-GARCÍA *et al.*, 2025).

A coordenada  $b^*$  apresentou leve redução e posterior estabilização, indicando diminuição da contribuição de compostos responsáveis por tonalidades amareladas. Esse comportamento é coerente com a redução da absorvância em 420 nm e sugere limitação de processos oxidativos mais avançados, possivelmente favorecida pela baixa temperatura de armazenamento. Estudos recentes reforçam que condições controladas de temperatura e ausência de luz são determinantes para minimizar a formação

de compostos amarelados em vinhos rosés (MEDINA-PLAZA *et al.*, 2024; MORIONES *et al.*, 2025).

O comportamento do croma ( $C^*$ ) revelou oscilações na saturação da cor, com redução temporária seguida de recuperação parcial. Esse padrão reflete a coexistência de processos de dissociação de complexos de copigmentação e posterior formação de pigmentos mais estáveis. A literatura recente destaca que a relação entre antocianinas e taninos, bem como a presença de polissacarídeos, desempenha papel central na manutenção da intensidade cromática em vinhos rosés (BARIS *et al.*, 2024).

O ângulo de matiz ( $h^\circ$ ) manteve-se relativamente estável ao longo do período, indicando que, apesar das transformações estruturais dos pigmentos, a tonalidade permaneceu dentro da faixa típica de espumantes rosés. Esse comportamento sugere que as reações ocorridas durante a maturação favoreceram a estabilidade cromática sem induzir desvios significativos para tonalidades associadas à oxidação avançada, como observado em estudos recentes sobre exposição à luz e oxigênio em vinhos rosés (MORIONES *et al.*, 2025).

A análise espectrofotométrica reforça essas observações. A redução da absorvância em 520 nm acompanha a diminuição da coordenada  $a^*$ , evidenciando a perda de intensidade das antocianinas monoméricas. Em contrapartida, o aumento da absorvância em 620 nm ao final do período sugere a formação de pigmentos poliméricos mais estáveis, que apresentam maior resistência à oxidação e menor sensibilidade a variações de pH e  $SO_2$ . Adicionalmente, estudos recentes indicam que estratégias de modulação de pH e composição fenólica podem aumentar significativamente a estabilidade da cor em espumantes rosés, reforçando a importância do controle da matriz química durante a elaboração (POSTINGHER *et al.*, 2024).

De forma integrada, os resultados demonstram que a maturação a 6 °C promove um equilíbrio entre redução da intensidade cromática e aumento da estabilidade estrutural dos pigmentos, resultando em um clareamento

progressivo e na consolidação de uma cor mais estável. Esse comportamento está alinhado com modelos contemporâneos de evolução fenólica, nos quais vinhos rosés apresentam elevada sensibilidade às condições de armazenamento, mas podem alcançar estabilidade cromática quando submetidos a condições controladas de temperatura, composição e proteção contra oxidação (MEDINA-PLAZA *et al.*, 2024).

### 3.3 Estabilização

A etapa de estabilização a  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  promoveu alterações relevantes nos parâmetros cromáticos do espumante rosé, refletindo não apenas a remoção de instabilidades físico-químicas, mas também uma reorganização do sistema coloidal e fenólico. Diferentemente da maturação a  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , essa fase foi caracterizada por modificações mais rápidas e direcionadas, associadas principalmente à precipitação de sais tartáricos e à desestabilização de frações coloidais.

Observou-se, de modo geral, uma tendência de aumento da luminosidade ( $L^*$ ), indicando um clareamento do sistema. Esse comportamento pode ser diretamente associado à precipitação de bitartarato de potássio, que promove a redução da turbidez e a remoção de partículas coloidais em suspensão. Além disso, a baixa temperatura favorece a agregação e posterior sedimentação de macromoléculas, incluindo complexos proteína-polifenol e polissacarídeos instáveis, contribuindo para uma matriz visualmente mais límpida (WATERHOUSE; SACKS; JEFFERY, 2026).

A coordenada  $a^*$ , relacionada à intensidade do vermelho, apresentou leve redução após a estabilização, sugerindo uma diminuição da fração de antocianinas livres ou fracamente associadas. Esse efeito pode ser explicado pela co-precipitação de pigmentos com cristais tartáricos ou pela desestabilização de complexos de copigmentação sob condições de baixa temperatura. Em vinhos rosés, essa resposta é particularmente sensível, uma vez que o sistema apresenta menor concentração fenólica e menor capacidade

tampão frente a alterações físico-químicas (LEBORGNE *et al.*, 2022; PUERTA-GARCÍA *et al.*, 2025).

Em paralelo, a coordenada  $b^*$  apresentou comportamento relativamente estável ou com discreta redução, indicando que a estabilização a frio não favoreceu a intensificação de tonalidades amareladas. Esse resultado sugere ausência de processos oxidativos relevantes durante a etapa, o que é consistente com as condições de baixa temperatura e, possivelmente, controle de oxigênio. Estudos recentes reforçam que o armazenamento e processamento em baixas temperaturas são estratégias eficazes para limitar a formação de compostos oxidados responsáveis pelo aumento de absorbância em 420 nm (MEDINA-PLAZA *et al.*, 2024).

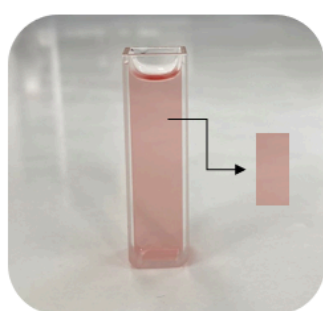
O croma ( $C^*$ ) evidenciou uma leve diminuição na saturação da cor, refletindo a redução conjunta das coordenadas  $a^*$  e  $b^*$ . Esse comportamento pode ser interpretado como resultado da remoção de frações fenólicas menos estáveis, incluindo pigmentos em equilíbrio dinâmico ou fracamente associados à matriz coloidal. Embora essa redução possa indicar perda de intensidade cromática, ela também está associada a um sistema mais estável e menos suscetível a variações posteriores.





O ângulo de matiz ( $h^\circ$ ) manteve-se relativamente constante, indicando que, apesar das alterações na intensidade e saturação, a tonalidade característica do espumante rosé foi preservada. Esse resultado é relevante do ponto de vista tecnológico, pois demonstra que a estabilização tartárica a  $-2^\circ\text{C}$  não induz desvios cromáticos significativos quando conduzida sob condições controladas.

A análise espectrofotométrica corrobora essas observações, com leve redução da absorbância em 520 nm, associada à diminuição da intensidade do vermelho, e manutenção ou discreta redução da absorbância em 420 nm, indicando estabilidade frente à oxidação. Em conjunto, esses resultados sugerem que a estabilização a frio atua predominantemente como um processo

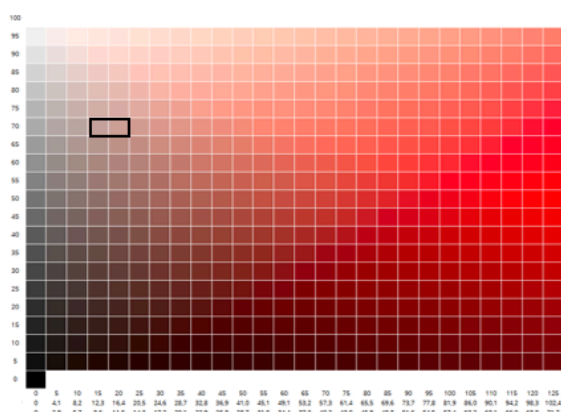
de refinamento da matriz, promovendo a remoção de componentes instáveis sem comprometer de forma significativa a identidade cromática do produto.

De forma integrada, a estabilização a  $-2^{\circ}\text{C}$  pode ser descrita como uma etapa que promove um equilíbrio entre clarificação, estabilidade físico-química e leve redução da intensidade cromática, resultando em um espumante mais límpido e estável. Esse comportamento está alinhado com a literatura, que descreve a estabilização tartárica como um processo essencial para garantir a qualidade visual e a estabilidade do vinho, ainda que acompanhado por pequenas perdas de compostos fenólicos e pigmentos associados (POSTINGHER *et al.*, 2024).

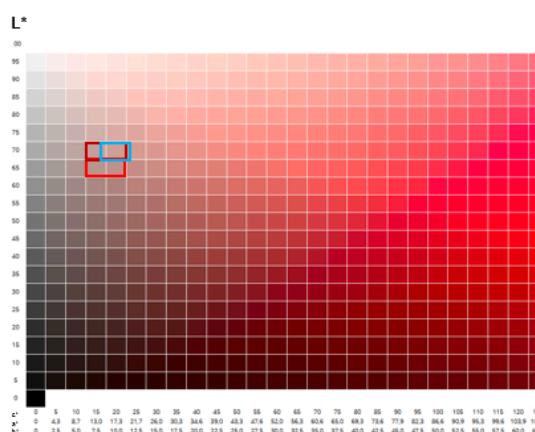


	ITE	FTE	MAT	EST
				
L*	70,6	69,2	70,4	70,3
a*	12,6	15,1	15,3	14,0
b*	9,4	9,4	8,6	8,7
c*	15,7	17,8	17,6	16,5
h°	36,7	31,9	29,3	31,8

h° = 35°



h° = 30°



**Figura 5:** Visualização da trajetória de cor ao longo da elaboração do espumante rosé (ITE = início de tomada de espuma; FTE = fim de tomada de espuma; MAT = maturação a  $6^{\circ}\text{C}$ ; EST = estabilização a frio a  $-2^{\circ}\text{C}$ )

Ao longo do processo (Figura 5), observou-se que as principais alterações cromáticas concentraram-se na tomada de espuma, etapa em que houve aumento dos valores de  $a^*$  e  $C^*$  e redução do  $h^\circ$ , indicando intensificação da tonalidade vermelha e maior saturação da cor. Esse comportamento sugere que a fermentação secundária exerce influência direta na reorganização dos pigmentos e na modificação das propriedades ópticas do meio. Nas etapas de maturação e estabilização, os parâmetros apresentaram apenas pequenas variações, evidenciando menor intensidade de mudanças e indicando um comportamento cromático mais estável após a fase fermentativa.

#### **4. Conclusão**

A evolução cromática do espumante Brut Rosé elaborado pelo método Charmat evidenciou que a cor é um atributo altamente dinâmico, resultante da interação entre fenômenos fermentativos, transformações dos compostos fenólicos e condições físico-químicas do meio ao longo do processo produtivo.

A tomada de espuma destacou-se como a etapa de maior intensidade de variações cromáticas, com mudanças perceptíveis associadas à atividade fermentativa e às transformações iniciais das antocianinas. Durante a maturação a 6 °C, observou-se uma evolução mais gradual, caracterizada pelo equilíbrio entre redução da intensidade cromática e aumento da estabilidade dos pigmentos. A estabilização a -2 °C promoveu principalmente a clarificação do sistema, com aumento da luminosidade e leve redução da saturação da cor, sem comprometer a tonalidade característica do espumante rosé.

