



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA

JULIANA ARAÚJO DA SILVA

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E COLORIMÉTRICOS DE
CULTIVARES DE ALHO EM FUNÇÃO DO PERÍODO DE
ARMAZENAMENTO SOB TEMPERATURA AMBIENTE

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA - BRASIL
2025

JULIANA ARAÚJO DA SILVA

**PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E COLORIMÉTRICOS DE
CULTIVARES DE ALHO EM FUNÇÃO DO PERÍODO DE
ARMAZENAMENTO SOB TEMPERATURA AMBIENTE**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora: Prof^a Dr^a Gisele Brito Rodrigues

**VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA - BRASIL
2025**

S581p

Silva, Juliana Araújo da.

Parâmetros físico-químicos e colorimétricos de cultivares de alho em função do período de armazenamento sob temperatura ambiente / Juliana Araújo da Silva, 2025.

66f.

Orientador (a): Dr.^a Gisele Brito Rodrigues.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Fitotecnia. Vitória da Conquista, 2025.

Inclui referência F. 61 – 66

1. *Allium sativum*. 2. Pós-colheita. 3. Deterioração. 4. Conservação. 5. Acondicionamento. I. Rodrigues, Gisele Brito. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós – Graduação em Agronomia. III. T.

CDD: 635.26

Catálogo na fonte: Karolyne Alcântara Profeta – CRB 5/2134

UESB – Campus Vitória da Conquista – BA



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
Área de Concentração em
Fitotecnia Campus de Vitória da
Conquista, BA.**

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E COLORIMÉTRICOS DE
CULTIVARES DE ALHO EM FUNÇÃO DO PERÍODO DE ARMAZENAMENTO
SOB TEMPERATURA AMBIENTE”.**

AUTOR (A): Juliana Araújo da Silva

**Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE
EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA,
pela**

seguinte

Banca Examinadora:

Gisele Brito Rodrigues, D.Sc. (UESB)

Documento assinado digitalmente

gov.br

LENITA LIMA HABER
Data: 30/07/2025 14:49:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Lenita Lima Haber, D.Sc. (EMBRAPA Hortaliças)

Documento assinado digitalmente

gov.br

LEILSON COSTA GRANGEIRO
Data: 30/07/2025 15:39:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Leilson Costa Grangeiro, D.Sc. (UFERSA)

Data de realização: 30 de Julho de 2025

Estrada do Bem Querer, Km 4, CEP 45031-900, Caixa Postal 95, Vitória da Conquista,
Bahia, Brasil Telefone: (77) 3425-9383, e- mail: ppgagronomia@uesb.edu.br

DEDICATÓRIA

A Deus;
Aos meus pais, Eliene e Getúlio;
Aos demais familiares e amigos;
A meu companheiro, Ícaro;
Como símbolo de toda admiração e amor,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que proveu todas as circunstâncias para que pudesse concluir os meus estudos.

Ao meu companheiro, por todo o amor, incentivo e cumplicidade. Aos meus familiares, pelo apoio e amor incondicional. Aos queridos amigos, por todo o auxílio, apoio e trocas.

A CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado. À UESB e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, pelo ensino gratuito e de qualidade, bem como por toda infraestrutura e recursos que permitiram a realização do meu experimento.

A minha orientadora, Profa. Dra. Gisele Rodrigues Brito, pela orientação, ensinamentos, conselhos, atenção e incentivo.

Aos conselheiros e apoiadores, por todo o direcionamento, em especial, à Profa. Dra. Cristiane Martins Veloso, à Profa. Dra. Maria Aparecida Castellani, ao Prof Dr. Quelmo Silva de Novaes, ao Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva, à Prof. Dra. Aldenise Alves Moreira, ao Prof. Dr. Leilson Costa Grangeiro e ao Dr. Francisco Vilela Resende, por me fornecerem materiais, direcionamentos, informações, equipamentos e recursos fundamentais para a conclusão do meu experimento.

A equipe do meu querido Laboratório de Sementes, por toda ajuda e prontidão. E a Banca Examinadora, pelo aceite ao convite de participar da minha defesa.

Meus sinceros agradecimentos a todos!

EPÍGRAFE

“Sabemos que todas as coisas cooperam para o bem daqueles que amam a Deus, daqueles que são chamados segundo o seu propósito.”

Romanos 8:28

RESUMO

DA SILVA, J.A. **Parâmetros físico-químicos e colorimétricos de cultivares de alho em função do período de armazenamento sob temperatura ambiente.** Vitória da Conquista-BA, UESB, 2025. 66 p. (Dissertação: Mestrado em Agronomia; Área de Concentração: Fitotecnia)*.

Este trabalho teve como objetivo analisar o impacto do período de armazenamento de bulbos de alho, acondicionados em contentores plásticos e mantidos sob temperatura ambiente, sobre as propriedades físico-químicas e colorimétricas das cultivares Ito e Amarante Branco, com o intuito de determinar o tempo de armazenamento ideal que assegure a preservação da qualidade do produto e otimize a eficiência comercial. Foram realizadas análises estatísticas não paramétricas, incluindo o procedimento ART (*Aligned Rank Transform*). Os resultados mostraram que a cultivar Amarante apresentou menor deterioração e melhor manutenção da qualidade pós-colheita ao longo dos 120 dias de armazenamento, com menor índice de chochamento, manutenção da coloração da película e aumento gradual nos teores de sólidos solúveis, acidez titulável e pungência, atributos desejáveis do ponto de vista sensorial e comercial. Por outro lado, a cultivar Ito atingiu o limite crítico de chochamento (4%) aos 30 dias e apresentou redução na pungência após os 90 dias, indicando perda de qualidade sensorial e valor de mercado. A aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP) permitiu visualizar padrões de agrupamento e correlações multivariadas entre os parâmetros avaliados, explicando 63,94% da variância total nos dois primeiros componentes. Variáveis como pH, acidez titulável, sólidos solúveis e pungência foram determinantes na separação dos grupos, evidenciando a interdependência entre os fatores cultivar e tempo de armazenamento. Com base nos resultados, recomenda-se o armazenamento da cultivar Amarante por até 120 dias, sob temperatura ambiente. Para a cultivar Ito, o período ideal é de até 90 dias, sobretudo em regiões com ocorrência de chuvas no período de colheita, as quais dificultam a cura adequada e favorecem distúrbios fisiológicos. Os dados obtidos contribuem para orientar práticas de manejo pós-colheita, especialmente na agricultura familiar, promovendo a redução de perdas, valorização do produto e maior competitividade no mercado.

Palavras-chave: *Allium sativum*; pós-colheita; deterioração; conservação; acondicionamento.

***Orientadora:** Prof^ª Dr^ª Gisele Brito Rodrigues, UESB.

ABSTRACT

DA SILVA, J.A. **Physicochemical and colorimetric parameters of garlic cultivars as a function of storage period at ambient temperature.** Vitória da Conquista – BA, UESB, 2025. 66 p. (Dissertation: Master Science in Agronomy; Area of Concentration: Crop Science)*.

This study aimed to analyze the impact of the storage period of garlic bulbs, packed in plastic containers and maintained under ambient temperature, on the physicochemical and colorimetric properties of the cultivars Ito and Amarante Branco, with the goal of determining the ideal storage duration to ensure product quality preservation and optimize commercial efficiency. Non-parametric statistical analyses were performed, including the Aligned Rank Transform (ART) procedure. The results showed that the Amarante cultivar exhibited lower deterioration and better maintenance of postharvest quality over 120 days of storage, with a lower sprouting index, stable skin coloration, and a gradual increase in soluble solids, titratable acidity, and pungency — all desirable attributes from both sensory and commercial perspectives. Conversely, the Ito cultivar reached the critical sprouting limit (4%) at 30 days and showed a reduction in pungency after 90 days, indicating a decline in sensory quality and market value. Principal Component Analysis (PCA) revealed clustering patterns and multivariate correlations among the evaluated parameters, explaining 63.94% of the total variance in the first two components. Variables such as pH, titratable acidity, soluble solids, and pungency were key in group differentiation, highlighting the interdependence between cultivar and storage time. Based on these findings, storage of the Amarante cultivar is recommended for up to 120 days under ambient temperature, whereas the Ito cultivar should be stored for a maximum of 90 days, especially in regions with rainfall during harvest, which hinders proper curing and promotes physiological disorders. The data obtained provide valuable guidance for postharvest management practices, particularly for family farming, contributing to loss reduction, product valorization, and greater market competitiveness.

Keywords: *Allium sativum*; postharvest; deterioration; preservation; storage.

***Advisor:** Prof^a Dr^a Gisele Brito Rodrigues, UESB.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- A) Coordenadas L*a*b* do Sistema CIELAB. B) Expressão L*C*h* do espaço CIELAB. Arte: Luana Silva (2025).....22
- Figura 2- Umidade relativa (UR%) e temperatura média (°C) registrada no período de out/2024 a mar/2025.....27
- Figura 3- Box plot da variável sólidos solúveis (SS, °Brix) em bulbos de alho das cultivares Amarante e Ito. A mediana é representada pela linha interna da caixa; os quartis primeiro (Q1) e terceiro (Q3) definem os limites inferior e superior, respectivamente, enquanto os limites dos bigodes correspondem aos valores dentro de 1,5 vezes o intervalo interquartil (IQR). Valores fora desse intervalo são considerados outliers.30
- Figura 4- Box plot da variável acidez titulável (ATT, mEq mL⁻¹) em bulbos de alho das cultivares Amarante e Ito. A mediana é representada pela linha interna da caixa; os quartis primeiro (Q1) e terceiro (Q3) definem os limites inferior e superior, respectivamente, enquanto os limites dos bigodes correspondem aos valores dentro de 1,5 vezes o intervalo interquartil (IQR). Valores fora desse intervalo são considerados outliers.31
- Figura 5- Box plot da variável pH, em bulbos de alho das cultivares Amarante e Ito. A mediana é representada pela linha interna da caixa; os quartis primeiro (Q1) e terceiro (Q3) definem os limites inferior e superior, respectivamente, enquanto os limites dos bigodes correspondem aos valores dentro de 1,5 vezes o intervalo interquartil (IQR). Valores fora desse intervalo são considerados outliers.32
- Figura 6- Box plot da variável pungência (Pg, µmol mL⁻¹), em bulbos de alho das cultivares Amarante e Ito. A mediana é representada pela linha interna da caixa; os quartis primeiro (Q1) e terceiro (Q3) definem os limites inferior e superior, respectivamente, enquanto os limites dos bigodes correspondem aos valores dentro de 1,5 vezes o intervalo interquartil (IQR). Valores fora desse intervalo são considerados outliers.33
- Figura 7- Box plot da variável perda de massa (PM, %), em bulbos de alho das cultivares Amarante e Ito. A mediana é representada pela linha interna da caixa; os quartis primeiro (Q1) e terceiro (Q3) definem os limites inferior e superior, respectivamente, enquanto os limites dos bigodes correspondem aos valores dentro de 1,5 vezes o intervalo interquartil (IQR). Valores fora desse intervalo são considerados outliers.....34
- Figura 8- Box plot da variável índice de chochamento (IC, %), em bulbos de alho das cultivares Amarante e Ito. A mediana é representada pela linha interna da caixa; os quartis primeiro (Q1) e terceiro (Q3) definem os limites inferior e superior, respectivamente, enquanto os limites dos bigodes correspondem aos valores dentro de 1,5 vezes o intervalo interquartil (IQR). Valores fora desse intervalo são considerados outliers.....35
- Figura 9- Valores médios de sólidos solúveis (°Brix) obtidos pelo teste ART com comparações múltiplas (correção de Bonferroni), em função das cultivares Amarante (A) e Ito (I) e dos períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias).37
- Figura 10- Valores médios de pungência (Pg, µmol mL⁻¹) obtidos pelo teste ART com comparações múltiplas (correção de Bonferroni), em função das cultivares Amarante (A) e Ito (I) e dos períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias).38
- Figura 11- Valores médios de pH obtidos pelo teste ART com comparações múltiplas

(correção de Bonferroni), em função das cultivares Amaranthe (A) e Ito (I) e dos períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias).	39
Figura 12- Valores médios de acidez titulável (ATT, mEq.mL-1) obtidos pelo teste ART com comparações múltiplas (correção de Bonferroni), em função das cultivares Amaranthe (A) e Ito (I) e dos períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias).	40
Figura 13- Valores médios de perda de massa fresca (PM, %) obtidos pelo teste ART com comparações múltiplas (correção de Bonferroni), em função das cultivares Amaranthe (A) e Ito (I) e dos períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias).	41
Figura 14- Valores médios de perda de massa fresca (PM, %) obtidos pelo teste ART com comparações múltiplas (correção de Bonferroni), em função das cultivares Amaranthe (A) e Ito (I) e dos períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias).	42
Figura 15- A) Biplot das Análises de Componentes Principais com dados padronizados para as cultivares Amaranthe (A) e Ito (I) em 5 períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90, 120 dias). B) Bootstrap das elipses de confiança (95%) para os componentes 1 e 2 para as cultivares Amaranthe (A) e Ito (I) em 5 períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90, 120 dias).	43
Figura 16- Painel de histogramas ilustrando a distribuição das coordenadas colorimétricas CIELAB das cultivares de alho (<i>Allium sativum</i> L.) Ito e Amaranthe Branco ao longo dos diferentes períodos de armazenamento. Apresenta-se os histogramas das variáveis L*a*b*, hue e Cromo para película (A;B;C;D e E) e polpa (F;G;H;I e J).	46
Figura 17- Coordenadas L*a*b* e croma de película para as cultivares Ito e Amaranthe, no intervalo (0,30,60,90, e 120 DAT).	49
Figura 18- Coordenadas CIELAB (medianas) convertidas para RGB de película das cultivares: Amaranthe (A) e Ito (I), no intervalo de tempo (0,30,60,90, e 120 DAT).	50
Figura 19- Coordenadas L*a*b* e croma de polpa para as cultivares Ito e Amaranthe, no intervalo (0,30,60,90,120).	52
Figura 20- Coordenadas CIELAB (medianas) convertidas para RGB de polpa das cultivares: Amaranthe (A) e Ito (I), no intervalo de tempo (0,30,60,90,120 DAT).	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Coordenadas do espaço CIELAB.....	21
Tabela 2- Tabela resumo dos testes de Shapiro-Wilk e Levene para as variáveis dependentes: Sólidos solúveis (SS); Acidez titulável (ATT); Pungência (Pg); Perda de massa (PM); Índice de chochamento (%).....	28
Tabela 3- Estatísticas descritivas das variáveis: Sólidos Solúveis (SS, Brix°), Acidez Titulável (ATT, mEq.mL ⁻¹), pH, Pungência (Pg, µmol mL ⁻¹), Perda de massa (PM, %), Índice de Chochamento (IC, %) das cultivares de alho Amaranite Branco e Ito	29
Tabela 4- Tabela resumo dos resultados da ANOVA (ART + Bonferroni). Sólidos solúveis (SS), Pungência (Pg), pH, Acidez titulável (ATT), Perda de massa (PM), Índice de chochamento (IC). Efeitos (Cultivar (C), Período de Armazenamento (T), interação dos fatores Cultivar e Tempo (CxT)	36
Tabela 5- Correlação entre as variáveis nos dois primeiros componentes principais	44
Tabela 6- Tabela resumo dos testes de Shapiro-Wilk e Levene para as análises colorimétricas de película e polpa de alho	45
Tabela 7- Medianas das variáveis L, a, b, Hue e Croma, com agrupamento das letras indicativo de diferenças estatísticas pelo teste de Mann-Whitney ($p < 0,05$), para dados de película das cultivares Amaranite (A) e Ito (I) durante o período de armazenamento (0, 30, 60, 90, 120 dias)	47
Tabela 8- Medianas das variáveis L, a, b, Hue e Croma, com agrupamento de letras indicativo de diferenças estatísticas pelo teste de Mann-Whitney ($p \leq 0,05$), para dados de película das cultivares Amaranite e Ito durante o período de armazenamento (0, 30, 60, 90, 120 dias)	50