De forma integrada, os resultados demonstram que o controle das condições de processo — especialmente temperatura, composição fenólica e disponibilidade de oxigênio — é determinante para a estabilidade cromática. Além disso, a utilização combinada de espectrofotometria UV-Vis e colorimetria CIELAB mostrou-se eficiente para o monitoramento da evolução da cor, permitindo a identificação de etapas críticas ao longo da elaboração.

## 5. Referências

ALEIXANDRE-TUDO, Jose Luis et al. Desvendando a pesquisa científica sobre compostos fenólicos da uva e do vinho: um estudo bibliométrico. **Scientometrics**, v. 119, n. 1, p. 119-147, 2019.

BARIS, Federico; CASTRO MARIN, Antonio; CHINNICI, Fabio. Oxidative evolution of different model rosé wines affected by distinct anthocyanin and tannin contents. **Beverages**, v. 10, n. 2, p. 43, 2024.

BONNARDEL, Valérie et al. Toward a Standardized Color Assessment of Rosé Wines: Application of a Natural Color System Chart Across User Expertise. **Color Research & Application**, v. 51, n. 1, p. e70026, 2026.

CHENG, Siqi et al. Color myth: Anthocyanins reactions and enological approaches achieving their stabilization in the aging process of red wine. **Food Innovation and Advances**, v. 2, n. 4, p. 255-271, 2023.

COSME, Fernanda et al. A comprehensive review of bioactive tannins in foods and beverages: Functional properties, health benefits, and sensory qualities. **Molecules**, v. 30, n. 4, p. 800, 2025.

DELIĆ, Katarina et al. Grape, wine and pomace anthocyanins: Winemaking biochemical transformations, application and potential benefits. **Oeno One**, v. 58, n. 4, 2024.

EL RAYESS, Youssef et al. Wine phenolic compounds: Chemistry, functionality and health benefits. **Antioxidants**, v. 13, n. 11, p. 1312, 2024.

FAIRBAIRN, Samantha et al. Cultural differences in wine conceptualization among consumers in France, Portugal and South Africa. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 15977, 2024.

HERAS-ROGER, Jesús; DARIAS-ROSALES, Javier; DÍAZ-ROMERO, Carlos. Red wine color: The role of polymeric pigments and pyranoanthocyanins in SO<sub>2</sub> bleachable methods. **Ciência e técnica vitivinícola**, v. 39, n. 2, p. 84-92, 2024.

LAGO-VANZELA, Ellen Silva et al. Características cromáticas e composição fenólica relacionada à cor de vinhos tintos jovens brasileiros elaborados com a cultivar de uva híbrida BRS Violeta (“BRS Rúbea”×“IAC 1398-21”). **Food Research International**

LEBORGNE, Cécile et al. Elucidating the color of rosé wines using polyphenol-targeted metabolomics. **Molecules**, v. 27, n. 4, p. 1359, 2022.

LIU, Siqi et al. Research progress on anthocyanin changes in the brewing and aging of anthocyanin-rich fermented wines. **China Brewing**, v. 44, n. 7, p. 26-32, 2025.

MEDINA-PLAZA, Cristina et al. Effect of storing conditions (lighting, temperature and bottle color) on rosé wine attributes. **Food Chemistry**, v. 439, p. 138032, 2024.

MORIONES, Jennifer et al. Photodegradation of rosé wines: Effects of controlled irradiation. **Food Research International**, p. 117796, 2025.

NGUYEN, Thi H.; DURNER, Dominik. Sensory evaluation of wine aroma: Should color-driven descriptors be used?. **Food Quality and Preference**, v. 107, p. 104844, 2023.

POSTINGHER, Gustavo et al. Influência de vinhos tintos termovinificados tratados com resina de troca catiônica na estabilidade oxidativa e na cor de vinhos espumantes rosé produzidos por assemblage. **OENO One**, v. 58, n. 4, 2024.

PUERTA-GARCÍA, Iván et al. Effect of soluble polysaccharide addition against oxidation of rose wines. **Current Research in Food Science**, v. 10, p. 101009, 2025.

WATERHOUSE, Andrew L.; SACKS, Gavin L.; JEFFERY, David W. **Understanding wine chemistry**. John Wiley & Sons, 2024.

YAO, Xue-Chen et al. Leaching and evolution of anthocyanins and aroma compounds during Cabernet Sauvignon wine fermentation with whole-process skin-seed contact. **Food Chemistry**, v. 436, p. 137727, 2024.

ZHANG, Xin-Ke et al. Red wine coloration: A review of pigmented molecules, reactions, and applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 21, n. 5, p. 3834-3866, 2022.

## 20. APÊNDICE X: Produto Tecnológico

MANUAL DE

# Análise Cromática

DE

## Espumantes Rosés

Ciência e sensibilidade para decifrar a cor e elevar a qualidade.

Abordança

Comprimento de onda (nm)

Comprimento de onda (nm)	Abordança
400	0.0
450	0.6
500	0.8
550	1.0
600	1.4
650	1.2
700	0.8
750	0.4
800	0.0

72,34

$L^*$	7,8
$a^*$	78,52
$b^*$	17,48
$C^*$	21,83
$h^*$	31,14

Análise da cor Espumante Rosé

- Visual
- Instrumental
- Comparativa

COR | MÉTODO | INSTRUMENTAÇÃO | INTERPRETAÇÃO | QUALIDADE

# MANUAL TÉCNICO

## Estabilidade cromática de espumante Brut Rosé durante o armazenamento

Este manual técnico reúne e organiza informações essenciais sobre o comportamento da cor de espumantes rosés ao longo do tempo e sob diferentes condições de armazenamento, contribuindo para o conhecimento científico e para o aprimoramento da qualidade dos produtos.



QUALIDADE



CONHECIMENTO



CIÊNCIA



EXCELÊNCIA

**AUTORIA**

Larissa Moro Goulart  
Roberta Schmatz  
Evandro Ficagna

**INSTITUIÇÃO**

 **INSTITUTO FEDERAL**  
Rio Grande do Sul  
Campus Bento Gonçalves

**NÍVEL**

 **INSTITUTO DE VITICULTURA E ENOLOGIA**

2025  
Bento Gonçalves - RS

## Introdução

 Este relatório técnico aprimorado detalha os achados do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) de Larissa Moro Goulart, intitulado 'Avaliação Cromática de Espumantes Rosés Durante a Elaboração e Após o Engarrafamento: Um Estudo de Caso com Abordagem Instrumental'.

 O estudo, conduzido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), durante o Programa de Pós-Graduação em Viticultura e Enologia resalta a crescente importância dos vinhos rosés no mercado global e nacional, enfatizando a cor como um atributo sensorial primordial que molda a percepção de qualidade e a decisão de compra do consumidor.

 A cor é o primeiro parâmetro avaliado em análises sensoriais e reflete as escolhas tecnológicas realizadas ao longo do processo de elaboração.

 A relevância deste estudo reside na necessidade de compreender como os processos enológicos influenciam a evolução cromática dos espumantes rosés, tanto durante a elaboração quanto após o engarrafamento. Essa compreensão é fundamental para otimizar a qualidade do produto final e atender às preferências do mercado consumidor.

 O trabalho aborda uma lacuna importante na literatura científica brasileira, combinando análises instrumentais para estabelecer correlações entre a composição química e as características cromáticas percebidas. Desta forma, contribui para o avanço do conhecimento enológico e para o desenvolvimento de estratégias de produção mais eficientes e direcionadas ao mercado.

 **Objetivo central:**

Avaliar a evolução cromática de um espumante Brut Rosé elaborado pelo método Charmat e comparar a aplicabilidade dos métodos espectrofotométrico e colorimétrico (DIELAB) no monitoramento da cor durante a elaboração e o armazenamento.

 **Em síntese:**



A cor é o primeiro atributo percebido pelo consumidor.



A estabilização a frio (-2°C) é etapa crítica que influencia a cor.



A análise instrumental permite entender as transformações químicas e perceptivas.



O conhecimento gerado apoiará a produção de espumantes rosés de alta qualidade e alinhados às expectativas do consumidor.

## Contexto de Mercado

O Brasil tem sido reconhecido mundialmente como um produtor de vinhos e espumantes de excelência, com crescente presença em premiações e avaliações técnicas internacionais. Conforme apontado pela Embrega Uva e Vinho (2023), as particularidades da vitivinicultura brasileira — associadas à diversidade de condições edafoclimáticas, sistemas produtivos e estratégias tecnológicas — posicionam o país em um patamar singular, despertando o interesse tanto dos consumidores brasileiros quanto de especialistas internacionais.

Paralelamente, o consumo de vinhos rosés tem apresentado crescimento expressivo nas últimas décadas, consolidando-se como uma categoria relevante no mercado global de vinhos tranquilos. De acordo com o Vinho Rosé Observatory (2025), os vinhos rosés representam atualmente cerca de 10% do consumo mundial de vinhos tranquilos, com um volume estimado em aproximadamente 3,85 milhões de hectolitros, mostrando participação estável mesmo em um cenário recente de retração do consumo global de vinhos, conforme informes obtidos pela Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV, 2024).

No contexto brasileiro, esse reconhecimento se reflete de forma consistente. Dados do Instituto Brasileiro do Vinho indicam que o mercado nacional de vinhos tranquilos também tem se inclinado para o consumo de rótulos mais refrescantes e com apelo frutado, especialmente espumantes, acompanhando mudanças no perfil do consumidor e na valorização de estilos considerados mais leves e frescos (BRAVIN, 2025). Este movimento, sobretudo, pelo público jovem-adulto e feminino, bem como pela crescente valorização de experiências sensoriais associadas à cor, ao frescor e à versatilidade do consumo dos vinhos rosés (BRAVIN, 2025; World Rosé Observatory, 2025).

Vinhos rosés no mundo:  
10% do consumo de vinhos tranquilos  
= 3,85 milhões de hectolitros

Ano	Consumo (milhões de hectolitros)
2015	~1,5
2017	~1,8
2019	~2,2
2021	~2,8
2023	~3,2
2025	3,85

### Reconhecimento Internacional

O Brasil se destaca na produção de vinhos e espumantes de excelência, com presença crescente em premiações e avaliações técnicas internacionais.

### Rosés em Expansão

Os vinhos rosés já representam cerca de 10% do consumo mundial de vinhos tranquilos, com volume estimado em 3,85 milhões de hectolitros.

### Mercado Brasileiro

No Brasil, cresce a participação dos rosés e espumantes, impulsionada por consumidores que valorizam leveza, frescor e apelo visual.

Excelência Brasileira

Presença Global

Rosés em Crescimento

Leveza e Frescor

Apelo Visual

## Qualidade, Competitividade e Atributos Sensoriais

A competitividade da vitivinicultura está associada a diversos fatores, entre os quais se destacam a qualidade e a tipicidade dos produtos elaborados, atributos fundamentais para a diferenciação em mercados cada vez mais exigentes (FIZORNY, 2009). À medida que os consumidores se tornam mais informados e criteriosos quanto à qualidade dos vinhos, a busca pela excelência em enologia torna-se ainda mais relevante (GUERRA, 2005; CASTRO, 2021).

**A cor é o primeiro parâmetro avaliado em análises sensoriais e reflete as escolhas tecnológicas realizadas ao longo do processo de elaboração.**

Entre os atributos sensoriais, a cor destaca-se como um dos principais indicadores da qualidade percebida dos vinhos rosés, exercendo forte influência na decisão de compra dos consumidores (PERES et al., 2020; LEBORGNE, 2022). Em análises sensoriais, a cor é o primeiro parâmetro avaliado e reflete escolhas tecnológicas realizadas ao longo do processo de elaboração, como a casta utilizada, o terroir de origem, os métodos de vinificação e as condições de envelhecimento.

A elaboração de produtos diferenciados depende de múltiplos fatores que trabalham em conjunto:

**Região**  
Define características de origem e identidade do vinho.

**Solo**  
Influencia o desenvolvimento da videira e a composição das uvas.

**Porta-enxerto**  
Contribui para adaptação, vigor e resistência da planta.

**Colheita**  
O momento da colheita impacta diretamente a maturação e a qualidade.

**Clima**  
Temperatura, chuva e insolação moldam o perfil sensorial.

**Manejo do vinhedo**  
Práticas de cultivo influenciam produtividade e qualidade final.

**Técnicas de vinificação**  
Decisões enológicas determinam estilo, cor e atributos sensoriais.



## Composição Química e Pigmentos

O vinho apresenta uma composição química altamente complexa, constituída majoritariamente por água e etanol, além de uma ampla diversidade de compostos minoritários, como álcoois superiores, ácidos orgânicos, ésteres, aldeídos, cetonas e, especialmente, compostos fenólicos (MEIRA, 2013; PINHEIRO et al., 2025). Estes compostos interagem entre si ao longo da vinificação, maturação e envelhecimento, dando origem a novas moléculas e promovendo alterações contínuas nas propriedades físico-químicas e sensoriais da bebida.



**Água e etanol**

Componentes majoritários da matriz do vinho.



**Compostos minoritários**

Álcoois, ácidos, ésteres, aldeídos e cetonas.



**Compostos fenólicos**

Grupo de grande relevância para cor e estrutura.



**Evolução química**

Transformações contínuas durante vinificação e envelhecimento.

À cor dos vinhos rosés está associada principalmente à presença de antocianinas extraídas das cascas das uvas, bem como à formação de pigmentos derivados dessas moléculas durante a vinificação e o envelhecimento (LEBORGNE, 2022; DELIĆ et al., 2024). A composição e a concentração dos compostos fenólicos, especialmente antocianinas e taninos, estão diretamente relacionadas à intensidade, tonalidade e estabilidade da cor, podendo ser avaliadas por parâmetros cromáticos como o sistema CIELAB (LEBORGNE, 2022; BARIS, 2024).



**Antocianinas**

Pigmentos extraídos das cascas das uvas.



**Pigmentos derivados**

Formados ao longo da vinificação e do envelhecimento.




**Taninos e fenólicos**

Relacionados à intensidade e estabilidade da cor.



**CIELAB**


Sistema usado para avaliar os parâmetros cromáticos.



## Estratégia de Branding e Objetivos da Pesquisa

O estudo da cor torna-se fundamental por envolver aspectos técnicos e mercadológicos. A cor pode ser empregada como uma ferramenta estratégica de branding, permitindo o posicionamento de vinhos e espumantes *rosés* com características cromáticas específicas para determinados públicos, ocasiões de consumo ou estações do ano. O embasamento científico sobre a formação e a evolução da cor possibilita que enólogos desenvolvam novos estilos de produtos *rosés*, promovendo inovação, diferenciação e maior competitividade no mercado vitivinícola (BARIS, 2024; WORLD ROSÉ OBSERVATORY, 2025).

Este estudo visa avaliar as alterações físicas e químicas que ocorrem durante a elaboração de espumantes *rosés*, associando a evolução da cor à interferência dos processos enológicos ao longo da produção. O trabalho busca compreender o comportamento de vinhos durante a vida de prateleira secundária, constituindo-se em uma importante ferramenta para otimizar a qualidade do produto final e atender às preferências do mercado consumidor.




**Objetivo Principal**

Compreender as alterações físicas e químicas na elaboração de espumantes *rosés* e sua relação com a evolução da cor.



**Evolução da Cor**

Analisar como os processos enológicos interferem na formação e estabilidade da coloração ao longo da produção.



**Aplicação Mercadológica**

Usar o conhecimento científico da cor como ferramenta estratégica de branding, inovação e diferenciação no mercado.

## OBJETIVO GERAL

Avaliar a evolução cromática de um espumante **Brut Rosé** elaborado pelo método **Charmat** e comparar a aplicabilidade dos métodos espectrofotométrico e colorimétrico (CIELAB) no monitoramento da cor durante a elaboração e o armazenamento.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 

Caracterizar a evolução da cor do espumante **Brut Rosé** ao longo das etapas de elaboração pelo método **Charmat**.
- 

Monitorar as alterações cromáticas durante o armazenamento pós-engarrafamento, ao longo de **16 meses**.
- 

Determinar os parâmetros cromáticos por espectrofotometria UV-Vis (**A420, A520, A620, intensidade e tonalidade da cor**) em cada etapa do processo e durante o armazenamento.
- 

Determinar os parâmetros colorimétricos pelo sistema **CIELAB** (**L\*, a\*, b\*, C\* e h\***) nas mesmas condições analíticas, permitindo a comparação direta entre os métodos.
- 

Avaliar a correlação entre os parâmetros espectrofotométricos e colorimétricos, identificando relações entre intensidade, matiz e percepção visual da cor do espumante.
- 

Comparar a sensibilidade e a aplicabilidade dos métodos espectrofotométrico e colorimétrico para o monitoramento da evolução cromática de espumantes **rosés**, considerando sua utilização em ambientes laboratoriais e industriais.

## FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA

A cor dos vinhos **rosés** vem das **antocianinas**, pigmentos naturais extraídos das cascas das uvas. Essas moléculas determinam a intensidade e tonalidade da cor, que podem ser medidas objetivamente pelo sistema CIELAB (LEBORGNE, 2022; BARIS, 2024).

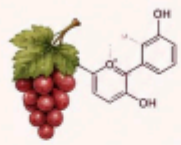
Durante a elaboração, as antocianinas são extraídas em um processo chamado maceração. Sua cor final depende da quantidade presente e de como sua estrutura química é alterada por **pH, temperatura** e outros compostos (LEBORGNE, 2022; DELIĆ et al., 2024).

Na fermentação e envelhecimento, as antocianinas se combinam com **taninos e ácidos**, formando novos pigmentos. Essas transformações são influenciadas pela temperatura, tempo de contato com as cascas, oxigênio e microrganismos presentes (ATANASOVA et al., 2002; PERTILE et al., 2025).

O sistema **CIELAB** mede a cor em três dimensões: **L\*** (claridade), **a\*** (vermelho-verde) e **b\*** (amarelo-azul). Esse método permite comparar amostras e acompanhar mudanças de cor ao longo do tempo, facilitando o controle de qualidade (LEBORGNE, 2022; BARIS, 2024).

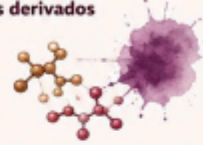
### Antocianinas

Pigmentos naturais responsáveis pela cor **inicial** dos rosés.



### Taninos e pigmentos derivados

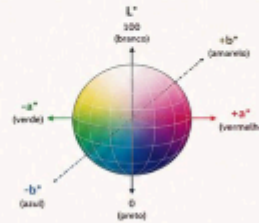
Interagem com as antocianinas e contribuem para novas tonalidades durante a evolução do vinho.



### Sistema CIELAB

Método objetivo para medir e acompanhar a cor em **L\*, a\* e b\***.

- L\*** (claridade): varia do preto (0) ao branco (100)
- a\*** (vermelho-verde): valores positivos indicam vermelho e negativos indicam verde
- b\*** (amarelo-azul): valores positivos indicam amarelo e negativos indicam azul



- Maior **L\*** = mais claro
- Menor **L\*** = mais escuro
- Maior **+a\*** = mais vermelho
- Menor **-a\*** = mais verde
- Maior **+b\*** = mais amarelo
- Menor **-b\*** = mais azul

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS – PARTE 1

### AValiação Cromática de Soluções Modelo

Foram preparadas soluções modelo a partir de uma base vinica branca (Pinot Noir, Chardonnay e Riesling Itálico), com adições crescentes de vinho tinto Marselan (0,5%, 1,0%, 1,5% e 2,0%). Uma amostra comercial de espumante Brut Rosé foi utilizada como referência.

Objetivo: compreender o comportamento da cor e avaliar a correlação entre espectrofotometria UV-Vis (420, 520 e 620 nm) e colorimetria CIELAB (L\*, a\*, b\*, C\*, H\*).

0,5% 1,0% 1,5% 2,0% Brut Rosé (referência)

### ELABORAÇÃO DO ESPUMANTE

As uvas utilizadas foram Pinot Noir (40%), Chardonnay (20%) e Riesling Itálico (40%), colhidas manualmente em janeiro de 2023 na Serra Gaúcha (RS). O processo inclui:

O engarrafamento foi realizado em garrafas de vidro verde com rolhas de cortiça.

### COLETA DE AMOSTRAS E ARMAZENAMENTO

As amostras foram coletadas de cinco tanques de pressão em 5 etapas distintas:

As garrafas foram armazenadas em condições controladas: 22±2 °C (posição vertical) e 30 °C (estocagem acelerada).

### PREPARO DE AMOSTRAS

Todas as amostras foram coletadas em garrafas de 375 mL, colocadas em bequeres de 500 mL e agitados por 10 minutos com agitadores magnéticos (1800 rpm) para remover CO<sub>2</sub>.

Seguiu-se centrifugação por 10 minutos (3200 rpm) para separar partículas grossas, filtração em membrana de acetato de celulose 0,45 µm e transferência para cubetas de quartzo com duas faces polidas.

Amostras já filtradas e engarrafadas passaram apenas pela etapa de agitação magnética.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS – PARTE 2

### ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Os parâmetros enológicos (pH, acidez total, SO<sub>2</sub> livre e SO<sub>2</sub> total) foram determinados utilizando titulador automático (Hach AT 1222), conforme técnicas analíticas padrão de empresa.

pH Acidez total (g/L ácido tartárico) SO<sub>2</sub> livre (mg/L) SO<sub>2</sub> total (mg/L)

### DETERMINAÇÃO DA COR - ESPECTROFOTOMETRIA UV-VIS

Comprimentos de onda utilizados:

- 420 nm (Qualidade amarelada e oxidação)
- 520 nm (Intensidade monocromática - cor rosada)
- 620 nm (Depósitos poliméricos - estabilidade)

A análise foi realizada em espectrofotômetro Shimadzu UV-1900 com cubetas de quartzo (câmara óptica 1 cm), a 20±1°C, com resolução espectral de 1 nm.