LISTA DE SÍMBOLOS

°	Número Ordinal
t	Toneladas
ha	Hectares
%	Porcentagem
°C	Graus Celsius
H ⁺	Íons de Hidrogênio
pH	Potencial Hidrogeniônico
°Brix	Grau Brix
Kg	Quilograma
R\$	Moeda Real Brasileiro
mm	Milímetros
cm	Centrímetros
‘S	<i>South</i> ou Sul
‘W	<i>West</i> ou Oeste
Ø	Diâmetro Transversal
mL	Mililitro
p/v	Peso/Volume
mEq	Miliequivalente
v/v	Volume/Volume
M	Molar
N	Normalidade (medida de concentração usada em soluções químicas)
UV-VIS	Ultravioleta Visível
nm	Nanômetro
mmol	Milimol
µmol	Micromol
H	Ângulo Hue
C	Croma
ArcTAN	Arco da Tangente ou Tangente Inversa
π	Pi
±	Mais ou Menos
T méd	Temperatura Média
UR	Umidade Relativa
RGB	<i>Red-Green-Blue</i>
SS	Sólidos Solúveis
ATT	Acidez Titulável Total
Pg	Pungência
PM	Perda de Massa
IC	Índice de Chocamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Armazenamento e Deterioração	16
2.2 Avaliações Físico-Químicas no Pós-Colheita.....	18
2.3 Colorimetria.....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Local, condições experimentais e monitoramento ambiental	22
3.3 Preparo das amostras.....	22
3.4 Determinação de SS e pH.....	23
3.5 Determinação da ATT	23
3.6 Determinação da Pg.....	23
3.7 Determinação da PM e IC.....	24
3.8 Avaliações colorimétricas dos bulbilhos.....	24
3.9 Análises Estatísticas	25
4 RESULTADOS.....	26
4.1 Monitoramento ambiental.....	26
4.2 Parâmetros Físico-Químicos.....	27
4.2.1 A normalidade e a heterodasticidade dos dados	27
4.3 Análise de variância.....	35
4.4 Agrupamento das comparações múltiplas com <i>Aligned Rank Transform</i> (ART) e correção de Bonferroni	36
4.5 Análise de componentes principais (ACP)	43
4.6 Análises Colorimétricas.....	44
4.6.1 Película	46
4.6.1.1 Luminosidade (L)	47
4.6.1.2 Coordenada a*	47
4.6.1.3 Coordenada b*	48
4.6.1.4 Croma (saturação).....	48
4.6.1.5 Ângulo hue (tonalidade)	49
4.6.2 Polpa	50
4.6.2.1 Luminosidade (L)	51
4.6.2.2. Coordenada a*	51
4.6.2.3 Coordenada b*	51
4.6.2.4 Croma (saturação).....	52
4.6.2.5 Ângulo Hue (tonalidade)	52
5 DISCUSSÃO.....	53
6 CONCLUSÃO	59
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

O alho (*Allium sativum*) é uma hortaliça de grande relevância, amplamente valorizada por suas propriedades nutracêuticas e importância na economia agrícola global (Lana e Tavares, 2010; Feng e Xu, 2021). O Brasil é o 16º maior produtor mundial de alho (184.844 t em 2023), sendo a Bahia o principal estado produtor da região Nordeste, com destaque para a Chapada Diamantina, e apresenta produtividade média de 10.593 kg/ha⁻¹ (7.881 t em 744 ha) e crescimento anual de 3,6% (Conab, 2024; IBGE, 2024).

Em regiões produtoras de alho no estado da Bahia, agricultores de pequeno e médio porte enfrentam concorrência na comercialização, principalmente nos meses de julho a setembro. Esse cenário ocorre porque a maioria dos produtores da região realizam a colheita coincidindo com o período de comercialização de produtores mais tecnificados de outros estados, como Goiás e Minas Gerais. O aumento da oferta nesse período resulta na queda dos preços dos produtos, obrigando pequenos produtores a venderem suas colheitas por valores significativamente mais baixos. Como alternativa, a produção pode ser destinada ao armazenamento, estratégia que possibilita postergar as vendas para períodos de menor oferta no mercado. Na prática, os bulbos são acondicionados principalmente em caixas plásticas, geralmente toaletados, ou ainda em réstias, ficando bastante adensados em barracões ou estaleiros, sob condições ambientais. Embora essa prática seja viável, devido à capacidade do alho de tolerar períodos de armazenamento prolongados (Oliveira et al., 2004), ainda há escassez de informações sobre as condições ideais de armazenamento em temperatura ambiente, e o tempo máximo em que os bulbos podem ser mantidos armazenados sem comprometer a qualidade intrínseca dos bulbos, altamente valorizada pelo mercado consumidor.

Os principais fatores relacionados à conservação pós-colheita durante a estocagem estão relacionados a alterações físico-químicas, avaliadas por meio de análises qualitativas (Chitarra, 2005). As principais análises utilizadas para determinar a qualidade do alho incluem pH, teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (ATT) e pungência (Pg) (Lucena et al., 2016), bem como perda de massa (PM), índice de chochamento (IC) cor, entre outras (Pardo et al., 2007).

A deterioração do alho durante o armazenamento é um processo influenciado por fatores como temperatura, umidade e tipo de embalagem, e pode acarretar perdas superiores a 40% em condições ambiente (Madhu et al., 2019; Tripathi e Lawande, 2006). Segundo Saif et al. (2020), em condições ideais, o alho pode ser armazenado por um a

dois meses em temperatura ambiente (20-30°C), com umidade relativa abaixo de 75% e com fluxo de ar adequado para evitar o acúmulo de umidade. Contudo, há risco de os bulbilhos perderem firmeza e apresentarem mudanças de cor (Madhu et al., 2019). Entre as cultivares estudadas, a Amarante, seminobre, é amplamente adotada por pequenos produtores do Nordeste do Brasil em virtude do seu bom desempenho em clima semiárido, devido a sua rusticidade, menor exigência tecnológica e por dispensar vernalização, além de produzir bulbilhos maiores em menor número (Embrapa, 2014). Já a cultivar Ito, considerada nobre, é cultivada principalmente devido à maior tolerância a pragas e doenças, e por sua elevada demanda no mercado consumidor (Resende et al., 2014).

Diante da crescente valorização do alho no mercado e a demanda por produtos de alta qualidade, torna-se fundamental compreender como o tempo de armazenamento em condições ambiente impacta as características físico-químicas e colorimétricas dos bulbos. Assim, este estudo teve como objetivo identificar o tempo ideal de armazenamento durante o qual as propriedades desejadas do alho se mantêm preservadas, oferecendo melhores condições de comercialização para os produtores. Assim, espera-se que os resultados contribuam para fortalecer a produção de alho no Brasil, unindo qualidade e competitividade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Armazenamento e Deterioração

O alho pode ser armazenado por diferentes métodos, os quais variam em eficiência de conservação e tempo de estocagem. O armazenamento sob ventilação natural, realizado em câmaras de armazenamento, protegidas da incidência solar e da ação direta do vento, em condições ambientais, possibilita a manutenção da qualidade por aproximadamente dois meses. A utilização da ventilação forçada, por meio de ventiladores e/ou exaustores que promovem a renovação forçada de ar em intervalos pré-estabelecidos, amplia o período de conservação para quatro meses (Resende, et al., 2014). Já o armazenamento refrigerado em câmaras frias constitui a alternativa mais eficiente para estocagem prolongada, de seis a oito meses, sendo conduzido a uma temperatura de 0°C e UR de 70 a 75%, em países de clima temperado, visto que estas condições minimizam a deterioração fisiológica, a ruptura celular e a desidratação dos bulbos em cultivares como Morado e Blanco cultivadas em regiões de clima ameno como no trabalho realizado por Ludlow, et al. (2022). Entretanto, conforme experimento realizado

por Botrel, et al. (2015), o uso da refrigeração pode-se tornar oneroso e desnecessário. Além disso, a refrigeração pode favorecer a brotação antecipada dos bulbilhos semente quando armazenados em temperaturas próximas aos 20° C após o armazenamento refrigerado em cultivares como Ito. Cabe destacar ainda que, em regiões produtoras da Bahia, é comumente observado a adoção de práticas tradicionais, nas quais, os bulbos toaletados são acondicionados em contentores plásticos ou dispostos em réstias, empilhados em paletes de madeira em galpões ventilados sob condições ambientais, constituindo um método empírico amplamente difundido entre os agricultores locais.

A eficiência desses métodos pode ser comprometida por fatores, como temperatura, umidade, tipo de embalagem e tratamentos de conservação. Segundo Madhu et al. (2019), em diversos países é comum o armazenamento de grande parte da produção de alho durante o ano. No entanto, métodos tradicionais de armazenamento podem levar a perdas fisiológicas dos bulbos, bem como à deterioração, causada por pragas e doenças, com perdas que variam entre 25 a 40% em condição ambiente (Tripathi e Lawande, 2006). Segundo estudo de Madhu et al. (2019), o alho pode ser armazenado em boas condições por um a dois meses à temperatura ambiente (20-30°C), com umidade relativa inferior a 75% e com fluxo de ar adequado para evitar o acúmulo de umidade. Mesmo assim, há risco de os bulbos perderem a firmeza, tornarem-se elásticos e sofrerem alterações de cor.

Segundo Purwanto et al. (2019), bulbos armazenados à temperatura ambiente (29 a 31°C, UR 70 a 80%) apresentaram perda de massa de aproximadamente 18,76%, além de uma taxa de 13% de bulbos chochos. No trabalho de Ludlow et al. (2021), a atividade da enzima alinase foi mantida em bulbos armazenados à temperatura ambiente (22° C) durante os seis primeiros meses de armazenamento. Entretanto, foram observadas maiores taxas de doenças fúngicas em bulbos armazenados à temperatura ambiente, quando comparados aos bulbos armazenados sob refrigeração (1,5°C, UR 65%); embora, essas diferenças não tenham sido estatisticamente significativas antes dos seis primeiros meses de armazenamento. O mesmo o estudo indicou que a umidade relativa em torno de 65% pode inibir a proliferação de doenças.

Mohammed et al. (2009) demonstraram que o uso de embalagens de polipropileno, tanto espessas quanto finas, são eficazes na redução da perda de massa e na manutenção dos sólidos solúveis totais em bulbos de alho descascados. Os autores destacaram que o polipropileno espesso (PPH) apresentou melhor desempenho em comparação com o polietileno (PE) e o polipropileno fino (PPL), especialmente na redução de perda de massa e da atividade microbiana.

Dessa forma, a deterioração do alho, durante o armazenamento, é um processo multifatorial. Estudos evidenciam que métodos tradicionais de armazenamento podem resultar em perdas significativas, tanto por aspectos fisiológicos quanto por ação de pragas e doenças. Entretanto, práticas, como o controle da umidade relativa, uso de embalagens adequadas e a refrigeração, têm se mostrado eficazes na redução dessas perdas, permitindo maior conservação da qualidade dos bulbos. Técnicas de armazenamento eficazes são fundamentais para minimizar danos, preservar atributos físico-químicos e contribuir para a sustentabilidade da cadeia produtiva do alho.

2.2 Avaliações Físico-Químicas no Pós-Colheita

Os parâmetros físico-químicos do alho são influenciados por diversos fatores, como o manejo da cultura, as condições ambientais, a nutrição e o controle fitossanitário. Essas variáveis podem ocasionar alterações nas características fenotípicas entre as variedades de alho, refletindo-se em atributos, como peso, tamanho, coloração e concentração de açúcares (Saif et al., 2020).

Considerando essa influência de múltiplos fatores sobre a qualidade do produto, torna-se essencial avaliar as alterações físico-químicas que ocorrem durante o período pós-colheita. Conforme estudos de Chitarra (2005), essas alterações podem ser mensuradas por meio de análises qualitativas, as quais permitem determinar a manutenção das características desejáveis do alho após a colheita. Entre os principais parâmetros analisados, destacam-se o pH, sólidos solúveis, acidez titulável, pungência (Lucena et al., 2016); além de atributos físicos, como perda de massa, coloração de casca e de polpa. Esses parâmetros são amplamente empregados em estudos comparativos, como o realizado por Prado et al. (2007), que avaliou as propriedades físico-químicas de 14 cultivares de alho cultivados na Espanha, classificadas em grupos Roxo, Branco e Chinês.

Dentre esses parâmetros, a acidez se destaca como um dos mais relevantes para a avaliação da qualidade pós-colheita, pois reflete a presença de ácidos orgânicos solubilizados nos vacúolos das células. Esse índice constitui um importante indicador da conservação de alimentos, podendo variar em função de reações, como hidrólise, fermentação ou oxidação (Chitarra; Chitarra, 2015; Garske, 2018). De modo complementar, o pH constitui um indicador inversamente proporcional à acidez, refletindo a atividade dos íons de hidrogênio (H^+) e fornecendo informações sobre a atividade enzimática, estágio de maturação e potencial de deterioração dos bulbos

(Cecchi, 2003). Assim, a acidez e o pH atuam de maneira interdependente na caracterização da conservação do alho, influenciando não apenas sua estabilidade química, mas também o perfil sensorial do produto, uma vez que a volatilidade de compostos orgânicos pode ser afetada pela acidez do meio, impactando diretamente o aroma característico desse alimento (Bessa, 2016).

Conforme Chitarra e Chitarra (2005), o teor de sólidos solúveis (°Brix) constitui uma medida indireta do conteúdo de açúcares, o qual tende a aumentar à medida que ocorre seu acúmulo nos bulbilhos. Embora também compreenda outras substâncias dissolvidas, como ácidos, vitaminas e outros compostos, os açúcares representam mais de 80% destes sólidos. No gênero *Allium*, os principais açúcares presentes são glicose, frutose e sacarose, associadas a oligossacarídeos (Souza e Macedo, 2009). Aproximadamente 60% dos sólidos solúveis são compostos destes açúcares, que desempenham um papel crucial no sabor característico dos bulbilhos. Assim, é essencial que os bulbilhos apresentem altos teores de sólidos para garantir melhor qualidade. Além do aspecto sensorial, o teor de sólidos solúveis é um importante indicador da qualidade e do potencial industrial do produto. Bulbos com maiores valores de °Brix apresentam vantagens tecnológicas, como redução dos custos de secagem e obtenção de derivados com melhor aroma e qualidade. Dessa forma, cultivares com elevados teores de sólidos solúveis não apenas expressam melhor a qualidade organoléptica, mas também possuem maior valor comercial e potencial de aproveitamento pela indústria de processamento (Lopes et al., 2016).

A avaliação de perda de massa fresca dos bulbos, durante o armazenamento, é realizada de maneira periódica. Este parâmetro é essencial para construir a curva de resposta de perda de massa e determinar a porcentagem total de massa perdida, cujos dados são cruciais para entendermos o comportamento dos bulbos durante o armazenamento e garantir a manutenção de sua qualidade (De Almeida et al., 2022).

Outro importante indicador da conservação do alho é o índice de chochamento, sendo mais comum em cultivares com menor número de bulbilhos por bulbo. Este defeito, parcial ou total, é considerado um critério importante pelas portarias ministeriais, que estabelece um limite do índice de chochamento, sendo um dos principais indicadores de conservação do alho, classificado como defeito grave pelas portarias ministeriais. A legislação estabelece limites máximos de 2% para categoria extra, 3% para a categoria I e 4% para a categoria II, acima dos quais o lote é considerado impróprio para a comercialização (Luengo, 1996; Oliveira et al., 2004; Brasil, 2022).

Segundo Prati et al. (2014), a pungência do alho está correlacionada com os níveis de ácido pirúvico liberados durante a conversão de aliina em alicina. O ácido pirúvico é um subproduto do processo enzimático, e sua quantificação serve como um indicador indireto da quantidade de alicina formada. Para Bessa et al. (2017), a determinação do teor do ácido pirúvico em extratos de alho é a forma mais simples de medir a intensidade da pungência, fator essencial na seleção da matéria prima. Quanto maior o teor do ácido pirúvico, mais intenso é o sabor e o aroma do produto final. O método mais comum de determinar a pungência é através da espectrofotometria, que envolve uma reação colorimétrica utilizando o reagente 2,4-dinitrofenilhidrazina (DNPH).

De acordo com Ferreira e Spricigo (2017), para a agricultura, a cor é uma característica que pode representar de maneira subjetiva a qualidade de um produto. Entretanto, a colorimetria, através de auxílios matemáticos, busca descrever, quantificar e simular a percepção das cores pelos seres humanos. Dessa forma, procura eliminar o seu caráter subjetivo padronizando as medições. Os equipamentos mais utilizados para descrever numericamente os elementos da composição de uma cor em superfícies é o espectrofotômetro e o colorímetro. O espectrofotômetro mede a curva de reflectância em diferentes comprimentos da onda; já o colorímetro separa os comprimentos RGB da luz, simulando a visão humana. Ambas oferecem combinações colorimétricas universais (L^*a^*b), sob condições padronizadas que permitem a reprodução das cores reais em RGB.

2.3 Colorimetria

Na agricultura, a colorimetria está relacionada à qualidade, maturação e processamento dos produtos vegetais, por este motivo, é amplamente utilizada em avaliações de qualidade de produtos vegetais (Mohammadi, 2024).

A cor pode ser entendida como uma característica dos materiais relacionada à forma como absorvem e refletem a luz. Seus principais atributos são o matiz, a luminosidade e a saturação. Trata-se de uma percepção subjetiva, já que a interpretação das cores depende do modo como o cérebro processa os estímulos visuais captados pelos olhos. Já a colorimetria é uma análise não destrutiva, que consiste na medição objetiva da cor por meio de instrumentos (colorímetro e espectrofotômetro) e modelos padronizados. O colorímetro mede diretamente as coordenadas de cor, é prático, rápido e robusto. Já o espectrofotômetro registra a curva espectral e calcula as coordenadas, sendo considerado mais completo que o colorímetro (Ferreira e Spricigo, 2017).

Os espaços de cor mais utilizados para avaliar a colorimetria é o CIELAB ($L^*a^*b^*$), padrão mais utilizado que fornece uma diferenciação de cores mais precisas, definido em três eixos ou coordenadas perpendiculares: (i) L^* : eixo principal, central que está relacionado à luminosidade, varia do preto – valores mais próximo de cem – ao branco – valores mais próximos do zero; (ii) a^* : coordenada que varia de verde – valores negativos – ao vermelho – valores positivos; (iii) b^* : coordenada que varia de azul – valores negativos – ao amarelo – valores positivos (McGuire, 1992).

Tabela 1- Coordenadas do espaço CIELAB.

L^* (Luminosidade)	
Valores	Coordenadas
$L = 100$	Branco
$L = 0$	Preto
a^*	
Valores	Coordenadas
Negativos (-)	Verde
Positivos (+)	Vermelho
b^*	
Valores	Coordenadas
Negativos (-)	Azul
Positivos (+)	Amarelo

Fonte: Konica Minolta (2021).

Uma forma bastante prática de representar o espaço CIELAB é a coordenada polar LCh^* , na qual o croma (C) expressa a intensidade da cor e o ângulo hue (h°) corresponde ao matiz. Esse ângulo, em geral, assume valores próximos de 0° , 90° , 180° e 270° , que estão associados, respectivamente, às tonalidades vermelha, amarela, verde e azul. O hue é considerado um atributo qualitativo, pois permite a comparação entre amostras, sendo obtido pelo cálculo de $\tan^{-1}(b^*/a^*)$. Já o croma, também chamado de saturação, indica a distância radial entre o centro do diagrama e o ponto que representa a cor. À medida que esse valor aumenta em direção às bordas do espaço, cresce também a intensidade percebida da cor. Em vegetais, frutas e hortaliças, a saturação está diretamente relacionada à concentração dos pigmentos, constituindo um parâmetro quantitativo da intensidade colorimétrica. Matematicamente, o croma corresponde à hipotenusa do triângulo, formado pelas coordenadas a^* e b^* , sendo determinado pela equação $(a^2 + b^2)^{1/2}$ ((Ferreira e Spricigo, 2017; McGuire, 1992).

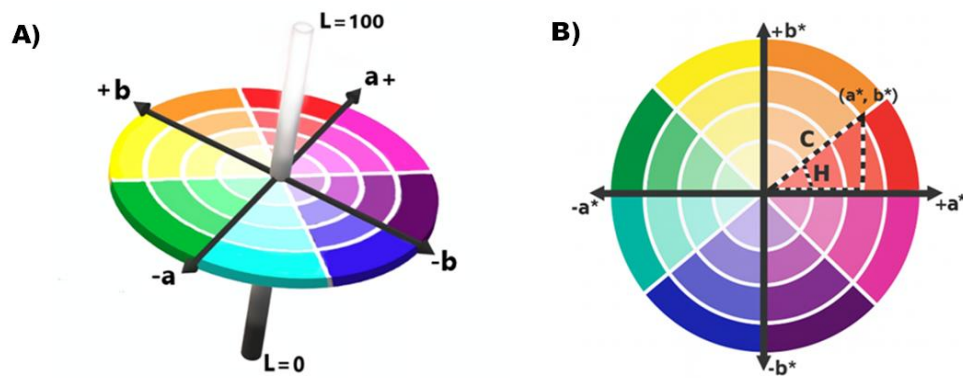


Figura 1- A) Coordenadas $L^*a^*b^*$ do Sistema CIELAB. B) Expressão $L^*C^*h^*$ do espaço CIELAB. Arte: Luana Silva (2025).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local, condições experimentais e monitoramento ambiental

O experimento foi realizado na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* de Vitória da Conquista ($14^{\circ}53'S$, $40^{\circ}48'W$), entre outubro de 2024 e março de 2025. Os bulbos utilizados no experimento foram adquiridos do campo experimental da UESB. Utilizou-se bulbos de diâmetro transversal (\emptyset) das categorias 5 (46 a 50 mm \emptyset) e 6 (51 a 55 mm), conforme estabelecido pela Portaria do MAPA n $^{\circ}$ 435 de 2022 (Brasil, 2022). Os bulbos foram armazenados em caixas plásticas de polipropileno, mantidos em sala de alvenaria, sob temperatura ambiente, no escuro, com ventilação controlada por climatizador com temporizador. A temperatura e a umidade foram monitoradas por *Data Logger* (Hobo UX 100-011, Bourne, Estados Unidos).

3.2 Delineamento Estatístico

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial duplo 2×5 , com 12 repetições. A unidade experimental foi constituída por cinco bulbos por repetição. Os fatores avaliados compreenderam as cultivares Ito (nobre) e Amaranite (seminobre); em 5 períodos de armazenamento: 0 (controle), 30, 60, 90, 120 dias.

3.3 Preparo das amostras

Os bulbos das cultivares Ito e Amaranite foram previamente selecionados, conforme critérios de integridade física (ausência de contaminação microbiana visível, superfície externa íntegra, sem amassados ou cortes, coloração característica da cultivar,

sem escurecimentos ou oxidação; e firmeza ao toque). Em seguida, procedeu-se à debulha dos bulbos, com separação manual dos bulbilhos. Estes foram descascados com o auxílio de uma faca e, posteriormente, processados em um triturador (Britânia/BMP900P, Joinville, Brasil) por 30 segundos, seguido de homogeneização em mixer (Mondial/M-15-W, Barueri, Brasil) por mais 30 segundos, em velocidade média. A polpa de alho obtida foi acondicionada em embalagens plásticas (polietileno tereftalato) com volume de 140 mL. O processamento das amostras foi realizado em sala climatizada, com temperatura controlada, aproximadamente 25°C.

3.4 Determinação de SS e pH

A determinação de sólidos solúveis (SS) foi realizada com refratômetro digital (*Soonda Official Store*, Shanghai, China), previamente calibrado com água destilada. A análise foi realizada em triplicata.

O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado pelo método potenciométrico direto, utilizando pHmetro digital (Adamo/mPA-210, Piracicaba, Brasil) previamente calibrado, com soluções padrão de pH 4,0 e 7,0, de acordo com *Association of Official Analytical* (2016).

3.5 Determinação da ATT

Para a avaliação da acidez titulável, foi utilizado 1g de polpa de alho, diluída em água destilada, completando-se o volume para 50 mL. Em seguida, foram adicionadas duas gotas de solução de fenolftaleína (1%, p/v) como indicador ácido-base. A titulação foi realizada com solução padronizada de hidróxido de sódio (NaOH 0,1 N), sob agitação constante, até a obtenção do ponto de viragem, identificado pela mudança de coloração de incolor para cor rósea persistente. Os resultados foram expressos em mEq mL⁻¹ (IAL, 1985), através da equação 1:

$$\text{Acidez (mEq mL)} = \frac{[V \text{ gasto de NaOH (mL)} \times \text{Fator de NaOH} \times 0,1 \text{ (normalidade)}] \times 100}{\text{Massa da Amostra (g)}} \quad (1)$$

3.6 Determinação da Pg

A pungência foi estimada pela quantificação de ácido pirúvico, por espectrofotometria, utilizando o reagente 2,4-Dinitrofenilhidrazina (DNPH), conforme método de Anthon e Barret (2003), com adaptações baseadas em Schwimmer e Watson (1961).

Inicialmente foram pesadas alíquotas de 10 g da polpa e homogeneizadas com 10 mL de água destilada, e filtradas em papel filtro. Do extrato filtrado, 0,2 mL foram transferidos para erlenmeyer de 100 mL e mantidos em repouso por 10 minutos. Adicionou-se 1,5 mL de ácido tricloroacético (TCA, 5% v/v) e 18,3 mL de água destilada, totalizando 20 mL. Em seguida, alíquotas de 1 mL da solução foi adicionada a tubos de ensaio de 35 mL, juntamente com 1 mL de solução de 2,4-DNPH (0,0125 M) e 1 mL de água destilada. Os tubos foram colocados sob aquecimento em banho-maria, a 37°, por 10 minutos, e resfriados imediatamente em banho de gelo. Posteriormente, adicionou-se 5 mL de NaOH (0,6 N) para desenvolvimento da coloração laranja. As leituras de absorvância foram realizadas em espectrofotômetro (Kasuki UV- VIS, IL-226-NM-BI, Rio de Janeiro, Brasil) a 420 nm. Os resultados foram expressos em μ moles de ácido pirúvico, com base em curva padrão construída com piruvato de sódio em sete concentrações (0,0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 mmol L⁻¹). Os resultados foram obtidos em μ moles de ácido pirúvico por mL de filtrado de alho (μ mol mL⁻¹), determinados por regressão linear da curva padrão. As análises foram realizadas em triplicatas, com agitação manual após cada de adição de reagentes.

3.7 Determinação da PM e IC

A perda de massa foi avaliada em cinco períodos ao longo do experimento. O valor de perda de massa foi calculado com base na diferença entre a massa inicial e a final, expressos em porcentagem, conforme a equação 2 (Embrapa, 2022):

$$\text{Perda de Massa Fresca (PM)\%} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad (2)$$

O índice de chochamento foi obtido pela razão entre o número de bulbilhos chochos e o total de bulbilhos por bulbo, expresso em porcentagem, conforme equação 3.

$$\text{IC (\%)} = ((N^\circ \text{ de Bulbilhos Chochos} / N^\circ \text{ Total de Bulbilhos}) \times 100) \quad (3)$$

3.8 Avaliações colorimétricas dos bulbilhos

As avaliações colorimétricas foram realizadas com colorímetro portátil (Linshang/LS173 D/8, Shenzhen, China), utilizando o sistema CIELAB, conforme ilustrado na Figura 1. O equipamento foi calibrado com placa branca padrão antes de cada série de medições.

Cada repetição foi avaliada em triplicata, nos pontos centrais das películas e

polpas em ambos os lados dos bulbilhos, totalizando 36 leituras por parâmetro (polpa e película), por cultivar e por período. As médias das 12 repetições foram utilizadas para análise. A partir dos valores de L^* , a^* e b^* (ver Tabela 1), foram calculados os parâmetros ângulo hue ou tonalidade cromática (H) e croma ou saturação (C), conforme as equações 4 e 5 (McGuire, 1992):

$$H = ((\text{ArcTAN}(b^*/a^*) 2\pi) * 360) \quad (4)$$

$$C = ((a^2+b^2)^{1/2}) \quad (5)$$

3.9 Análises Estatísticas

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, complementada por histogramas e boxplots, centrados na mediana, os quais permitiram a visualização da distribuição dos dados, possibilitando a identificação de assimetrias e a detecção de *outliers*. A homogeneidade das variâncias foi avaliada pelo teste de Levene. Na ausência de normalidade, utilizou-se análise não paramétrica, baseada em alinhamento e ranqueamento de dados (ART), pelo pacote ‘ARTool’, conduzidas no *software* R, versão 4.5.1 (R Core Team, 2025). Essa abordagem possibilitou a aplicação de ANOVA (função *anova*) com modelo linear ajustado, considerando tanto os efeitos principais quanto a interação entre os fatores. Em seguida, as comparações múltiplas entre os níveis dos fatores foram realizadas com correção de Bonferroni, utilizando-se o pacote ‘emmeans’.

Por fim, todos os gráficos apresentados no estudo foram elaborados com o pacote *ggplot2* (Kay et al., 2025; Wobbrock et al., 2011). Na representação gráfica, foram utilizadas as médias ajustadas pelo método ART, expressas nas respectivas escalas das variáveis, de modo a manter a correspondência entre os resultados estatísticos e a visualização. Assim, os gráficos apresentam as médias estimadas pelo modelo, acompanhadas das letras de agrupamento estatístico.