As análises foram realizadas em triplicata.

### DETERMINAÇÃO DA COR - COLORIMETRIA CIELAB

Utilizou-se colorímetro portátil NanaSense Color P100 (Wine Quality Solutions, França) para determinar L\* (luminosidade), a\* (verde-vermelho), b\* (azul-amarelo), C\* (croma) e h\* (ângulo de tonalidade), conforme recomendações da OIV. Foram realizadas três leituras consecutivas por amostra, expressas como média aritmética.

### DELTA E (ΔE\*)

O ΔE\* foi utilizado para quantificar diferenças cromáticas globais no espaço CIELAB. Valores <1,0 são imperceptíveis ao olho humano; 1,0-2,0 são perceptíveis apenas por observadores treinados; >2,0 são facilmente perceptíveis por consumidores não treinados.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_a^* - L_b^*)^2 + (a_a^* - a_b^*)^2 + (b_a^* - b_b^*)^2}$$

L\* = luminosidade  
a\* = eixo verde-vermelho  
b\* = eixo azul-amarelo

### ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram organizados em planilha Excel com identificação de cada variável (A420, A520, A620, L\*, a\*, b\*, C\*, H\*).

A correlação entre parâmetros colorimétricos e espectrofotométricos foi avaliada por análise de correlação linear de Pearson, seguida de regressão linear simples quando associações significativas foram observadas.

As análises foram conduzidas no Microsoft Excel.

### EM RESUMO

Este conjunto de procedimentos metodológicos permite avaliar de forma abrangente a evolução da cor de espumantes rosés e sua relação com fatores físico-químicos ao longo da elaboração e do armazenamento.

# RESULTADOS

Estabilidade cromática de espumante Brut Rosé durante o armazenamento





COR



TEMPERATURA DE ARMAZENAMENTO



COMPOSTOS FENÓLICOS



ANTOCIANINAS



ELEVADA ESTABILIDADE CROMÁTICA



PRESERVAÇÃO DO TOM ROSADO CARACTERÍSTICO



PROTEÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS E ANTOCIANINAS



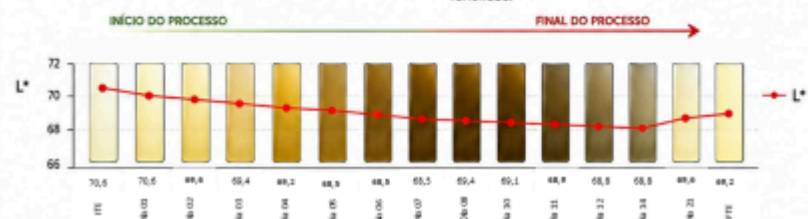
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO MATIZ

## Luminosidade (L\*)





### Variações da Clareza Visual Durante o Processo Charmat

A análise da luminosidade (L\*) revelou uma ligeira diminuição ao longo do processo Charmat, com um valor inicial de 70,6 na primeira leitura da Tomada de Espuma (TE) e atingindo 69,2 no Final da Tomada de Espuma (FTE). Este decréscimo, embora sutil, indica uma leve redução na clareza visual do espumante, tornando-o ligeiramente menos brilhante ou mais opaco.



Observou-se relação inversa entre a luminosidade (L\*) e as absorbâncias em 420 e 520 nm. O aumento das absorbâncias, associado à maior intensidade de tons amarelos e avermelhados, resultou na redução da luminosidade, indicando que espumantes visualmente mais escuros devido à maior concentração de pigmentos e compostos fenólicos.



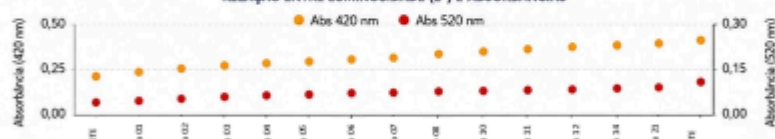
#### FATORES QUE INFLUENCIAM A LUMINOSIDADE

-  **Formação de turbidez coloidal:** devido à precipitação de proteínas e polifenóis, à autólise das leveduras que libera compostos orgânicos e à incorporação de CO<sub>2</sub> dissolvido.
-  **Autólise das leveduras:** libera proteínas, polissacarídeos e compostos fenólicos que interagem com a luz.
-  **Compostos fenólicos:** podem se oxidar e formar quínteros ou se ligar a proteínas, contribuindo para a turbidez.
-  **CO<sub>2</sub> dissolvido:** pode influenciar a forma como a luz interage com a amostra. Esses elementos dispersos na matriz do vinho aumentam a opacidade e reduzem a percepção de brilho.

#### IMPLICAÇÕES PARA A QUALIDADE DO ESPUMANTE

-  **Resultado:** sugerem a formação de complexos entre pigmentos, polifenóis e proteínas durante a segunda fermentação, alterando a dispersão da luz e reduzindo a luminosidade do espumante.
-  **Impacto sensorial:** esse fenômeno influencia diretamente a estabilidade e a qualidade visual final do produto.

#### RELAÇÃO ENTRE LUMINOSIDADE (L\*) E ABSORBÂNCIAS



**Relação inversa:** o aumento das absorbâncias em 420 e 520 nm (associadas a tons amarelos e avermelhados) está relacionado à redução da luminosidade (L\*), resultando em espumantes visualmente mais escuros.



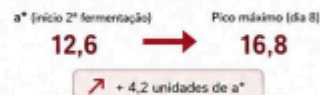
## Resultados – Coordenada a\* e Absorbância 520nm

Monitoramento da evolução do componente avermelhado e sua correlação espectrofotométrica.



### Pico da Intensidade Avermelhada

Observou-se um incremento acentuado da coordenada a\* de 12,6 (início da segunda fermentação) para 16,8 no dia 8, representando o pico máximo. Esse aumento indica uma intensificação notável do componente avermelhado, essencial para a tipicidade dos espumantes rosés.



### Estabilização Cromática

Após atingir o pico, a coordenada a\* tendeu a se estabilizar, mantendo-se consistentemente entre 15,1 e 16,5. Isso demonstra que o perfil de cor avermelhada do espumante rosé alcançou um patamar de equilíbrio dinâmico, crucial para a consistência do produto final.

Faixa de estabilização  
**15,1 – 16,5**  
após o pico



### Fatores Contribuintes

Essa evolução é atribuída à liberação contínua de pigmentos residuais das leveduras e da matéria prima, à acidificação natural que estabiliza as antocianinas em sua forma colorida, e ao ambiente pressurizado com baixa disponibilidade de oxigênio que minimiza a degradação oxidativa dos compostos fenólicos.

- Liberação de pigmentos: leveduras e matéria prima.
- Acidificação natural: estabiliza antocianinas.
- Ambiente pressurizado: baixa disponibilidade de O<sub>2</sub>.
- Proteção antioxidativa: reduz oxidação de fenólicos.



### Forte Correlação com A520nm

Foi identificada uma correlação linear extremamente forte entre a coordenada a\* e a Absorbância a 520nm (A520nm), com um coeficiente de correlação (r) de 0,987. Esta relação robusta valida a A520nm como um indicador preciso e confiável da intensidade do caráter avermelhado no espumante, refletindo os equilíbrios dinâmicos das formas pigmentares.

Coefficiente de correlação (r)  
**0,987**  
Correlação linear extremamente forte

Evolução da Coordenada a\* e da Absorbância a 520nm



## Resultados - Coordenada b\* e Absorbância 420nm

Monitoramento da intensidade do componente amarelado e marcadores de oxidação.



### Varição Controlada da Coordenada b\*

A coordenada b\* exibiu uma variação restrita, flutuando entre 8,1 e 9,8. Essa estabilidade indica uma evolução limitada do componente amarelado, refletindo a formação progressiva de compostos secundários e a ação protetora do SO<sub>2</sub> que retarda a oxidação.



### Dinâmica da Absorbância 420nm

A absorbância a 420nm (A420nm) iniciou entre 0,238 e 0,244, atingindo um pico de 0,259 no dia 8 da segunda fermentação. Subsequentemente, houve uma tendência à estabilização, indicando um equilíbrio na formação de compostos responsáveis por essa faixa de absorção.



### Correlação Fraca

Foi observada uma correlação fraca entre a coordenada b\* e a Absorbância a 420nm, com um coeficiente de correlação (r) de apenas 0,1175. Esta baixa correlação sugere que as duas métricas capturam aspectos distintos, embora relacionados, da cor e composição do espumante.



### Razões para a Divergência

A diferença decorre de abordagens distintas: b\* é um parâmetro colorimétrico da cor percebida visualmente, enquanto A420nm é um indicador espectrofotométrico de compostos específicos. A420nm pode detectar mudanças moleculares sutis antes que a coordenada b\* revele alterações visuais perceptíveis, especialmente na presença de outros pigmentos.



### Complementaridade das Análises

Embora fracamente correlacionadas, as duas métricas são complementares. A A420nm atua como um marcador precoce de oxidação e alterações químicas, enquanto a coordenada b\* oferece um indicador cumulativo e direto da intensidade do matiz amarelado percebido, crucial para a qualidade visual do produto final.

#### Coordenada b\*

Varição observada

**8,1 – 9,8**

Estabilidade controlada

#### Absorbância 420nm (A420nm)

Pico máximo (dia 8)

**0,259**

Tendência à estabilização



Correlação (r) = **0,1175**  
Correlação fraca

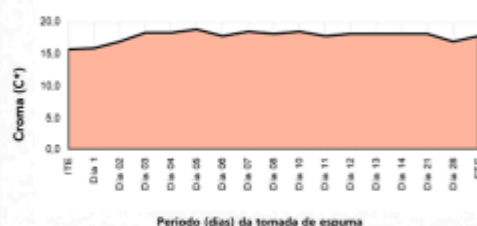
Evolução da Coordenada b\* e da Absorbância a 420nm



## Croma (C\*) e Matiz (h°)

Análise da saturação e da tonalidade da cor durante a segunda fermentação.

### CROMA (C\*) AO LONGO DA SEGUNDA FERMENTAÇÃO



#### Estabilidade da Saturação

O valor de C\* (Croma) manteve-se relativamente constante ao longo do período de segunda fermentação, refletindo uma notável **estabilidade na intensidade e pureza da cor percebida**. Este comportamento indica que, após a formação inicial, a saturação cromática não sofreu grandes flutuações, contribuindo para a consistência visual do produto.



#### Saturação

Os valores intermediários de C\* observados são característicos de uma **saturação moderada**, típica de espumantes rosés elaborados a partir de assemblages entre uvas tintas e brancas. Este perfil de cor é desejável para a categoria, conferindo uma tonalidade delicada, mas com presença visual marcante.



#### Mecanismos de Estabilização

A estabilidade do Croma é impulsionada por diversos mecanismos, incluindo a **polimerização de antocianinas**, a formação de **piranoantocianinas** mais estáveis e interações com **polissacarídeos** liberados pelas leveduras. Esses processos contribuem para **fixar e proteger os pigmentos**, garantindo a durabilidade da cor.