Para as análises colorimétricas, foi aplicado teste não paramétrico de Mann-Whitney (Wilcoxon rank-sum test), indicado para dados que não atendem aos pressupostos da normalidade e homogeneidade, uma vez que a transformação exercida pelo ART modifica a estrutura dos dados, que impede a replicação das cores reais em RGB. O teste *post hoc* de comparações múltiplas foi ajustado com a correção de Bonferroni, seguido do agrupamento das médias com o uso do pacote ‘multcompLetters’ (Beise et al., 2024; Graves et al., 2024).

Foi realizada uma análise de componentes principais (ACP) utilizando as variáveis sólidos solúveis (SS), acidez titulável (ATT), pH, pungência (Pg) e perda de massa (PM). A variável índice de chochamento foi retirada por apresentar excesso de valores zerados, distorcendo os resultados da ACP. Os dados foram previamente transformados em logaritmos para estabilização da variância e padronizados (média zero e desvio padrão um). A ACP foi realizada pelo método de máxima verossimilhança por meio do pacote ‘FactoMineR’, baseadas na matriz de correlações, com intuito de verificar possível influência de *outliers*. Os resultados foram visualizados por meio de *biplot*, com adição de *bootstrap*, para avaliar as elipses de confiança (95%). A representação gráfica foi gerada com os pacotes ‘factoextra’ e ‘ggplot2’ (Lê et al., 2008; Jolliffe, 2002).

4 RESULTADOS

4.1 Monitoramento ambiental

Conforme apresentado na Figura 2, durante o período experimental, as médias mensais de umidade relativa do ar variaram de 62,16% a 70,32%. Em outubro de 2024, a umidade média foi de 66,20%, alcançando o valor máximo em novembro (70,32%). Nos meses de dezembro e início de janeiro, houve uma redução acentuada para 62,16% e 52%, respectivamente, seguida por uma elevação gradual: a partir da segunda quinzena de janeiro com 67,11%, 68,02% em fevereiro e 69,36% em março de 2025. Quanto à temperatura média, os valores oscilaram entre 24,18 °C e 26,30 °C. A menor temperatura foi registrada em novembro de 2024 (24,18 °C), enquanto os maiores valores ocorreram em dezembro (26,26 °C) e janeiro (26,30 °C). As variações na umidade e temperatura no ambiente de armazenamento, ao longo do experimento, são relevantes, pois podem afetar processos fisiológicos importantes dos bulbos, como a respiração, perda de água e manutenção da qualidade durante o armazenamento.

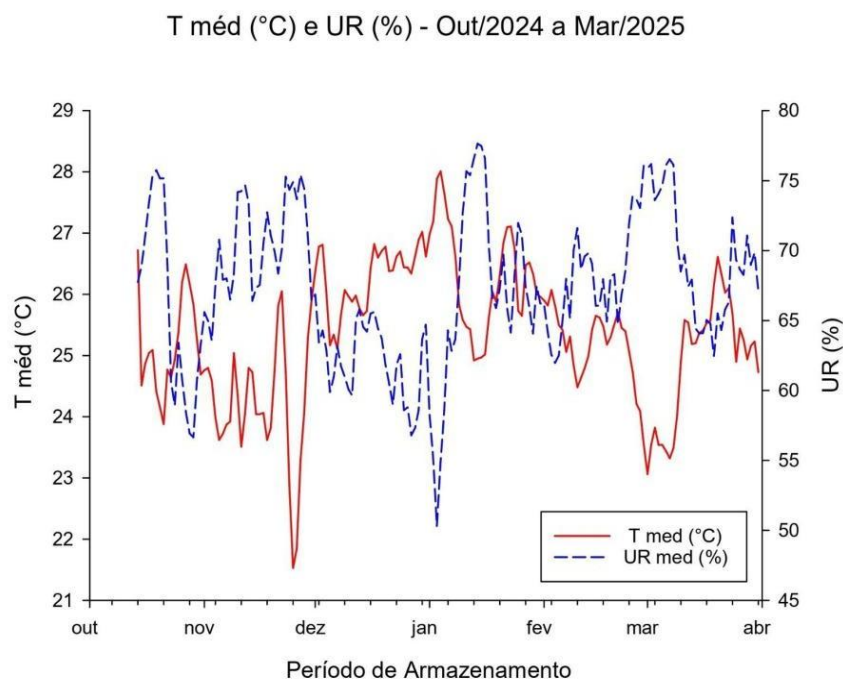


Figura 2- Umidade relativa (UR%) e temperatura média (°C) registrada no período de out/2024 a mar/2025.

4.2 Parâmetros Físico-Químicos

4.2.1 A normalidade e a heterodasticidade dos dados

De acordo com o teste de Shapiro-Wilk, não foi observada normalidade em nenhuma das variáveis dependentes ($p < 0,05$), conforme demonstrado na Tabela 2. A homogeneidade das variâncias, avaliada pelo teste de Levene (centrado na mediana), apresentou comportamentos entre as variáveis analisadas: (i) para as variáveis SS (°Brix), ATT (mEq mL^{-1}) e IC (%), as variâncias foram homogêneas entre cultivares ($p > 0,05$), porém, heterogêneas entre períodos de armazenamento ($p < 0,0001$); (ii) para Pg (μmol), pH e PM (%), as variâncias apresentaram heterogeneidade tanto entre cultivares quanto entre períodos de armazenamento ($p < 0,05$), conforme detalhado na Tabela 2.

Tabela 2- Tabela resumo dos testes de Shapiro-Wilk e Levene para as variáveis dependentes: Sólidos solúveis (SS); Acidez titulável (ATT); Pungência (Pg); Perda de massa (PM); Índice de chochamento (%).

Fator/ Variável	Shapiro-Wilk		Levene	
	W	p-valor	Cultivar] (p- valor)	Tempo (p- valor)
SS (°Brix)	0,665	< 0,0001	0,545	< 0,0001
ATT (mEq ⁻¹ ou mL ⁻¹)	0,956	0,001	0,533	< 0,0001
pH	0,964	0,003	< 0,0001	< 0,0001
Pg (µmol mL ⁻¹)	0,912	< 0,0001	0,013	< 0,0001
PM (%)	0,960	0,001	0,034	< 0,0001
IC (%)	0,537	< 0,0001	0,085	< 0,0001

*Estatística do teste de Shapiro-Wilk (W; valores próximos a 1 indicam aderência à normalidade).

A Tabela 3 apresenta a variação dos parâmetros físico-químicos, avaliados nas amostras de alho, sem considerar as influências isoladas de cultivar e tempo. Ao avaliar os dados de forma conjunta, observa-se uma ampla variabilidade nos dados, especialmente para os parâmetros de Pg e IC, que apresentaram as maiores amplitudes, evidenciando uma considerável heterogeneidade entre as amostras analisadas. O pH também mostrou variação expressiva, abrangendo a faixa de acidez até a alcalinidade, sugerindo diferenças relevantes na composição química dos bulbos. Os demais parâmetros, como SS, ATT e PM, apresentaram variações moderadas, indicando certa consistência entre as amostras quanto ao teor de açúcares, acidez e desidratação.

Essas variações, observadas de forma integrada, refletem a complexidade dos fatores envolvidos, sem discriminar o impacto específico de cada cultivar ou do tempo de armazenamento. Esse comportamento destaca a necessidade de considerar múltiplas variáveis ao avaliar a qualidade físico-química do alho, uma vez que cada parâmetro pode ser influenciado por uma combinação de fatores agrônômicos, ambientais e de manejo pós-colheita.

Tabela 3- Estatísticas descritivas das variáveis: Sólidos Solúveis (SS, Brix°), Acidez Titulável (ATT, mEq.mL⁻¹), pH, Pungência (Pg, μmol mL⁻¹), Perda de massa (PM, %), Índice de Chochamento (IC, %) das cultivares de alho Amaranite Branco e Ito.

	SS	ATT	pH	Pg	PM	IC
A0	35,1 ± 1,37	11,5 ± 1,66	6,1 ± 0,10	29,20 ± 8,4	1,63 ± 0,49	0,00 ± 0
A30	35,3 ± 0,85	10,9 ± 1,48	5,5 ± 0,52	23,53 ± 2,10	1,81 ± 0,55	0,00 ± 7,74
A60	35,5 ± 0,38	10,6 ± 0,93	5,6 ± 0,32	32,84 ± 3,92	4,66 ± 1,22	4,36 ± 9,04
A90	33,3 ± 3,41	10,7 ± 0,88	5,5 ± 0,12	36,16 ± 3,42	4,66 ± 1,22	10,4 ± 20,69
A120	32,8 ± 4,08	12,0 ± 1,45	5,6 ± 0,18	42,72 ± 2,14	6,27 ± 1,63	2,91 ± 21,26
I0	36,2 ± 0,98	10,0 ± 0,38	6,2 ± 0,05	10,46 ± 1,44	1,90 ± 1,31	4,2 ± 6,22
I30	35,3 ± 1,13	11,8 ± 1,56	6,0 ± 0,17	10,52 ± 2,69	2,53 ± 1,21	6,9 ± 9,96
I60	35,3 ± 0,36	11,3 ± 0,75	5,8 ± 0,02	14,04 ± 2,77	3,29 ± 1,47	6,3 ± 8,50
I90	35,6 ± 0,77	11,0 ± 0,81	5,5 ± 0,04	7,18 ± 2,67	3,67 ± 1,40	12,8 ± 15,75
I120	30,9 ± 5,10	12,6 ± 1,18	5,5 ± 0,04	4,95 ± 1,71	5,32 ± 1,82	21,3 ± 26,41

* Estatísticas descritivas (média ± desvio-padrão); não há teste de comparação entre grupos nesta tabela.

Nos *boxes plots* apresentados, a mediana foi utilizada como medida de tendência central, uma vez que as variáveis analisadas não atenderam aos pressupostos da normalidade e da homogeneidade das variâncias (Tabela 2).

A Figura 3 apresenta o *box plot* da variável sólidos solúveis (°Brix) para as cultivares Amaranite e Ito. Os dados referentes à cultivar Amaranite apresentaram distribuição ligeiramente simétrica, com a mediana localizada no centro da caixa entre o primeiro (Q1) e o terceiro quartis (Q3). Esse padrão indica uma maior concentração dos valores em torno da mediana, sugerindo uniformidade entre amostras. Por outro lado, na cultivar Ito, observou-se assimetria negativa, com a mediana deslocada em direção ao quartil superior (Q3), indicando maior dispersão dos dados em direção aos menores valores e, conseqüentemente, maior heterogeneidade entre as amostras. Além disso, a presença de *outliers* destaca a ocorrência de variações individuais mais pronunciadas entre os tratamentos.

Box plot - SS

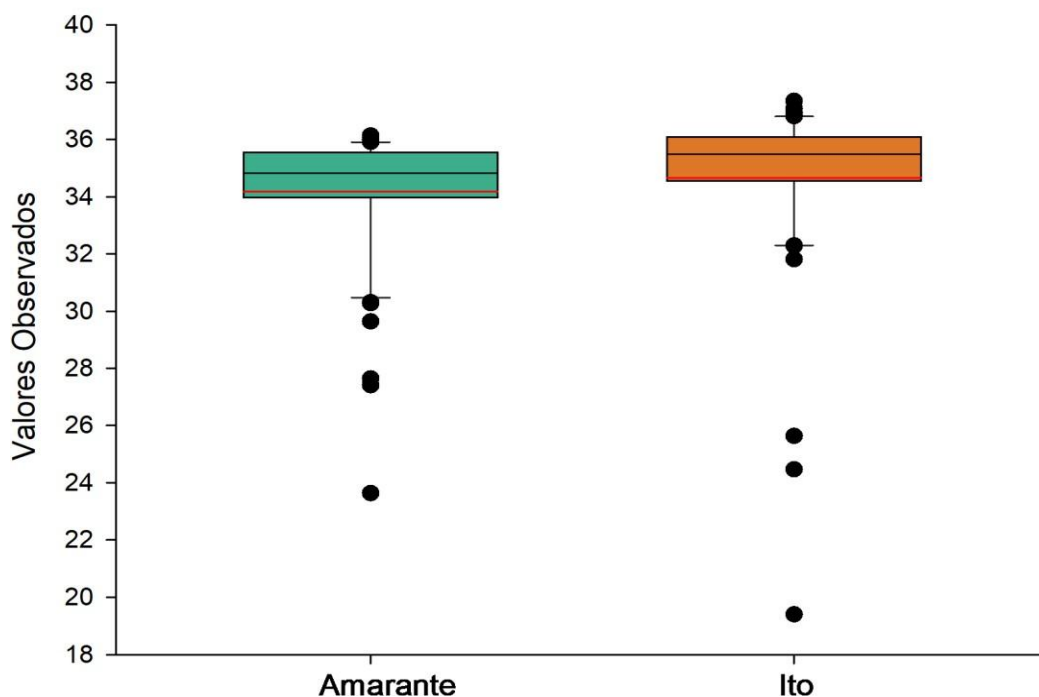


Figura 3- Box plot da variável sólidos solúveis (SS, °Brix) em bulbos de alho das cultivares Amarante e Ito. A mediana é representada pela linha interna da caixa; os quartis primeiro (Q1) e terceiro (Q3) definem os limites inferior e superior, respectivamente, enquanto os limites dos bigodes correspondem aos valores dentro de 1,5 vezes o intervalo interquartil (IQR). Valores fora desse intervalo são considerados outliers.

Para a variável ATT, conforme ilustrado na Figura 4, observa-se que a mediana está deslocada em direção ao primeiro quartil (Q1) para ambas as cultivares. A média encontra-se acima da mediana, com bigodes longos apontando para os valores mais elevados, além da presença de *outliers* à direita. Esses elementos caracterizam uma distribuição assimétrica positiva. Nota-se ainda que a cultivar Amarante apresenta maior dispersão em comparação à cultivar Ito.

Box plot - ATT

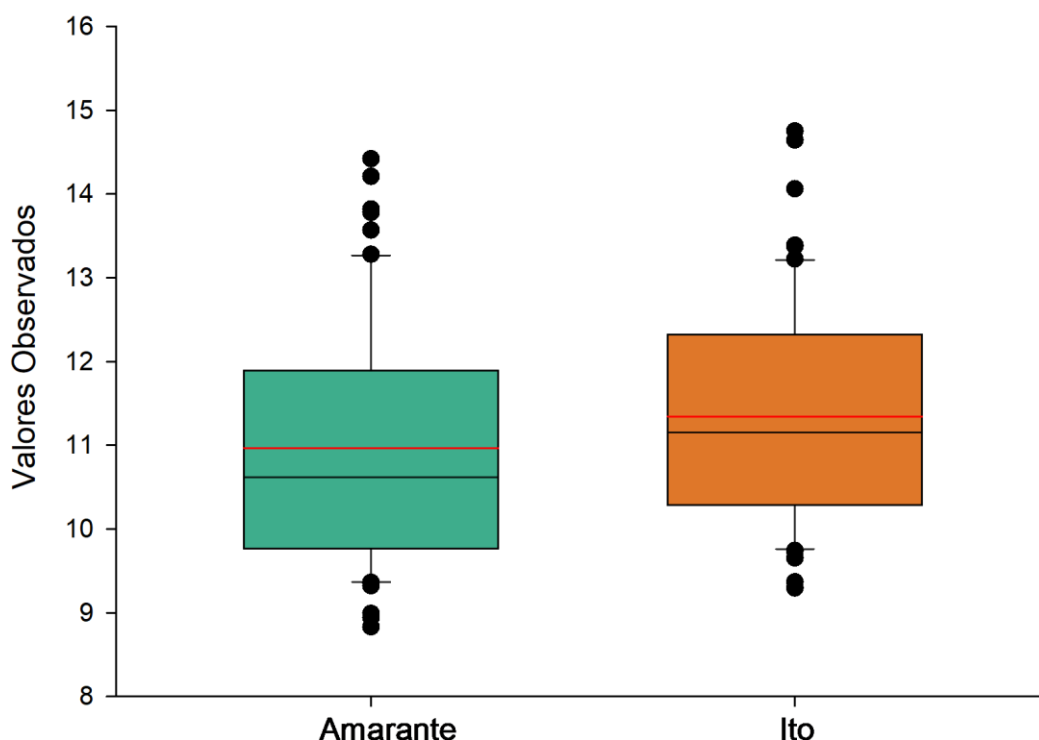


Figura 4- Box plot da variável acidez titulável (ATT, mEq mL⁻¹) em bulbos de alho das cultivares Amarante e Ito. A mediana é representada pela linha interna da caixa; os quartis primeiro (Q1) e terceiro (Q3) definem os limites inferior e superior, respectivamente, enquanto os limites dos bigodes correspondem aos valores dentro de 1,5 vezes o intervalo interquartil (IQR). Valores fora desse intervalo são considerados outliers.