### MATIZ (h°) – TONALIDADE DA COR

Os matizes intermediários observados indicam uma tonalidade típica de rosés, situada na faixa entre o rosado salmão e o cereja claro. A estabilidade do matiz confirma a manutenção da tonalidade ao longo do processo.



#### Tonalidade Delicada

Matiz intermediário proporciona um rosé elegante e atrativo, com equilíbrio visual.



#### Presença Visual Marcante

Combinação de Croma estável e Matiz adequado garante cor viva e consistente no produto.



#### Estabilidade Comprovada

Manutenção da saturação e da tonalidade ao longo da segunda fermentação assegura qualidade e padrão visual.



#### Qualidade Percebida

Cor estável e atraente reforça a percepção de qualidade e valor do espumante rosé.



**Conclusão:** A estabilidade do Croma (C\*) e a manutenção do Matiz (h°) ao longo da segunda fermentação evidenciam a formação e preservação de pigmentos estáveis, resultando em uma cor rosé consistente, delicada e visualmente atrativa, essencial para a qualidade do produto final.

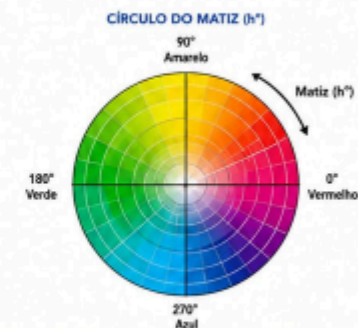
## Croma (C\*) e Matiz (h°)

Análise da saturação e da tonalidade da cor durante a segunda fermentação.



#### Oscilações do Matiz (h°)

O Matiz (h°) exibiu oscilações significativas ao longo do tempo, sugerindo mudanças na proporção entre as antocianinas livres e suas formas polimerizadas. Essa dinâmica é um indicativo da complexidade das reações químicas que ocorrem durante a maturação.



#### Evolução Temporal

Valores maiores de h° foram registrados no início da Tiragem (ITE) e no Dia 1, seguidos por uma diminuição entre os Dias 3 e 11. Após o Dia 8, houve um aumento progressivo, com posterior estabilização final. Esta curva reflete a complexa interação de fatores como o pH, a concentração de CO<sub>2</sub> e a presença de metabólitos de leveduras.



#### Diferença Estatística

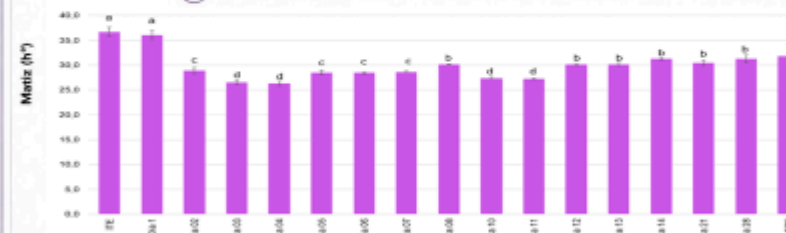
O teste de Tukey (p<0,05) confirmou diferenças significativas nos valores de h° entre as etapas analisadas, reforçando que a tonalidade da cor não é estática, mas sim um atributo em evolução que pode ser influenciado pelas condições do processo.



Teste de Tukey (p<0,05)  
Diferenças significativas entre as etapas



#### Evolução do Matiz (h°) ao longo da segunda fermentação



**Conclusão:** As oscilações do Matiz (h°) evidenciam a dinâmica das reações químicas durante a maturação, influenciadas por fatores físico-químicos e metabólicos. A posterior estabilização contribui para a obtenção de uma cor mais estável e visualmente consistente no produto final.

## Absorbância 620nm e Dióxido de Enxofre Livre (SO<sub>2</sub>)

Avaliação da ausência de tons azulados e da dinâmica do dióxido de enxofre livre no processo.

### ABSORVÂNCIA A 620nm: AUSÊNCIA DE TONS AZULADOS

A absorbância em 620nm permanece consistentemente muito baixa ao longo de todo o período de segunda fermentação. Este é um comportamento esperado e desejável em espumantes rosés de alta qualidade, onde a ausência de nuances azuladas é crucial para a estética desejada.

A insignificância dos tons azulados, confirmada pelos baixíssimos valores de A620nm, indica que a cor do produto é predominantemente composta por tonalidades vermelho-alaranjadas. A presença de pigmentos cianínicos, como as antocianinas em suas formas neutras ou complexos metálicos, é mínima, evitando assim a formação de tons indesejáveis na paleta de cores.



Valores muito baixos e estáveis = ausência de tons azulados

### SO<sub>2</sub> DIÓXIDO DE ENXOFRE LIVRE (SO<sub>2</sub>): DINÂMICA E ESTABILIZAÇÃO

Observou-se uma redução imediata do Dióxido de Enxofre Livre (SO<sub>2</sub>) logo após o início da segunda fermentação. Esta diminuição é atribuída à sua rápida reação com compostos carbonílicos, novamente o acetaldeído, que é um subproduto natural da atividade leveduriana.

Os menores teores de SO<sub>2</sub> livre foram registrados entre os dias 13 e 14, período que coincide com a fase de maior atividade fermentativa, onde a demanda por SO<sub>2</sub> para complexação é mais elevada. Ao final da fermentação, nota-se uma discreta recuperação nos níveis de SO<sub>2</sub> livre, cujo equilíbrio entre as formas livre e combinada é influenciado pelo pH, temperatura e composição fenólica do espumante.

SO<sub>2</sub> livre atua como antioxidante e antimicrobiano, protegendo o produto, mas é consumido durante a fermentação. Seu equilíbrio é essencial para a estabilidade e qualidade do espumante.



## Dinâmica Cromática Durante a Segunda Fermentação

Aprofundando na evolução da cor em espumantes rosés.

A evolução cromática dos espumantes rosés é um resultado direto do equilíbrio dinâmico entre a formação, transformação e estabilização de pigmentos, influenciada por complexas reações químicas e condições ambientais específicas da segunda fermentação.

### Variações de Luminosidade (L\*)



A diminuição inicial do valor L\* (luminosidade) observada indica um aumento na densidade óptica do espumante. Este fenômeno sugere a formação de espécies pigmentares mais complexas e estáveis, que absorvem mais luz, resultando em uma cor mais escura e intensa.

Reações de condensação entre antocianinas e taninos, bem como processos de copigmentação, são os principais motores dessa intensificação, promovendo uma maior saturação e estabilidade da cor ao longo do tempo.

### Intensificação do Caráter Avermelhado (a\*)

O aumento gradual da coordenada a\* (caráter avermelhado) é um marco crucial, refletindo a estabilização das antocianinas em suas formas mais intensamente vermelhas através de interações intermoleculares e da formação de pigmentos poliméricos. Essa evolução confere ao espumante rosé sua tonalidade vibrante e distintiva.



### Proteção Oxidativa

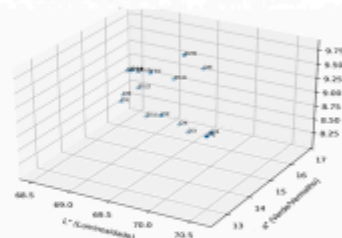
A relativa estabilidade da coordenada b\* (tonalidade amarelada) é um indicativo de ausência de oxidação expressiva durante a segunda fermentação. O ambiente reduzido, criado pela alta concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e a presença do dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), atuam como fatores protetores, minimizando a degradação dos compostos fenólicos e preservando as características de cor desejadas.



Menos oxidação = Mais preservação de pigmentos e da tonalidade rosé.

### Trajetória da Cor e Modelo CIELAB 3D

A trajetória espacial da cor no sistema CIELAB 3D reforça a interpretação de um equilíbrio dinâmico, onde ao final do espumante é um resultante complexo de cinética das reações químicas e das condições físico-químicas do meio fermentativo, como pH e temperatura.



**Conclusão:** A dinâmica cromática durante a segunda fermentação dos espumantes rosés é governada por um equilíbrio complexo entre reações de formação e estabilização de pigmentos e fatores protetores do meio fermentativo. O resultado é a obtenção de uma cor mais intensa, vibrante e estável, essencial para a qualidade sensorial e a identidade do produto final.

## Evolução cromática durante o envelhecimento sobre borras

### Maturação em Autólise (134 dias)

A evolução do espumante rosé ocorreu durante 134 dias, sob uma temperatura constante de 6 °C, com análises quinzenais realizadas para monitorar a evolução dos parâmetros cromáticos.

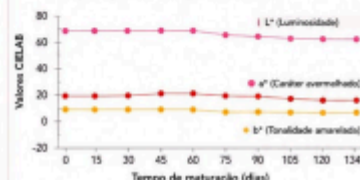
Os valores iniciais da amostra FTE apresentavam as seguintes características:

<b>L*</b> = 68,2 Luminosidade inicial elevada: cor clara e boa reflexão	<b>a*</b> = 15,1 Intensidade de caráter avermelhado inicial	<b>b*</b> = 9,4 Predominância do tom amarelado	<b>C*</b> = 17,8 Cromaticidade inicial moderada: boa cor sazonada	<b>h*</b> = 31,9 Ângulo de tonalidade predomínio rosado
--	--	---	--	--

Esses valores são consistentes com uma coloração rosada brilhante de boa intensidade, típica de espumantes rosés de alta qualidade.

### Comportamento da Cor ao Longo da Maturação – Semanas

**Dias 1-30:**  
Neste período inicial, as variações cromáticas foram pequenas. Os valores de L\* oscilaram entre 69,7 e 69,0; a\* entre 14,2 e 14,9, e b\* entre 8,8 e 9,2. Esta estabilidade inicial é atribuída à baixa temperatura de 6 °C, que retarda reações e promove uma ação estabilizadora.



### Intensidade do Caráter Avermelhado (a\*)

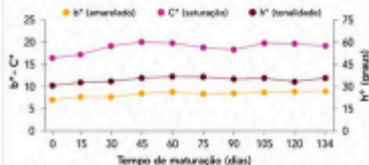
O parâmetro a\* atingiu um pico de 16,1 no dia 45 e, em seguida, pelo de 15,8 no dia 75, indicando uma intensificação temporária do caráter avermelhado. Contudo observou-se uma queda para 13,0 no dia 105, o que pode sinalizar a degradação de antocianinas livres e a formação de pigmentos poliméricos, com menor contribuição para a vermelha pura.

### Ponto de Inflexão (a partir do Dia 60)

A partir do Dia 60, L\* apresentou um comportamento particular, atingindo 69,7 até pelo do dia 80 e, abrindo para 71,9 no dia 105. Este aumento na luminosidade sugere um processo de clarificação natural do espumante, provavelmente devido à sedimentação de partículas e à autólise das leveduras.