A Figura 5 evidencia que a cultivar Amarante apresenta valores de pH inferiores aos da cultivar Ito. Observa-se, para Amarante, a mediana discretamente deslocada em direção ao primeiro quartil (Q1), sugerindo leve assimetria negativa. Os bigodes também indicam maior dispersão dos dados para os valores inferiores, com o valor mínimo registrado de 4,99, conforme demonstrado na Tabela 3. Em contrapartida, a cultivar Ito apresentou distribuição simétrica, com a linha da mediana centralizada na caixa (no segundo quartil – Q2) e baixa variabilidade. Ambas as cultivares apresentaram *outliers* nos limites superiores e inferiores.

Box plot - pH

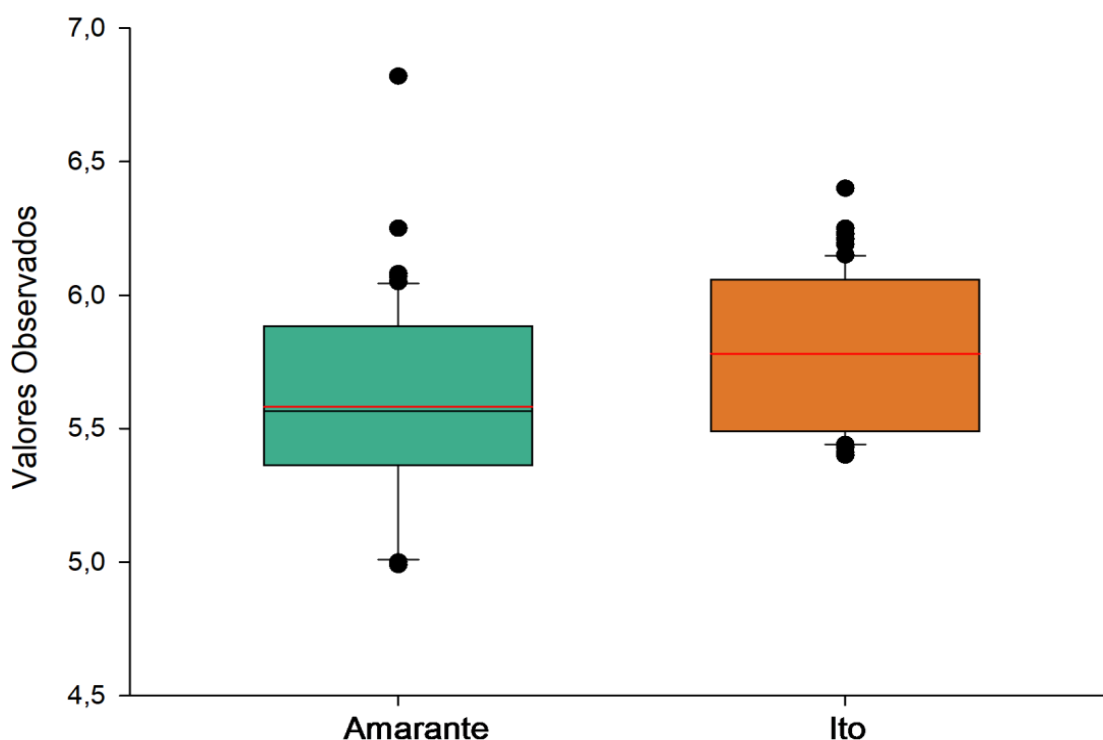


Figura 5- Box plot da variável pH, em bulbos de alho das cultivares Amarante e Ito. A mediana é representada pela linha interna da caixa; os quartis primeiro (Q1) e terceiro (Q3) definem os limites inferior e superior, respectivamente, enquanto os limites dos bigodes correspondem aos valores dentro de 1,5 vezes o intervalo interquartil (IQR). Valores fora desse intervalo são considerados outliers.

A análise da pungência nas cultivares Amarante e Ito revelou valores superiores para cultivar Amarante. Em ambas as cultivares, a mediana situou-se acima da média, com a linha central deslocada em direção ao terceiro quartil (Q3), o que indica assimetria positiva nas distribuições. No entanto, para a cultivar Amarante, os bigodes apresentam leve maior extensão em direção aos valores inferiores, indicando alguma variabilidade também nos limites inferiores da distribuição. Observa-se, ainda, a presença de *outliers*, especialmente nos limites superiores, sugerindo indivíduos com pungência excepcionalmente elevada. A variável apresentou grande dispersão, conforme demonstrado pelo elevado desvio padrão ($21,17 \pm 13,31$) apresentado na Tabela 3. Além disso, o tamanho da caixa para a cultivar Amarante foi maior do que o da cultivar Ito, refletindo maior variabilidade dos dados.

Box plot - Pg

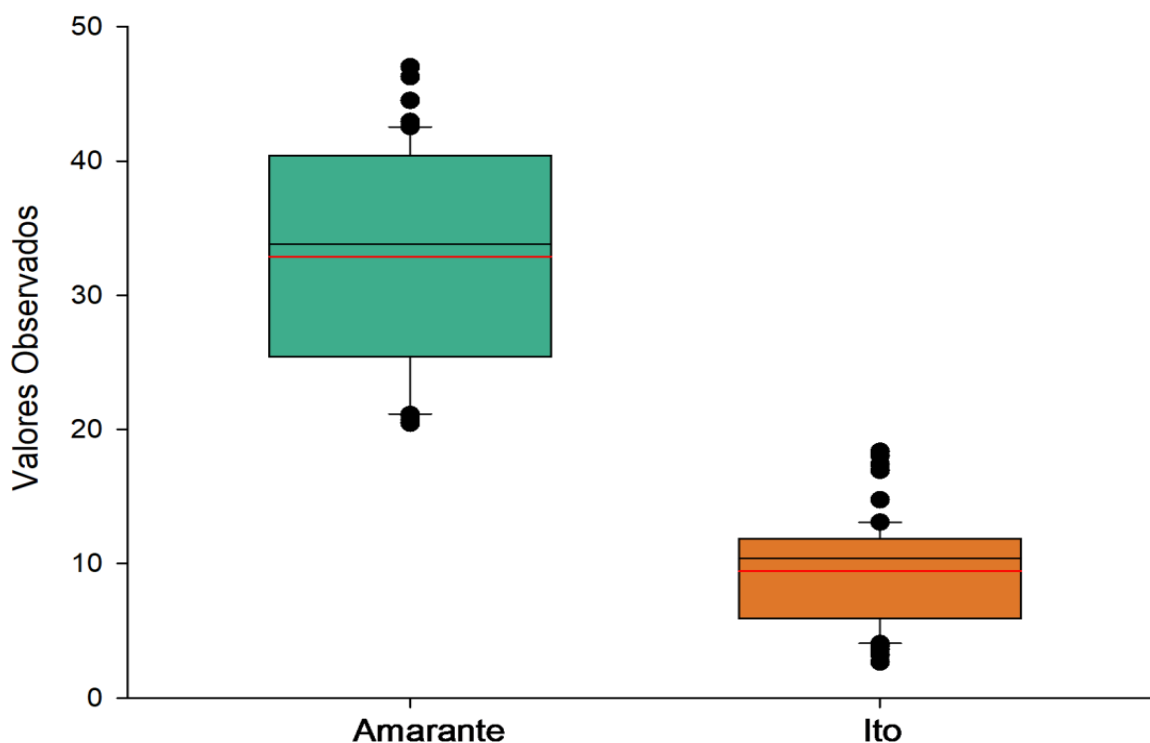


Figura 6- Box plot da variável pungência (Pg, $\mu\text{mol mL}^{-1}$), em bulbos de alho das cultivares Amarante e Ito. A mediana é representada pela linha interna da caixa; os quartis primeiro (Q1) e terceiro (Q3) definem os limites inferior e superior, respectivamente, enquanto os limites dos bigodes correspondem aos valores dentro de 1,5 vezes o intervalo interquartil (IQR). Valores fora desse intervalo são considerados outliers.

A Figura 7 apresenta o boxplot da variável perda de massa (%), na qual é possível observar assimetria positiva para a cultivar Amarante e assimetria negativa para a cultivar Ito. A distribuição da cultivar Amarante apresenta a média posicionada acima da mediana, bigodes mais longos em direção aos valores superiores e presença de *outliers*, indicando maior variabilidade nos limites superiores. Já a cultivar Ito exibe a mediana deslocada em direção à base da caixa, com os bigodes superiores mais longos, caracterizando uma leve assimetria negativa. Nota-se ainda que a cultivar Amarante apresentou maior perda de massa em comparação à cultivar Ito, com maior variabilidade de dados.

Box plot - PM

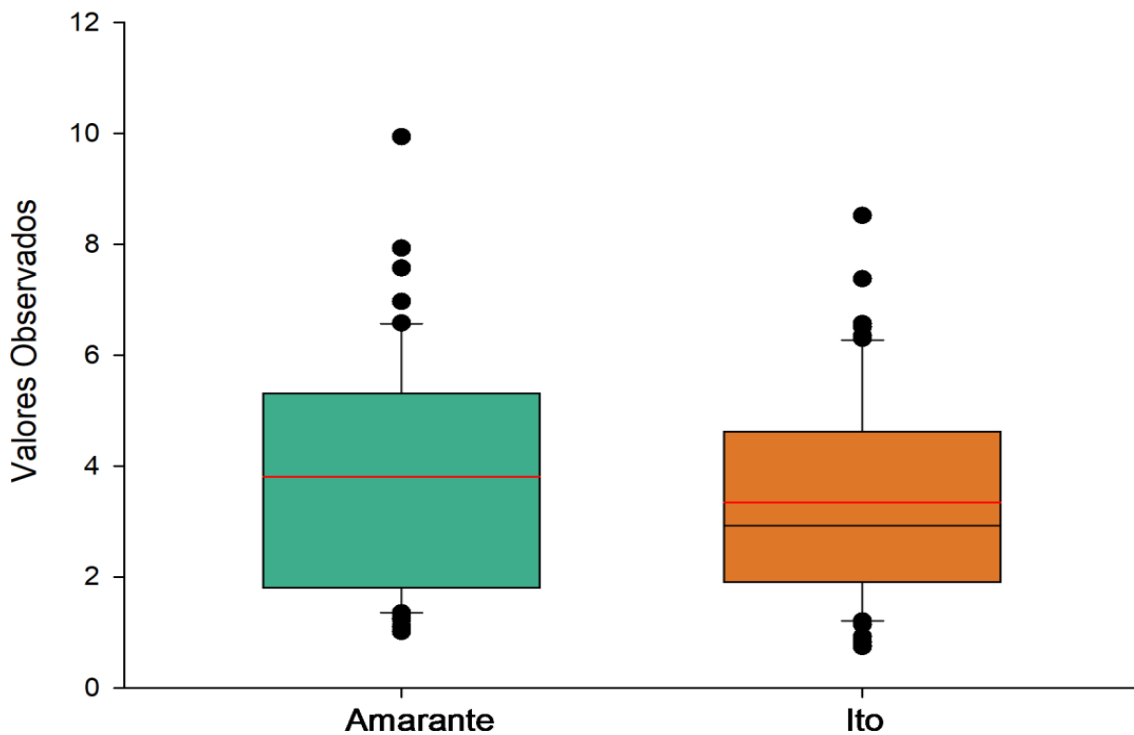


Figura 7- Box plot da variável perda de massa (PM, %), em bulbos de alho das cultivares Amarante e Ito. A mediana é representada pela linha interna da caixa; os quartis primeiro (Q1) e terceiro (Q3) definem os limites inferior e superior, respectivamente, enquanto os limites dos bigodes correspondem aos valores dentro de 1,5 vezes o intervalo interquartil (IQR). Valores fora desse intervalo são considerados outliers.

A variável índice de chochamento (%) apresentou alta dispersão dos dados em relação à média, conforme evidenciado no *box plot* da Figura 8. Observa-se que a cultivar Ito apresentou maior incidência de chochamento em comparação à cultivar Amarante, cujos valores permaneceram zerados, sendo representados apenas pela média, bigodes superiores e *outliers*, sem formação da caixa, o que reflete a ausência de variação dentro do intervalo interquartil.

Para a cultivar Ito, a mediana encontra-se deslocada em direção ao primeiro quartil (Q1), enquanto a média está posicionada acima da mediana, com bigodes apenas na parte superior e presença de *outliers* elevados, indicando uma distribuição assimétrica positiva.