### Tonalidade Amarelada e Saturação (b\*, C\*, h\*)

O parâmetro b\* (amarelado) mostrou uma tendência de leve aumento e estabilização. A cromaticidade (C\*) seguiu um padrão similar ao a\*, com variações que refletem a interação entre intensidade da cor. O ângulo de tonalidade (h\*) manteve-se predominantemente no faixa dos rosados-avermelhados, com pequenas flutuações que indicam uma modesta evolução da tonalidade para nuances mais quentes ao final do período, porém sem desvio significativo para tons mornos ou acastanhados.



### Estabilidade da Cor e Qualidade do Processo

Os dados indicam que o processo de maturação sobre borras em autólise, sob temperatura controlada, promove uma evolução cromática equilibrada, mantendo a intensidade e qualidade da cor rosé. A estabilização dos parâmetros CIE LAB sugere que o espumante atingiu um estágio de maturação cromática favorável, com potencial para manter sua atratividade visual no mercado.

### Contribuição da Autólise e dos Compostos Fenólicos

A autólise das leveduras libera compostos que podem interagir com os pigmentos, promovendo complexação e estabilização. Reações como a copigmentação entre antocianinas e outros fenólicos contribuem para a manutenção da cor vibrante. A baixa temperatura foi crucial para minimizar oxidação e evitar degradações indesejadas.

### Implicações para o Controle de Qualidade

O monitoramento contínuo dos parâmetros cromáticos permite ajustes no processo para otimizar a qualidade visual do produto. O período após o Dia 60 é crítico para observar mudanças naturais e planejar intervenções se necessário para preservar as características desejadas do espumante.



**Conclusão:** A maturação em autólise durante 134 dias a 6 °C proporcionou uma evolução cromática equilibrada, com aumento inicial da intensidade do vermelho e posterior estabilização. A clarificação natural e a estabilidade dos parâmetros confirmam a qualidade do processo e a potencialidade do espumante rosé para o mercado.

## Síntese Comparativa - Tomada de Espuma vs Maturação em Autólise

Comparação das dinâmicas cromáticas em duas fases distintas do processo

**Resumo**  
As duas fases do processo – Chatmat, a Tomada de Espuma e a Maturação em Autólise – apresentam dinâmicas cromáticas distintas, porém complementares, que são cruciais para a estabilidade e qualidade final do espumante rosé.

Fase 1: Tomada de Espuma (35 dias)	Fase 2: Maturação em Autólise (134 dias)
<p><b>Estabilização Cromática Precoce:</b> A cor tende a se estabilizar após o 8º dia, com menor variação.</p> <p><b>Ambiente Controlado:</b> Processo ocorre em ambiente pressurizado com CO<sub>2</sub> crescente, protegendo contra oxidação.</p> <p><b>Forte Correlação:</b> Observa-se uma forte correlação entre a coordenada a* (vermelho) e a absorvância a 520nm (r=0,987), indicando que a intensidade do vermelho é diretamente ligada à concentração de antocianinas nesta fase.</p> <p><b>Proteção Antioxidante:</b> A presença de SO<sub>2</sub> atua como agente protetor contra reações oxidativas.</p> <p><b>Evolução do Vermelho:</b> A coordenada a* apresenta um aumento inicial, seguido por estabilização, refletindo a extração e fixação dos pigmentos rosados.</p> <p><b>Luminosidade:</b> A luminosidade (L*) mostra um leve decréscimo, contribuindo para uma percepção de maior intensidade de cor.</p>	<p><b>Transformações Sutis:</b> Ocorre uma evolução mais gradual da cor, com transformações cromáticas discretas ao longo do tempo.</p> <p><b>Variações de Cor:</b> Acontecem oscilações nas coordenadas a* (vermelho) e C* (cromaticidade), sugerindo uma reorganização dos pigmentos.</p> <p><b>Clarificação Progressiva:</b> Observa-se uma forte correlação negativa entre a luminosidade (L*) e a absorvância a 520nm (r=-0,987), indicando um processo de clarificação natural do espumante.</p> <p><b>Correlação Moderada:</b> A correlação entre a 520nm e a* torna-se moderada a forte (r=0,69), refletindo a complexificação da matriz cromática.</p> <p><b>Degradação e Formação de Pigmentos:</b> As antocianinas monoméricas são degradadas, enquanto novos pigmentos poliméricos mais estáveis são formados.</p> <p><b>Ambiente Redutor:</b> A baixa temperatura de 6 °C mantém um ambiente redutor, protegendo a cor e retardando reações indesejadas.</p>
<p><b>Evolução durante a Tomada de Espuma (35 dias)</b></p> <p>Condições da Fase 1: Pressurizado, CO<sub>2</sub> crescente, Proteção antioxidante (SO<sub>2</sub>)</p>	<p><b>Evolução durante a Maturação em Autólise (134 dias)</b></p> <p>Condições da Fase 2: 6 °C constante, Ambiente redutor, Proteção da cor</p>



**Síntese Integrada**  
A integração dos dados de ambas as fases proporciona uma visão completa da evolução cromática, evidenciando que tanto a fixação inicial de cor quanto as transformações durante a autólise são essenciais para a estabilidade e complexidade visual do espumante rosé final.

## Discussão - Estabilização a Frio e Preservação Cromática

Síntese da evolução de cor durante os 10 dias de estabilização a -2°C



A análise conjunta das coordenadas CIELAB e das absorvâncias UV-Vis durante o processo de estabilização a frio revela um cenário crucial para a qualidade dos espumantes rosés. Observa-se uma discreta, mas significativa, perda de compostos corantes vermelhos, um fenômeno que ocorre sem o indesejável incremento de pigmentos oxidados.



### 1. Equilíbrio Tonal Mantido

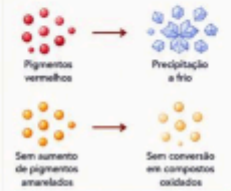
A estabilidade cromática, mesmo com variações mínimas, é um atributo desejável e fundamental na produção de espumantes rosés, cuja coloração atrativa é um atributo sensorial de primeira importância. Este processo mantém o delicado equilíbrio tonal do espumante, preservando sua identidade visual.



Equilíbrio tonal preservado e identidade visual mantida

### 2. Remoção por Precipitação

A redução na coordenada a\* (vermelho) e na absorvância a 520nm (A520nm), sem um aumento correspondente em b\* (amarelo) ou A420nm, é um indicador chave.



A diminuição dos pigmentos vermelhos ocorre principalmente por precipitação, e não por conversão em compostos oxidados, que alterariam negativamente o perfil cromático.

A mudança visual é um leve desbotamento, refletido pelo aumento no ângulo de tonalidade (h°).

### 3. Inibição de Oxidação

O processo de estabilização a frio é altamente eficiente em manter a qualidade visual enquanto remove compostos indesejáveis. A baixa temperatura inibe de forma eficaz as reações enzimáticas e químicas que levariam à formação de pigmentos amarelos ou ao escurecimento da cor, protegendo a frescura e a vivacidade da tonalidade rosé.



Proteção da cor, frescura e vivacidade da tonalidade rosé

### Evolução das Coordenadas CIELAB e Absorvâncias (0 a 10 dias a -2°C)



### Conclusão

A estabilização a frio é uma etapa crítica que não apenas garante a estabilidade físico-química do espumante rosé, mas também preserva sua identidade cromática, assegurando que a cor final seja atraente e fiel ao estilo desejado pelo produtor.



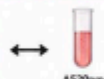
## Análise de Correlações - Estabilização a Frio

Relações entre parâmetros cromáticos e absorvâncias durante -2°C

Durante a fase de estabilização a -2°C, a compreensão das correlações entre os parâmetros cromáticos (a\* e b\*) e as absorvâncias (A520nm e A420nm) é crucial para entender a evolução da cor do espumante rosé. Estas análises revelam a complexidade das interações moleculares que moldam o perfil visual do produto final.

### 1. Correlação a\* vs A520nm

a\* (intensidade vermelha)



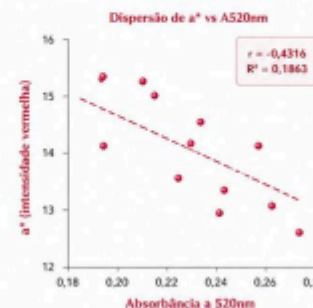
Correlação negativa fraca (r = -0,4316)

Aumento na absorvância a 520nm (está associada a pigmentos vermelhos) tendem a ser associados a reduções em a\* durante este período.

R² = 0,1863

Apenas 18,63% da variação em a\* é explicada pela variação em A520nm.

A cor vermelha diminui levemente à medida que a absorvância a 520nm aumenta, sugerindo precipitação de pigmentos vermelhos e não aumento de sua concentração na solução.



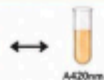
### Interpretação

Correlação negativa fraca indica uma relação inversa; mas presença de pigmentos vermelhos (A520nm) está associada a menor intensidade vermelha (a\*).

Essa relação, mesmo sendo fraca, destaca a complexidade das transformações pigmentares, onde outros fatores físico-químicos provavelmente exercem maior influência na variação de intensidade vermelha.

### 2. Correlação b\* vs A420nm

b\* (matiz amarelado)



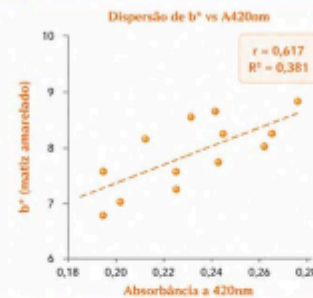
Correlação positiva moderada (r = 0,617)

Pequenas variações no matiz amarelado estão associadas a um aumento na absorvância a 420nm.

R² = 0,381

38,1% da variação em A420nm pode ser explicada por mudanças em b\*.

O aumento de b\* reflete a formação ou estabilização de pigmentos amarelos/acastanhados durante a estabilização a -2°C, contribuindo para o leve deslocamento da cor rosada para tons mais alaranjados.



### Interpretação

Correlação positiva moderada indica que aumentos em b\* (matiz amarelado) estão associados a aumentos na absorvância a 420nm (tonalidades amarelas/acastanhadas).

Essa relação reforça o papel de b\* na caracterização do escurecimento suave ou da formação de tons amarelados, que podem ocorrer mesmo em baixas temperaturas.

### Síntese das Correlações

#### a\* vs A520nm

- Correlação negativa fraca (r = -0,4316)
- R² = 0,1863 (18,63% da variação explicada)
- Indica redução de intensidade vermelha associada à precipitação de pigmentos vermelhos e não ao aumento de concentração.

#### b\* vs A420nm

- Correlação positiva moderada (r = 0,617)
- R² = 0,381 (38,1% da variação explicada)
- Aumento de b\* está associado ao aumento da absorvância a 420nm, indicando formação de tons amarelos/acastanhados.



Conclusão: As correlações demonstram que a estabilização a -2°C promove a remoção de pigmentos vermelhos por precipitação e favorece a formação de pigmentos amarelos/acastanhados, resultando em leve deslocamento da cor e maior estabilidade cromática.