Box plot - IC

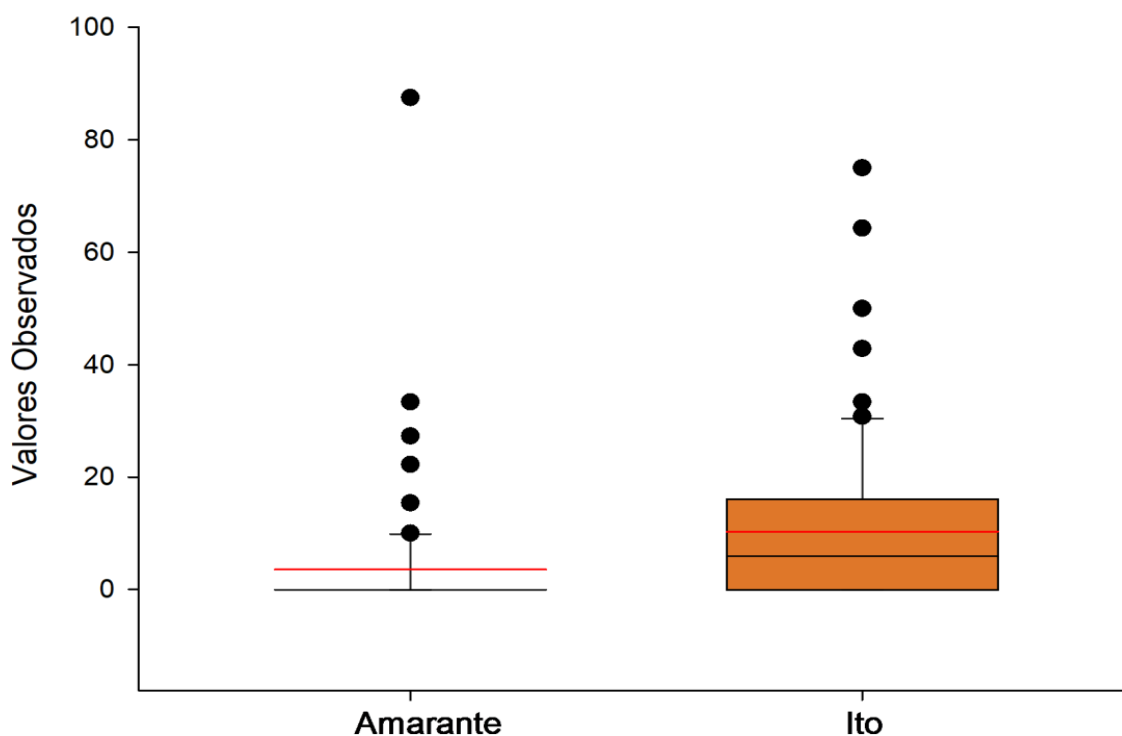


Figura 8- Box plot da variável índice de chochamento (IC, %), em bulbos de alho das cultivares Amarante e Ito. A mediana é representada pela linha interna da caixa; os quartis primeiro (Q1) e terceiro (Q3) definem os limites inferior e superior, respectivamente, enquanto os limites dos bigodes correspondem aos valores dentro de 1,5 vezes o intervalo interquartil (IQR). Valores fora desse intervalo são considerados outliers

4.3 Análise de variância

A análise de variância, realizada com transformação por Classificação de Postos Alinhados (*Aligned Rank Transform – ART*) com correção de Bonferroni, utilizada devido à violação dos pressupostos paramétricos de normalidade e/ou homogeneidade de variâncias, evidenciou efeitos significativos da cultivar (C), período de armazenamento (T) e da interação entre ambos (C x T) sobre a maioria das variáveis analisadas (Tabela 4).

Tabela 4 - Tabela resumo dos resultados da ANOVA (ART + Bonferroni). Sólidos solúveis (SS), Pungência (Pg), pH, Acidez titulável (ATT), Perda de massa (PM), Índice de chochamento (IC). Efeitos (Cultivar (C), Período de Armazenamento (T), interação dos fatores Cultivar e Tempo (CxT)).

Variável	Efeito	GL	F	Valor-p
SS (°Brix)	C	1	10,08	0,0019 **
	T	4	12,02	<0,0000 **
	CxT	4	23,64	<0,0000 **
Pg ($\mu\text{mol mL}^{-1}$)	C	1	332,05	<0,0000 **
	T	4	21,41	<0,0000 **
	CxT	4	47,42	<0,0000 **
pH	C	1	160,80	<0,0000 **
	T	4	73,90	<0,0000 **
	CxT	4	189,53	<0,0000 **
ATT (mEq mL^{-1})	C	1	6,32	0,0133 *
	T	4	7,91	<0,0000 **
	CxT	4	24,84	<0,0000 **
PM (%)	C	1	5,11	0,0255 *
	T	4	46,05	<0,0001 **
	CxT	4	3,45	0,0106 *
IC (%)	C	1	21,72	<0,0000 **
	T	4	2,26	0,0671 ns
	CxT	4	2,07	0,0886 ns

Valores de p seguidos de **($p<0,05$), *($p<0,01$), ns (não significativo).

Os teores de SS apresentaram variação significativa em função da cultivar, período de armazenamento e da interação entre os dois fatores. A PG dos bulbos também foi significativamente afetada pela interação dos fatores, com destaque para o efeito pronunciado da cultivar. Para o pH, observou-se o efeito altamente significativo da cultivar, período de armazenamento e da interação entre ambos. A ATT foi afetada tanto pela interação quanto pelos fatores isoladamente, comportamento semelhante ao observado para a variável PM, na qual se destacou a significância do fator cultivar e da interação a 5%, além do efeito marcante do tempo de armazenamento. Já o IC não foi afetado pela interação entre os fatores, nem pelo período de armazenamento, variando apenas em função das cultivares.

4.4 Agrupamento das comparações múltiplas com *Aligned Rank Transform* (ART) e correção de Bonferroni

Para aprofundar a comparação entre os tratamentos, foi realizado agrupamento de médias por meio da análise ART, com correção de Bonferroni, cujos resultados estão

apresentados a seguir. Embora as médias apresentadas nos gráficos estejam expressas nas escalas originais das variáveis, os agrupamentos por letras foram obtidos a partir da análise de dados alinhados e ranqueados (ART). Dessa forma, os grupos estatísticos refletem diferenças relativas entre os tratamentos no contexto da análise não paramétrica.

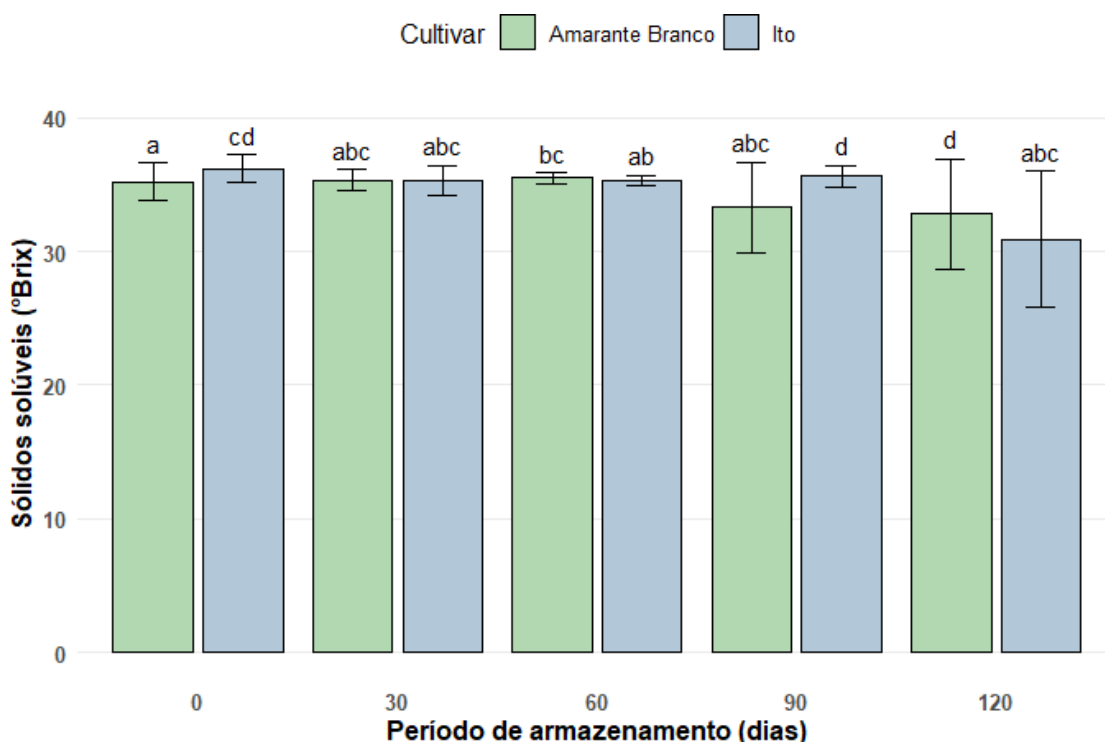


Figura 9- Valores médios de sólidos solúveis (°Brix) obtidos pelo teste ART com comparações múltiplas (correção de Bonferroni), em função das cultivares Amarante (A) e Ito (I) e dos períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias).

Como demonstrado na Figura 9, observou-se estabilidade dos teores até os 90 dias, com redução significativa apenas aos 120 dias, conforme indicado pelos agrupamentos de médias. A cultivar (A) apresentou decréscimo mais discreto, enquanto a cultivar Ito mostrou queda mais acentuada ao final do armazenamento, alcançando os menores valores médios, com pico de concentração aos 90 dias. Esses resultados indicam que o armazenamento até os 90 dias não compromete o acúmulo de açúcares solúveis nas duas cultivares. Verificou-se elevação da umidade relativa do ar (aproximadamente 75%) na segunda quinzena de janeiro, a qual possivelmente influenciou o aumento do teor de umidade dos bulbilhos, resultando em menor concentração de açúcares a partir deste período, uma vez que a desidratação está associada à sua concentração.

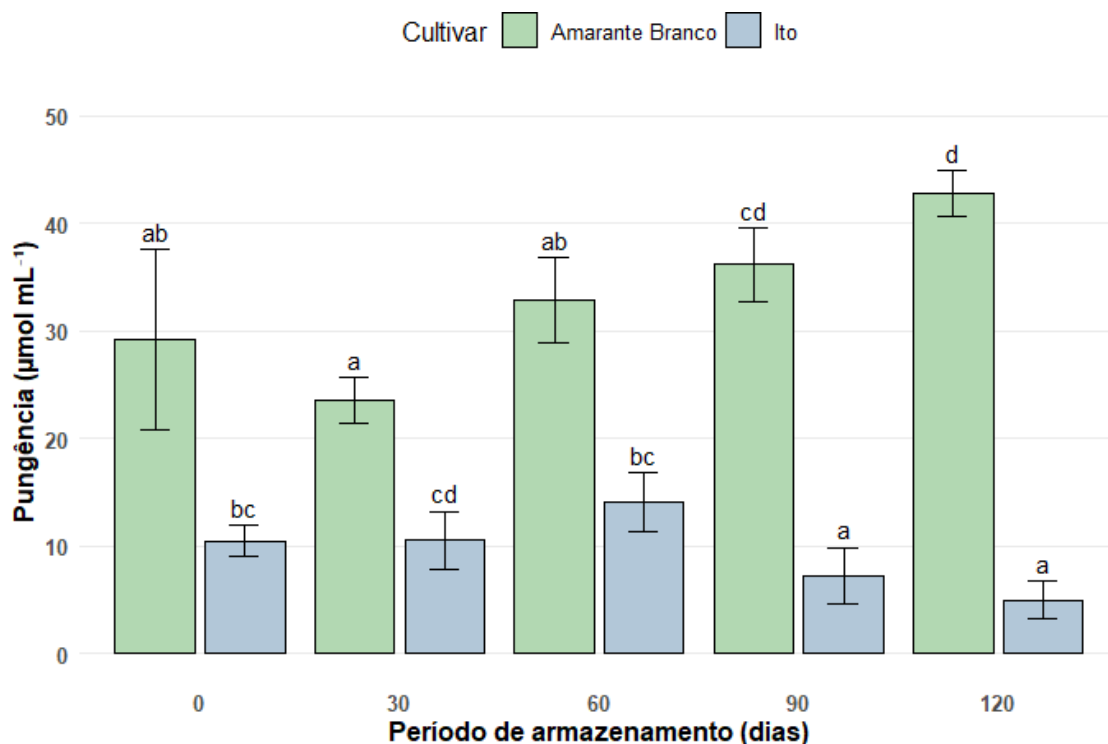


Figura 10- Valores médios de pungência (Pg, $\mu\text{mol mL}^{-1}$) obtidos pelo teste ART com comparações múltiplas (correção de Bonferroni), em função das cultivares Amarante (A) e Ito (I) e dos períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias).

A cultivar (A) apresentou maiores médias de Pg em todos os períodos de armazenamento em comparação à cultivar (I) (Figura 10). Nos primeiros 60 dias, (A) exibiu valores intermediários – pertencentes aos grupos “ab, a e ab” – com aumento progressivo a partir de 90 dias. Em contrapartida, a cultivar (I) apresentou comportamento inverso, com elevação até os 60 dias – sem diferenças estatísticas entre os grupos bc, cd e bc – e redução a partir dos 90 dias – diferindo-se estatisticamente dos períodos iniciais, com o grupo “a”. Essa tendência coincidiu com a elevação da temperatura média na segunda quinzena do mês de dezembro para 27 °C na região, conforme ilustrado na Figura 2.

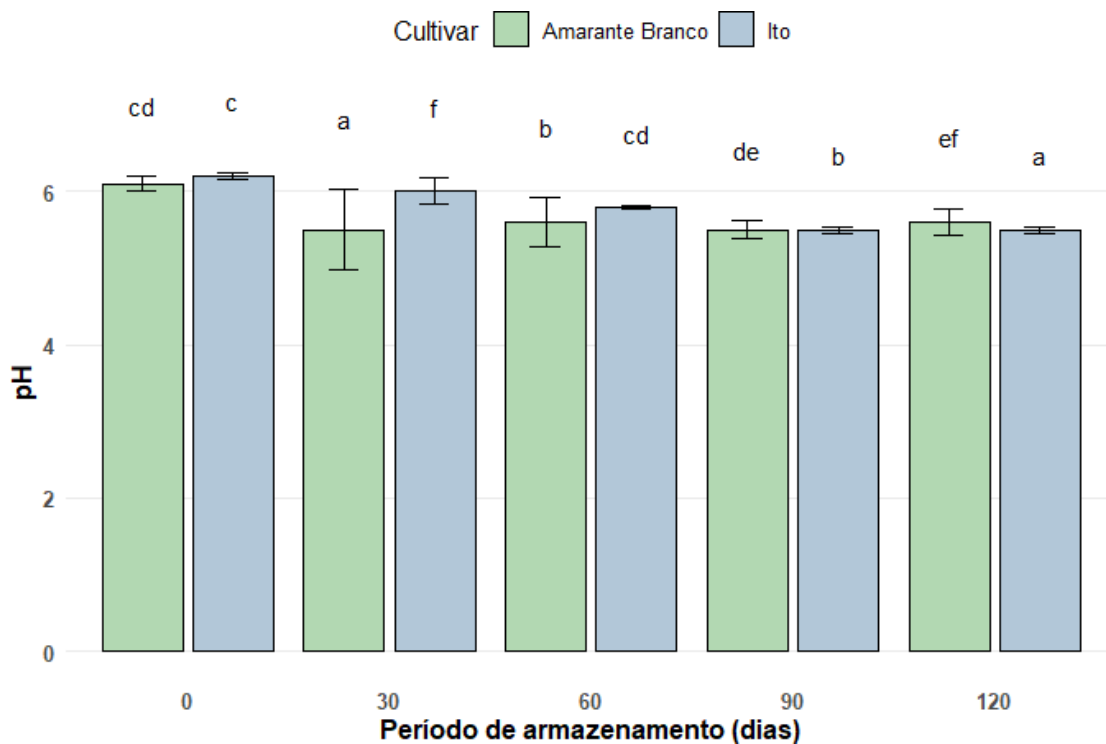


Figura 11- Valores médios de pH obtidos pelo teste ART com comparações múltiplas (correção de Bonferroni), em função das cultivares Amarante (A) e Ito (I) e dos períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias).

No período inicial – 0 dias – ambas as cultivares iniciam com pH elevados – aproximadamente 6,0 – 6,2 – sem diferenças significativas grupos “cd e c”. Aos 30 dias (A), apresenta o menor pH, grupo “a”, indicando aumento relativo da acidificação neste ponto; enquanto a cultivar (I) mantém pH elevado – valor 6,0; grupo f – sendo estatisticamente diferente de (A) neste período. Aos 60 dias, ambas as cultivares aproximam-se – valores 5,6 e 5,9, grupos “cd e b”, respectivamente – mostrando recuperação parcial da neutralidade em (A). Aos 90 dias, há queda do pH em ambas as cultivares, sinalizando novo aumento relativo da acidez neste período, condição que se mantém para a cultivar (A) aos 120 dias.

De modo geral, as cultivares tiveram padrões de comportamento distintos. As comparações múltiplas evidenciam que ambas as cultivares sofreram variações significativas de pH durante o armazenamento. A cultivar (A) demonstrou diminuição aos 30 dias, seguida de aumento progressivo até os 120 dias; enquanto a cultivar (I) demonstrou um decréscimo dos valores de pH gradual ao longo do armazenamento.

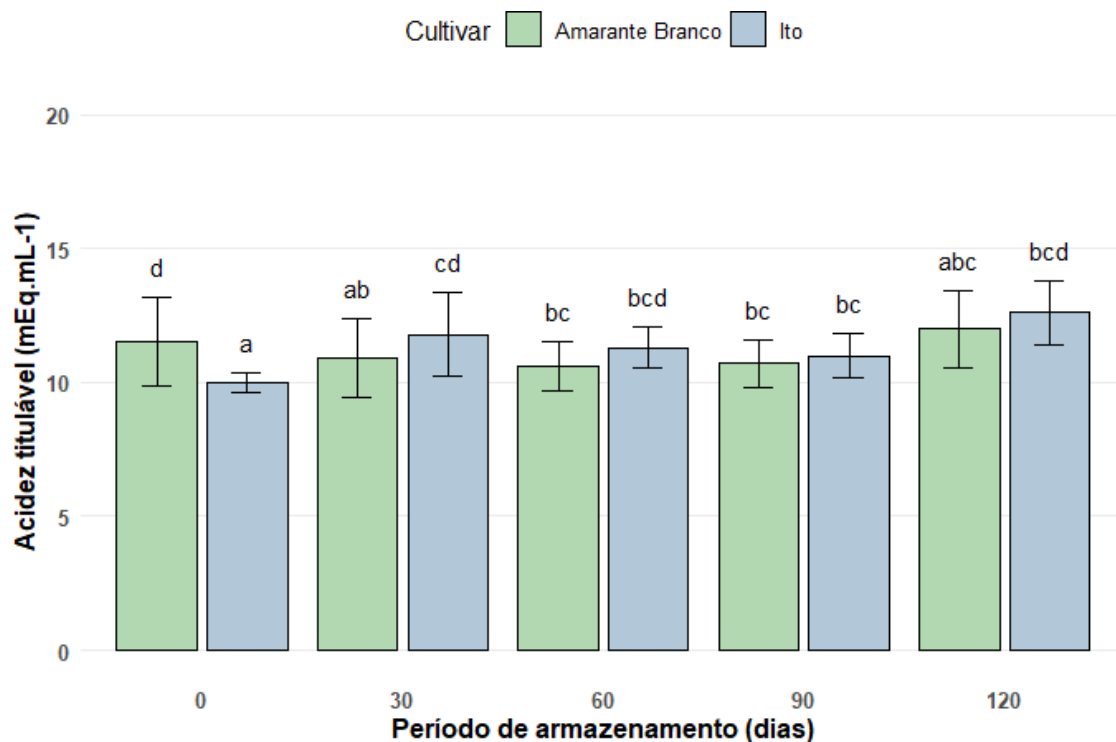


Figura 12- Valores médios de acidez titulável (ATT, mEq.mL-1) obtidos pelo teste ART com comparações múltiplas (correção de Bonferroni), em função das cultivares Amarante (A) e Ito (I) e dos períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias).

O comportamento das cultivares diferiu-se entre si e ao longo do período de armazenamento. A cultivar (A) apresentou maiores valores de acidez titulável no tempo inicial (0 dias – grupo “d”), mantendo estabilidade a partir dos 30 dias, conforme indicado pela sobreposição das letras do grupo “b”. A cultivar (I) mostrou comportamento semelhante, porém iniciou com valores de acidez inferiores (grupo “a”) e apresentou aumento gradual ao longo do experimento, com sobreposição das letras do grupo “c”. A diferença estatística entre as cultivares foi observada nos períodos de 0 e 30 dias, nos quais ambas apresentaram agrupamentos distintos.

Os resultados evidenciam a relação inversa entre pH e ATT ao longo do armazenamento. Na cultivar (A), o pH diminuiu aos 30 dias, indicando aumento da acidez neste ponto, seguido de recuperação posterior, comportamento que acompanha a estabilização da ATT após os 30 dias. Já na cultivar (I), observou-se redução gradual do pH, durante o armazenamento, correspondendo ao aumento progressivo da ATT ao longo do tempo.

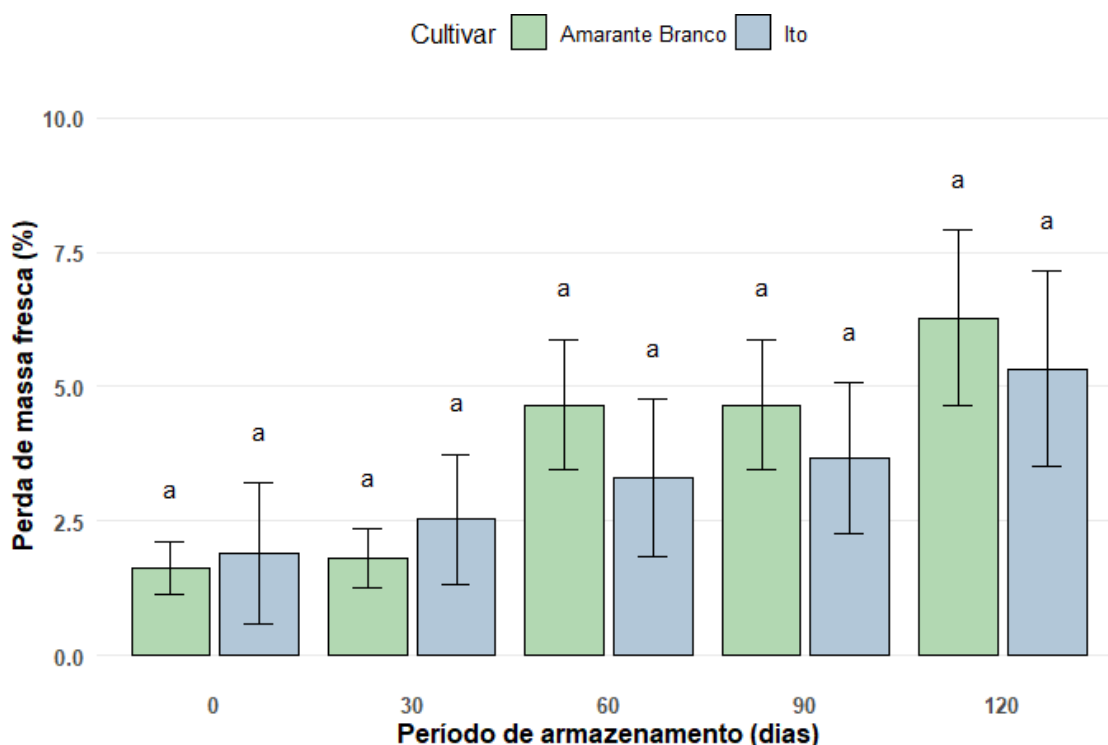


Figura 13- Valores médios de perda de massa fresca (PM, %) obtidos pelo teste ART com comparações múltiplas (correção de Bonferroni), em função das cultivares Amarante (A) e Ito (I) e dos períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias).

A PM foi significativamente influenciada pela cultivar, pelo tempo de armazenamento e pela interação entre esses fatores ($p < 0,05$). No entanto, a análise de agrupamento das médias indicou ausência de diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, uma vez que todas as médias estimadas foram agrupadas no mesmo grupo (a). Isso sugere que, embora a análise de variância tenha detectado efeito significativo, as diferenças específicas entre as combinações de cultivar e tempo não foram suficientemente expressivas para serem separadas pelo critério de Bonferroni. Assim, apesar das variações nas médias estimadas ao longo do armazenamento, essas diferenças não se configuraram como estatisticamente detectáveis após a transformação e o ajuste dos dados. Por outro lado, conforme ilustrado na Figura 13, observa-se uma tendência de aumento progressivo na porcentagem de perda de massa fresca (%) dos bulbos ao longo do armazenamento, para ambas as cultivares.

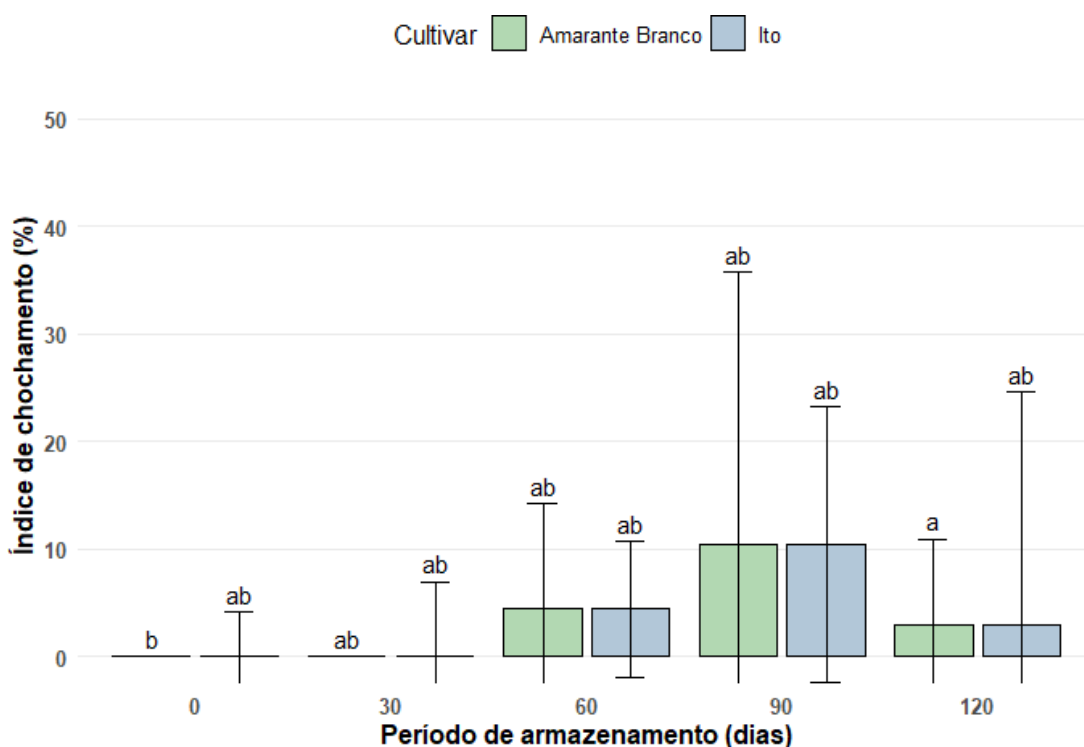


Figura 14- Valores médios de perda de massa fresca (PM, %) obtidos pelo teste ART com comparações múltiplas (correção de Bonferroni), em função das cultivares Amarante (A) e Ito (I) e dos períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias).

O IC foi significativamente influenciado apenas pela cultivar – (A), grupo “b” no tempo 0 e grupo “a” aos 120 dias – com p -valor $<0,00$, não sendo observada significância estatística para os fatores tempo de armazenamento ($p=0,067$) nem para a interação cultivar \times tempo ($p=0,088$). A cultivar Amarante manteve-se com valores zerados de chochamento até os 30 dias de armazenamento, atingindo o limite máximo permitido pelas portarias ministeriais (4%) apenas aos 60 dias, e ultrapassando este limite apenas aos 90 dias. Já a cultivar Ito apresentou chochamento igual ao limite desde o tempo 0 e ultrapassou os valores permitidos já aos 30 dias, com aumento progressivo ao longo do experimento, superando 20% de bulbilhos chochos aos 120 dias, o que compromete seriamente sua aptidão para comercialização, conforme estabelecido pela Portaria MAPA nº 435, de 18 de maio de 2022.

Apesar do comportamento distinto das cultivares ao longo do tempo, a análise de comparação múltipla não indicou diferenças estatísticas significativas entre a maioria dos tratamentos. O agrupamento de médias revelou que os tratamentos A0 e A120 foram os únicos a compor grupos estatisticamente distintos (*b*), enquanto os demais tempos, para ambas as cultivares, foram classificados no grupo *ab*.

Destaca-se, no entanto, que, aos 90 dias, a cultivar Amarante apresentou um pico de chochamento (10%), ultrapassando temporariamente o limite permitido. Esse aumento

pontual coincidiu com condições ambientais adversas, caracterizadas por oscilações na umidade relativa (cerca de 50% a 70%) e temperaturas elevadas (acima de 27 °C), o que pode ter contribuído para a aceleração do processo de chochamento, comportamento ilustrado na Figura 2 e 6. Ainda assim, ao final do experimento (A120), os valores de chochamento para Amarante retornaram a níveis abaixo do limite legal, indicando uma possível recuperação da qualidade comercial em condições de armazenamento mais favoráveis.

4.5 Análise de componentes principais (ACP)

A ACP explicou 63,94% da variância acumulada nos dois primeiros componentes (PC1 = 35,09%, PC2 = 28,85%), conforme demonstrado na Figura 10.

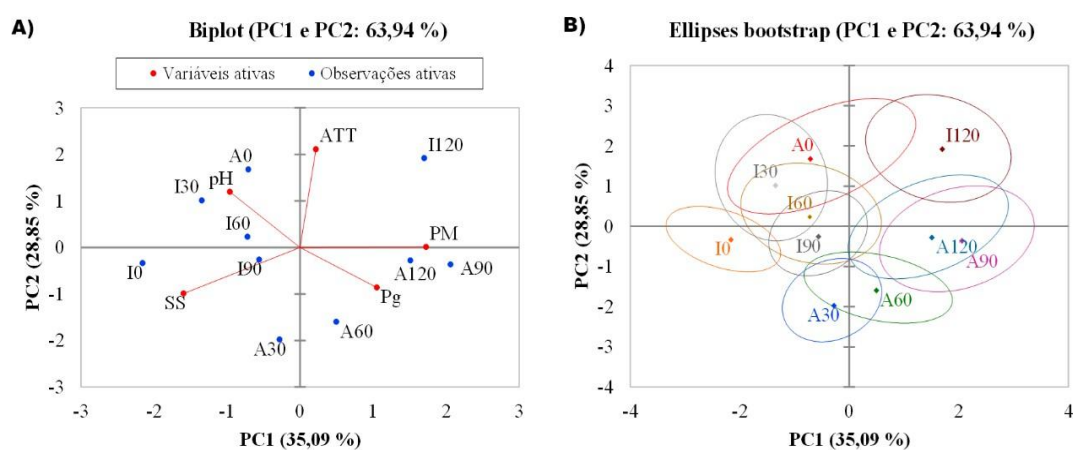


Figura 15- A) Biplot das Análises de Componentes Principais com dados padronizados para as cultivares Amarante (A) e Ito (I) em 5 períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90, 120 dias). B) Bootstrap das elipses de confiança (95%) para os componentes 1 e 2 para as cultivares Amarante (A) e Ito (I) em 5 períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90, 120 dias).