## Discussão - Estabilização a Frio e Preservação Cromática

Síntese da evolução de cor durante os 10 dias de estabilização a  $-2^{\circ}\text{C}$



A análise conjunta das coordenadas CIELAB e das absorvâncias UV-Vis durante o processo de estabilização a frio revela um cenário crucial para a qualidade dos espumantes rosés. Observa-se uma discreta, mas significativa, perda de compostos corantes vermelhos, um fenômeno que ocorre sem o indesejável incremento de pigmentos oxidados.



### 1. Equilíbrio Tonal Mantido



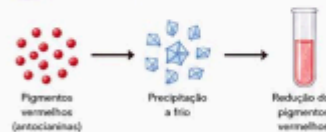
A estabilidade cromática, mesmo com variações mínimas, é um atributo desejável e fundamental na produção de espumantes rosés, cuja coloração atrativa é um atributo sensorial de primeira importância.

Este processo mantém o delicado equilíbrio tonal do espumante, preservando sua identidade visual.

O que isso significa?

A cor permanece visualmente estável, agradável e consistente ao longo da estabilização a frio.

### 2. Remoção por Precipitação



A redução na coordenada  $a^*$  (vermelho) e na absorvância a 520nm (A520nm), sem um aumento correspondente em  $b^*$  (amarelo) ou A420nm, é um indicador chave.

Isso significa que a diminuição dos pigmentos vermelhos ocorre primariamente por precipitação, e não por conversão em compostos oxidados, que alterariam negativamente o perfil cromático.

A mudança visual é um leve desbotamento, refletido pelo aumento no ângulo de tonalidade ( $h^{\circ}$ ).

### 3. Inibição de Oxidação

O processo de estabilização a frio é altamente eficiente em manter a qualidade visual enquanto remove compostos indesejáveis. A baixa temperatura inibe de forma eficaz as reações enzimáticas e químicas que levam à formação de pigmentos amarelos ou ao escurecimento da cor, protegendo a frescura e a vivacidade da tonalidade rosé.



### Conclusão

A estabilização a frio é uma etapa crítica que não apenas garante a estabilidade físico-química do espumante rosé, mas também preserva sua identidade cromática, assegurando que a cor final seja atraente e fiel ao estilo desejado pelo produtor.



#### Benefícios da Estabilização a Frio



Presença a qualidade visual e cromática



Remove compostos indesejáveis por precipitação



Inibe reações de oxidação



Mantém o equilíbrio tonal e a identidade visual



Garante um produto final estável e atrativo

## Resultados - Estabilização a Frio ( $-2^{\circ}\text{C}$ )

Evolução cromática durante os primeiros 10 dias de estabilização



A estabilização a frio é um processo essencial na produção de espumantes, visando prevenir a precipitação indesejada de cristais de bitartrato de potássio ( $\text{KCaH}_4\text{O}_6$ ). Nossa análise focou nos 10 primeiros dias deste período, considerado crítico devido às transformações bioquímicas que ocorrem.



### 1 Luminosidade ( $L^*$ )



A luminosidade ( $L^*$ ) manteve-se praticamente constante, oscilando entre 70,3 e 70,6, com uma queda pontual para 69,9 no dia 6. Isso indica que a claridade do espumante não foi significativamente afetada, preservando a transparência visual do produto.

Evolução da Luminosidade ( $L^*$ ) a  $-2^{\circ}\text{C}$



#### Interpretação

Estabilidade de luminosidade indica que não houve clareamento ou escurecimento perceptível da amostra, confirmando a eficiência da estabilização a frio na preservação do brilho e da aparência visual do espumante rosé.

### 2 Cromaticidade ( $C^*$ )



A cromaticidade ( $C^*$ ) variou entre 16,3 e 17,6, exibindo uma leve redução nos primeiros dias seguida por uma pequena recuperação ao final. Essa dinâmica pode estar associada à precipitação de compostos fenólicos instáveis, que influenciam diretamente a intensidade da cor.

Evolução da Cromaticidade ( $C^*$ ) a  $-2^{\circ}\text{C}$



#### Interpretação

Redução inicial seguida de leve recuperação sugere remoção de compostos que contribuem para cor, seguida por estabilização de matriz e possível formação de novos complexos que mantêm a intensidade cromática do espumante.

### 3 Ângulo de Tonalidade ( $h^{\circ}$ )



O ângulo de tonalidade ( $h^{\circ}$ ) apresentou um aumento gradual de  $29,3^{\circ}$  para  $31,8^{\circ}$  até o dia 9. Essa alteração sutil sugere um deslocamento em direção a nuances mais alaranjadas, contribuindo para a complexidade visual do espumante rosé.

Evolução do Ângulo de Tonalidade ( $h^{\circ}$ ) a  $-2^{\circ}\text{C}$



#### Interpretação

Aumento gradual do  $h^{\circ}$  indica deslocamento da tonalidade para matizes mais alaranjados, refletindo transformações naturais durante a maturação e contribuindo para a complexidade e o caráter visual do espumante rosé.

### Síntese e Conclusão

As variações observadas durante a estabilização a frio indicam que este processo promove alterações discretas e previsíveis na cor, sem comprometer a qualidade visual do espumante. Pelo contrário, essas mudanças são parte da maturação que confere a complexidade desejada ao produto final.



Evolução visual da cor durante a estabilização a  $-2^{\circ}\text{C}$  (0 a 10 dias)



# Pressão de CO<sub>2</sub> e Variação Global de Cor (ΔE)

Avaliação simultânea da formação da efervescência e da magnitude da alteração cromática.



## 1. Evolução da Pressão de CO<sub>2</sub>



### Fase de Latência (1-4 dias)

Nos primeiros quatro dias da segunda fermentação, a pressão interna foi nula, refletindo a fase de adaptação das leveduras antes do início da atividade fermentativa.



### Início da Produção (Dia 5)

A partir do quinto dia, observou-se o início da produção de CO<sub>2</sub>, com a pressão interna atingindo 0,5 bar, um indicativo do arranque efetivo da fermentação.



### Crescimento Progressivo

A pressão aumentou de forma constante, alcançando 2,0 bar no dia 30 e culminando em 5,4 bar ao final da fermentação. Um incremento acentuado foi notado entre os dias 13 e 21, passando de 3,0 para 5,03 bar.



### Ambiente Redutor

A crescente pressão de CO<sub>2</sub> cria um ambiente redutor no interior da garrafa, limitando a disponibilidade de oxigênio e, consequentemente, minimizando a oxidação de compostos fenólicos e pigmentos, o que favorece a estabilidade da cor.

### Pressão interna (bar)



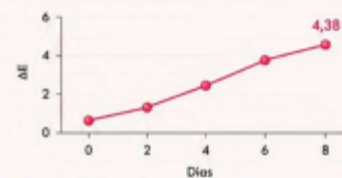
## 2. Variação Global de Cor (ΔE)

O valor de ΔE (Variação Global de Cor) foi monitorado ao longo da fermentação.



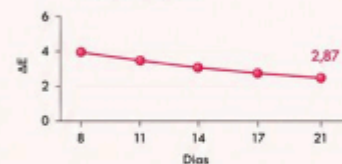
### Aumento Inicial (Até Dia 8)

O valor de ΔE aumentou progressivamente até o dia 8, atingindo um pico de 4,38. Este pico reflete as mudanças cromáticas mais intensas no início da fermentação.



### Redução Gradual (Após Dia 8)

Após o pico, o ΔE apresentou uma redução gradual até o final da fermentação (FTF), estabilizando em 2,87, indicando uma menor variação de cor nas etapas mais avançadas do processo.



### Estabilização (Final)

A estabilização do ΔE no final da fermentação indica que o espumante atingiu um perfil cromático mais estável, refletindo a consolidação das condições químicas e físicas do bebida.



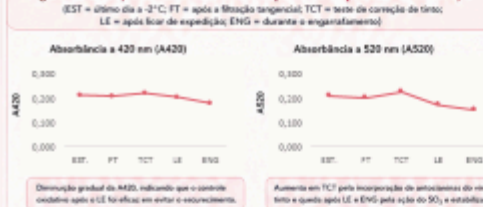
## 8.5 PREPARO PARA ENGARRAFAMENTO: FILTRAÇÃO TANGENCIAL, ADIÇÃO DE VINHO TINTO E LICOR DE EXPEDIÇÃO

Antes da aplicação definitiva, foi conduzido um teste preliminar (TCT) para determinar a proporção ideal de vinho tinto a ser utilizada, visando alcançar a tonalidade desejada sem comprometer o perfil organoléptico do produto final.



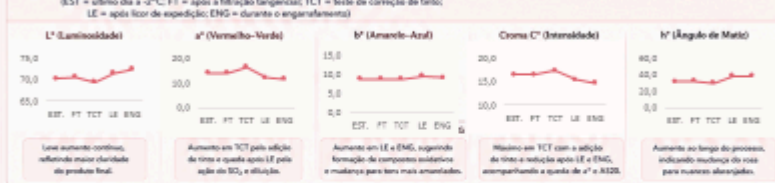
Os dados a seguir tiveram mudanças com base nas coordenadas de cor CIELAB (L\*, a\*, b\*, Croma C\*, H°) e nas absorbâncias espectrais (A420 e A520) nas etapas: estabilização a frio (EST), filtração tangencial (FT), teste de correção com tinto (TCT), adição do licor de expedição (LE) e engarrafamento (ENG).

Figura 40: Evolução das absorbâncias nas etapas finais do processo de elaboração



- ### Principais interpretações
- A adição de vinho tinto (TCT) aumenta a intensidade da cor (A520 e a\*).
  - A adição do licor de expedição (LE), com alta taxa de SO<sub>2</sub>, promove redução da cor por diluição e formação de sais sulfonados incolores.
  - O monitoramento das absorbâncias permite avaliar a estabilidade e o risco de escurecimento do espumante.

Evolução das coordenadas CIELAB nas etapas finais do processo de elaboração



Acompanhamento de SO<sub>2</sub> Livre nas etapas do processo



### Síntese das implicações

- O controle do SO<sub>2</sub> é determinante para a estabilidade da cor, pois um excesso pode levar à perda de intensidade e à mudança de tonalidade.
- A natureza dos pigmentos sulfonados (ou antocianinas monoméricas) influencia diretamente a estabilidade cromática.
- O aumento de h° e b\* nas etapas finais indica risco de migração para tons amarelados, o que pode comprometer a fidelidade visual do produto.
- Estratégias como escolha de pigmentos mais estáveis, redução no uso de SO<sub>2</sub>, controle oxidativo e uso de condicionantes (taninos, estabilizantes de cor) podem auxiliar na manutenção da tonalidade ideal.

Os resultados mostram que a evolução da cor em espumantes rosé é fortemente influenciada pela adição de vinho tinto, pelo SO<sub>2</sub> e pelas etapas físico-químicas do processo. O monitoramento contínuo das coordenadas CIELAB, absorbâncias e SO<sub>2</sub> livre, aliado ao conhecimento analítico, é essencial para garantir a estabilidade cromática e a qualidade olfativa do espumante rosé.

## CAPÍTULO 2 ARMAZENAMENTO



Observa-se que os parâmetros  $A_{420}$  e  $b^*$ , relacionados à componente amarela da cor, exibiram leve tendência de aumento nas amostras mantidas em estufa a 30 °C, enquanto aquelas armazenadas em temperatura ambiente permaneceram praticamente estáveis. Esse comportamento evidencia que a temperatura de armazenamento exerce influência direta sobre as reações oxidativas, acelerando a formação de pigmentos amarelados e compostos poliméricos resultantes da coação de fenóis e antocianinas (CHENG et al., 2023; JACKSON, 2020).

O aumento de  $A_{420}$  é amplamente reconhecido como um indicador de coação em vinhos brancos e rosés, refletindo a conversão gradual de compostos fenólicos incolores em quinonas e pigmentos de tonalidade marrom-amarela (KALLITHRAKA et al., 2005). De forma coerente, o incremento do  $b^*$  reforça esse deslocamento da tonalidade, indicando uma migração da cor para a região amarela do espaço CIELAB. Essa tendência é atribuída à formação de pigmentos secundários, como flavílio-cátions oxidados, polímeros antocianina-tânico e produtos de Maillard não enzimáticos, especialmente sob condições de temperatura elevada (ZHANG et al., 2024; HENSEN et al., 2024).

Durante o armazenamento, a oxidação dos fenóis não apenas escurece a cor, mas também altera o equilíbrio entre os pigmentos vermelhos e amarelos, reduzindo gradualmente a vivacidade inicial do rosé. Essa evolução cromática é típica de vinhos submetidos a condições de microoxigenação ou temperaturas acima de 25 °C, nas quais há intensificação da reação entre antocianinas e acetaldeído, resultando na formação de pigmentos mais

103

### Influência da temperatura na evolução da cor

Temperaturas mais elevadas favorecem as reações de coação, promovendo aumento da componente amarela ( $A_{420}$  e  $b^*$ ) e formação de pigmentos secundários. Em temperatura ambiente, as alterações cromáticas são menos pronunciadas, preservando melhor a tonalidade rosada característica do espumante.

estáveis e menos dependentes do pH (ZHAO et al., 2023; PUÉRTOLAS et al., 2010).

Por outro lado, os parâmetros  $A_{520}$  e  $a^*$ , associados à intensidade da cor vermelha, mantiveram-se praticamente constantes ao longo do armazenamento, tanto nas amostras em temperatura ambiente quanto na estufa. Essa estabilidade pode ser atribuída à baixa concentração inicial de antocianinas livres no espumante rosé — consequência da elaboração por assemblage — e à formação de pigmentos poliméricos resistentes à degradação oxidativa, como as piranoantocianinas e antocianina-tânico adutos.

#### Evolução da cor amarela — $A_{420}$ durante o armazenamento



#### Evolução da cor amarela — $b^*$ durante o armazenamento



#### Evolução da cor vermelha — $A_{520}$ durante o armazenamento



#### Evolução da cor vermelha — $a^*$ durante o armazenamento



### Síntese dos resultados

O armazenamento a 30 °C acelera os processos oxidativos, promovendo aumento de  $A_{420}$  e  $b^*$ , e consequentemente da tonalidade amarela. Já  $A_{520}$  e  $a^*$  permaneceram estáveis, indicando manutenção da intensidade da cor vermelha. O controle da temperatura é, portanto, essencial para preservar a cor e a qualidade visual do espumante rosé.

## CAPÍTULO 2 ARMAZENAMENTO



Os resultados indicam que a luminosidade ( $L^*$ ) manteve-se estável ao longo dos 16 meses de armazenamento, com pequenas variações em torno de 73. Esse comportamento sugere ausência de escurecimento perceptível, mesmo nas amostras submetidas à temperatura elevada. A estabilidade de  $L^*$  durante o armazenamento é um indicativo de proteção da fração fenólica e de baixa degradação oxidativa das antocianinas (MESQUITA et al., 2024). De acordo com Jackson (2020), valores constantes de luminosidade em vinhos espumantes estão relacionados à formação de pigmentos poliméricos estáveis e à interação entre antocianinas, taninos e produtos de autólise de leveduras, os quais atuam como agentes protetores frente à oxidação.

No caso do croma ( $C^*$ ), observou-se estabilidade ao longo do armazenamento, com valores médios entre 15 e 19. Essa constância revela manutenção da saturação e pureza da cor, mesmo após mais de um ano de estocagem. O comportamento indica um equilíbrio entre as reações de coação e polimerização, em que a perda de antocianinas monoméricas é compensada pela formação gradual de pigmentos mais complexos e estáveis (HENSEN et al., 2024; CHENG et al., 2023). Essa estabilidade é desejável em espumantes rosés, pois garante a persistência do tom rosado característico e evita o aspecto alaranjado ou acastanhado típico de vinhos envelhecidos sob condições inadequadas de armazenamento.

O ângulo de matiz ( $h^*$ ) apresentou aumento progressivo nas amostras armazenadas a 30 °C, sugerindo uma mudança gradual do tom rosado para tonalidades mais alaranjadas. Esse deslocamento é coerente com o comportamento esperado para vinhos expostos a temperaturas mais altas, nas quais ocorrem reações oxidativas que convertem antocianinas em pigmentos de matiz mais amarelado (ZHAO et al., 2023; ZHANG et al., 2024). O incremento de  $h^*$  é, portanto, um indicador sensível de oxidação cromática e de início de envelhecimento visual, confirmando que a temperatura de armazenamento é um fator determinante na evolução da cor dos espumantes.

103

### Influência da temperatura na evolução da cor

Temperaturas mais elevadas favorecem as reações de coação, promovendo aumento da componente amarela ( $A_{420}$  e  $b^*$ ) e formação de pigmentos secundários. Em temperaturas arrefecidas, as alterações cromáticas são menos pronunciadas, preservando melhor a tonalidade rosada característica do espumante.

Estabilidade e menos dependentes do pH (ZHAO et al., 2023; PUÉRTOLAS et al., 2010).

Por outro lado, os parâmetros  $A_{520}$  e  $a^*$ , associados à intensidade da cor vermelha, mantiveram-se praticamente constantes ao longo do armazenamento, tanto nas amostras em temperatura ambiente quanto na estufa. Essa estabilidade pode ser atribuída à baixa concentração inicial de antocianinas livres no espumante rosé — consequência da elaboração por assemblage — e à formação de pigmentos poliméricos resistentes à degradação oxidativa, como as piranoantocianinas e antocianina-tânico adutos.

#### Evolução da Luminosidade — $L^*$ durante o armazenamento



#### Evolução de croma — $C^*$ durante o armazenamento



#### Evolução de matiz — $h^*$ durante o armazenamento



### Síntese dos resultados

A absorvância a 620 nm ( $A_{620}$ ) manteve-se em níveis baixos e estáveis, o que reforça a ausência de escurecimento excessivo ou desenvolvimento de pigmentos azulados. Isso demonstra que, mesmo após 16 meses, o espumante manteve uma coloração visualmente equilibrada, sem tendência ao tom violáceo ou marrom. Esse resultado está em concordância com observações anteriores para vinhos rosés armazenados, nos quais a fração azul da cor tende a permanecer pouco expressiva devido à baixa concentração de antocianinas altamente conjugadas (JACKSON, 2020; MESQUITA et al., 2024).

De forma geral, os resultados indicam que o espumante Brut Rosé apresentou elevada estabilidade cromática durante o armazenamento, com luminosidade e saturação praticamente inalteradas, e mudanças perceptíveis apenas no matiz, especialmente em temperaturas mais altas. Essa tendência confirma que, embora o tempo de estocagem promova transformações graduais nos pigmentos, a intensidade global da cor é preservada — característica atribuída à presença de pigmentos copigmentados e à baixa concentração de antocianinas livres.

Além disso, a estabilidade observada pode estar associada ao ambiente de armazenamento controlado e à proteção antioxidante conferida pelo dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) residual, que limita a oxidação de compostos fenólicos. Segundo Hansen et al. (2024), a presença de pequenas quantidades de  $SO_2$  e a manutenção de pH moderado são fundamentais para reduzir a degradação cromática em vinhos armazenados por longos períodos. Assim, os resultados obtidos demonstram que, mesmo em condições de envelhecimento acelerado, o espumante manteve perfil cromático coerente com produtos jovens e de boa estabilidade visual, característica essencial para a percepção de qualidade em vinhos rosés premium.

## Recomendações e Perspectivas Futuras

Diretrizes para aprimorar o controle de qualidade e inovar na produção de espumantes rosés.

### RECOMENDAÇÕES PARA CONTROLE DE QUALIDADE

**Metodologia Integrada**  
Integrar e padronizar a metodologia de análise de cor na rotina de controle de qualidade da produção de espumantes rosés.

**Monitoramento Contínuo**  
Monitorar L\*, a\*, b\*, C\*, h\* e absorvâncias em 420, 520, 620nm como parâmetros-chave ao longo do processo.

**Faixas de Aceitação**  
Estabelecer faixas de aceitação específicas para cada parâmetro, baseadas em dados de referência e objetivos de produto.

**Padronização**  
Garantir a padronização dos procedimentos analíticos para assegurar a consistência e a reprodutibilidade dos resultados.

### PERSPECTIVAS PARA ESTUDOS FUTUROS

**Causas de Levedura**  
Avaliar o impacto de diferentes cepas de levedura e suas interações com o mosto na evolução cromática do espumante rosé.

**Assemblagens de Uvas**  
Analisar o efeito de diferentes assemblagens (combinações) de uvas tintas e brancas na estabilidade e tonalidade da cor final.

**Correlação Sensorial**  
Desenvolver estudos para correlacionar os dados instrumentais de cor com a percepção sensorial dos consumidores.

**Estabilidade Pós-engarrafamento**  
Investigar a estabilidade cromática dos espumantes rosés durante o armazenamento prolongado pós-engarrafamento.

A adoção de uma abordagem integrada e o contínuo aprofundamento científico contribuirão significativamente para a excelência na produção e a diferenciação dos espumantes rosés no mercado global.

  
Metodologia integrada

  
Monitoramento e controle

  
Padronização e faixas

  
Estudos e inovação

  
Qualidade e excelência

  
Diferenciação no mercado global

# Encerramento

## MANUAL TÉCNICO

Este manual técnico reúne as principais informações, metodologias e resultados obtidos sobre a estabilidade cromática do espumante **Brut Rosé** durante o armazenamento.

-  Compreensão da influência da temperatura e do tempo sobre a cor.
-  Valorização dos compostos fenólicos e das antocianinas na preservação de atributos visuais.
-  Geração de conhecimento para a otimização do armazenamento de espumantes rosés.
-  Contribuição para a qualidade, estabilidade e valorização de vinhos rosés premium.

*Obrigado por fazer parte desta jornada de conhecimento!*

O conhecimento é o que transforma experiências em **excelência**.