Conforme demonstrado no *biplot* (Figura 15 – A) e na Tabela 5, o componente PC1 foi fortemente associada, de forma negativa, às variáveis SS e pH e positivamente a PM e Pg, com menor contribuição da variável ATT. Este resultado indica que amostras com maiores perdas de massa e que tem pungência tendem a apresentar menores valores de SS e pH, evidenciando uma relação inversa, na qual a perda de massa está associada à intensificação do sabor, enquanto o dulçor e a percepção do frescor diminuem. A PC2, por sua vez, esteve positivamente relacionada à ATT e pH, e negativamente a SS e Pg, refletindo um padrão secundário de contraste entre a acidez (ATT e pH) e atributos de sabor/aroma (SS e Pg).

Entretanto, na Figura 10 – B, é possível observar sobreposição das elipses de confiança (95%) de forma considerável. Isso sugere baixa capacidade de diferenciação entre os tratamentos, ou seja, eles compartilham características nos atributos avaliados, conforme análise de *bootstrap*. Amostras como A120, A90 e I120 aparecem mais distanciadas do centro, indicando maior diferenciação em relação aos demais tratamentos. Já os pontos I0, A0, I90 e I60 apresentam maior similaridade entre si.

Tabela 5- Correlação entre as variáveis nos dois primeiros componentes principais.

Variável	PC1	PC2
SS	-0,766	-0,432
ATT	0,104	0,918
pH	-0,461	0,520
Pg	0,506	-0,376
PM	0,829	0,004

Valores mais próximos de -1 ou 1 indicam maior contribuição da variável para o respectivo componente.

4.6 Análises Colorimétricas

De acordo com o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, os dados das avaliações de determinação de cor não demonstraram distribuição normal, exceto para a variável b^* de película (p -valor = 0,123) e L^* de polpa (p -valor = 0,102). Quanto à homogeneidade das variâncias, verificada pelo teste de Levene, observou-se que houve homogeneidade apenas para o fator cultivar, nas variáveis de L^* , croma e hue de película (p -valor = 0,102; 0,129; 0,330, respectivamente) e para L^* de polpa (p -valor = 0,307). Não foi detectada homogeneidade das variâncias para o fator tempo em nenhuma das variáveis analisadas, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6- Tabela resumo dos testes de Shapiro-Wilk e Levene para as análises colorimétricas de película e polpa de alho.

Variável	Shapiro-Wilk		Levene	
	W	p-valor	Cultivar (p-valor)	Tempo (p-valor)
Película				
L*	0,904	<0,0001	0,096	<0,0001
a*	0,896	<0,0001	<0,0001	<0,0001
b*	0,983	0,123	0,040	<0,0001
Croma	0,960	0,001	0,129	<0,0001
Hue	0,908	<0,0001	0,330	<0,0001
Polpa				
L*	0,982	0,102	0,307	<0,0001
a*	0,644	<0,0001	0,037	<0,0001
b*	0,920	<0,0001	0,010	<0,0001
Croma	0,917	<0,0001	0,011	<0,0001
Hue	0,609	<0,0001	0,021	<0,0001

*Estatística do teste de Shapiro-Wilk (W; valores próximos a 1 indicam aderência à normalidade).

A verificação da normalidade dos dados foi realizada por meio de análise de histogramas, os quais evidenciaram distribuição não normal para a maioria das variáveis avaliadas, além da presença de valores discrepantes, conforme ilustrado na Figura 11. Nos histogramas C e F, observa-se maior concentração de dados próximos à média, entretanto, destaca-se a ocorrência de *outliers* à direita para a variável L de polpa. De modo semelhante, as variáveis Croma e Hue também apresentaram distribuição não normal, fato corroborado pelos histogramas (Figura 16) e pelas estatísticas previamente apresentadas. Considerando esse comportamento para a maior parte das variáveis, optou-se pela aplicação do teste paramétrico de Mann-Whitney, o que se mostra adequado para a comparação de medianas entre dois grupos independentes, quando não é possível assumir a normalidade dos dados.

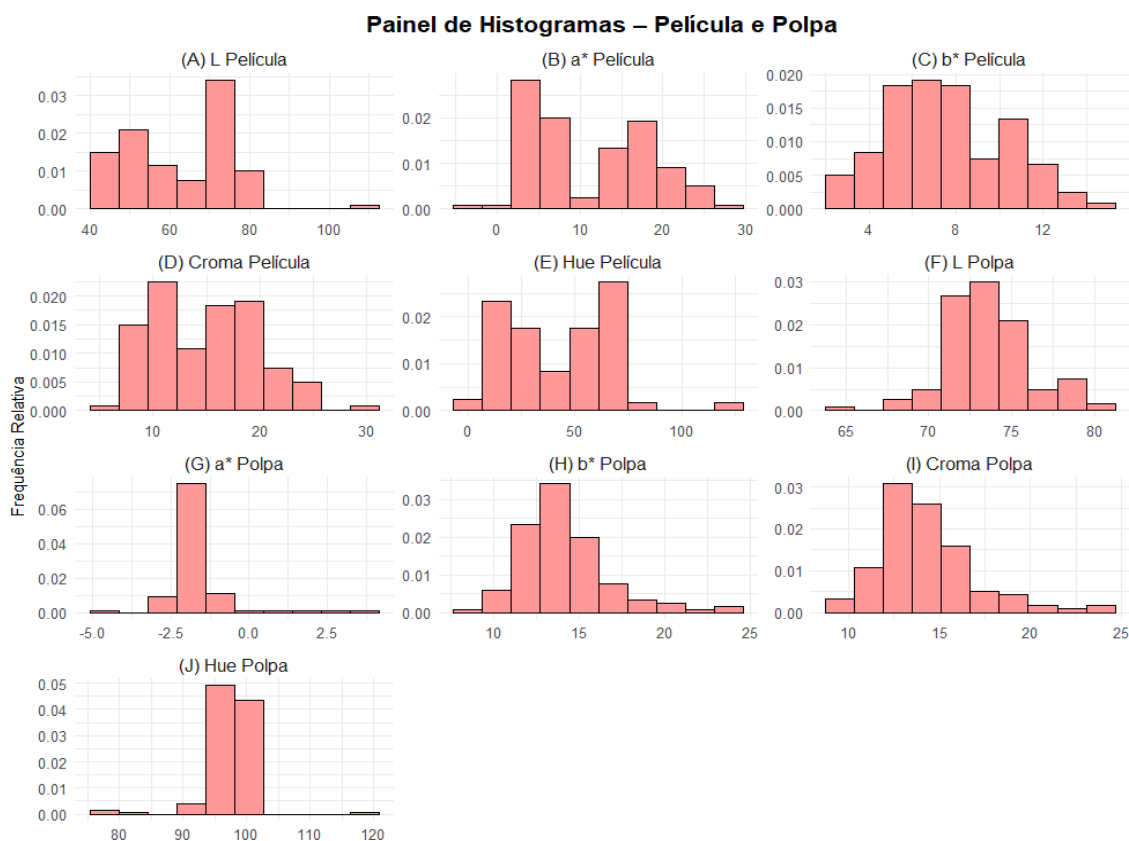


Figura 16- Painel de histogramas ilustrando a distribuição das coordenadas colorimétricas CIELAB das cultivares de alho (*Allium sativum* L.) Ito e Amaranite Branco ao longo dos diferentes períodos de armazenamento. Apresenta-se os histogramas das variáveis $L^*a^*b^*$, hue e Cromo para película (A;B;C;D e E) e polpa (F;G;H;I e J).

É possível observar assimetria à esquerda para histogramas A, B, D, E, G, H, I; e assimetria à direita para J. Para o histograma G e J, é possível observar picos isolados, representando um conjunto de dados com alta frequência. Os resultados sugerem que a polpa tende a manter características de cor mais constantes ao longo do tempo, em comparação à película.

4.6.1 Película

Os resultados das medianas, acompanhadas do agrupamento de letras indicativo de diferenças estatísticas pelo teste de Mann-Whitney ($p < 0,05$), estão apresentados na Tabela 7 para o fator película de bulbilhos de alho ao longo do período de armazenamento (0, 30, 60, 90, e 120 dias).

Tabela 7- Medianas das variáveis L, a, b, Hue e Croma, com agrupamento das letras indicativo de diferenças estatísticas pelo teste de Mann-Whitney ($p < 0,05$), para dados de película das cultivares Amarante (A) e Ito (I) durante o período de armazenamento (0, 30, 60, 90, 120 dias).

Grupo	Película				
	L	a	b	Hue	Croma
A0	77,46 ± 10,0 a	4,83 ± 2,78 a	9,80 ± 2,07 bc	63,38 ± 19,09 ab	10,87 ± 2,37 ab
A30	75,03 ± 3,48 a	4,53 ± 0,87 a	11,36 ± 2,59 abc	65,58 ± 5,32 a	12,16 ± 2,45 ab
A60	71,43 ± 2,96 a	5,87 ± 1,13 a	7,06 ± 1,09 ade	50,97 ± 7,42 bc	9,02 ± 0,93 a
A90	72,12 ± 3,31 a	4,31 ± 1,02 a	10,56 ± 1,33 b	67,40 ± 5,85 a	11,73 ± 1,27 b
A120	73,48 ± 3,77 a	4,94 ± 1,6 a	8,26 ± 1,95 abcd	62,10 ± 10,57 ab	10,00 ± 1,58 ab
I0	58,12 ± 4,07 b	18,6 ± 4,46 b	4,58 ± 2,19 e	14,22 ± 33,6 cd	18,97 ± 3,58 c
I30	55,89 ± 4,33 c	15,47 ± 2,1 b	7,26 ± 1,5 ade	24,93 ± 16,85 cd	17,41 ± 1,39 c
I60	50,55 ± 4,19 bc	18,4 ± 3,52 b	5,57 ± 1,17 e	18,15 ± 6,58 d	19,58 ± 2,93 c
I90	52,60 ± 6,05 bc	17,4 ± 2,98 b	6,36 ± 1,96 de	21,45 ± 9,31 d	19,29 ± 2,10 c
I120	50,24 ± 8,36 bc	17,4 ± 4,69 b	5,35 ± 2,61 acde	17,70 ± 13,78 d	19,32 ± 2,89 c

Medianas seguidas de mesma letra na coluna não se diferem significativamente entre si pelo teste de comparações múltiplas ($p < 0,05$).

4.6.1.1 Luminosidade (L)

Para a variável L* (luminosidade), a cultivar Amarante (A) apresentou valores significativamente mais altos em todos os períodos, variando de 71,43 a 77,46, sem apresentar diferenças estatísticas entre si (grupo ‘a’). Por outro lado, a cultivar Ito (I) obteve valores significativamente inferiores (de 58,12 a 55,89), agrupados pelas letras ‘b’ e ‘c’, nos períodos iniciais, indicando um possível escurecimento da cor e apresentando estabilidade a partir do período de 60 dias (grupo ‘bc’), embora não haja diferenças significativas dos períodos finais para com os iniciais, conforme agrupamento por letras. A cultivar A manteve película mais clara ao longo do armazenamento, enquanto a Ito apresentou película mais escura com alterações de luminosidade ao longo do armazenamento.

4.6.1.2 Coordenada a*

A coordenada a* obteve valores positivos, baixos e estáveis, não se diferenciando significativamente entre si ao longo do período de armazenamento para a cultivar Amarante, agrupados pela letra ‘a’. E valores intermediários, positivos e estáveis para a cultivar (I), agrupados pela letra ‘b’. O teste de comparações múltiplas identificou significância apenas entre cultivares. Portanto, a película da cultivar Ito permaneceu mais avermelhada, enquanto a da cultivar Amarante manteve coloração menos intensa (ver

Figura 12).

4.6.1.3 Coordenada b*

Para a coordenada b*, observou-se interação significativa entre cultivares e período de armazenamento, com expressiva variação dos tratamentos. A cultivar Amarante apresentou valores significativamente superior e positivos (7,06 a 11,36), agrupados predominantemente no grupo 'b', exceto para o período de 60 dias, quando foi classificada no grupo 'd', sem diferença significativa em relação à cultivar Ito. Além disso, houve sobreposição de grupos em diferentes períodos. Por sua vez, a cultivar Ito obteve valores significativamente inferiores e positivos (4,58 a 7,26), com médias distribuídas principalmente nos grupos 'd' e 'e'. A cultivar Amarante manteve uma tonalidade de amarelo mais intensa (maior b) em comparação à cultivar Ito (Figura 12).

4.6.1.4 Cromo (saturação)

A cultivar Amarante apresentou valores de croma entre 9,02 e 12,16, com variações discretas e algumas diferenças estatísticas ao longo do armazenamento, com agrupamentos 'a', 'b' e 'ab', o que sugere que a intensidade da cor da película sofreu poucas alterações. A cultivar Ito mostrou croma consistente e mais elevado, variando de 17,41 a 19,58, com ausência de diferenças estatísticas significativas, entre os períodos (grupo 'c'), o que indica maior intensidade da cor da película para esta cultivar, que permaneceu estável ao longo do armazenamento, sem escurecimentos significativos. Ou seja, Ito apresentou maior saturação de cor que a Amarante em todos os períodos avaliados, como pode ser observado na Figura 17.

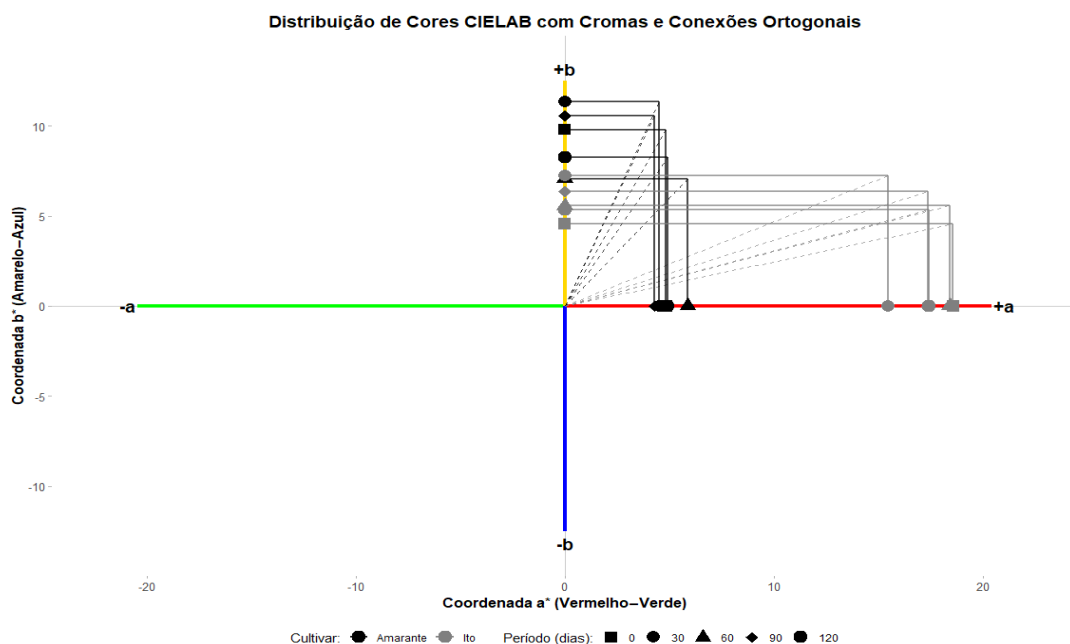


Figura 17- Coordenadas $L^*a^*b^*$ e cromas de película para as cultivares Ito e Amarante, no intervalo (0,30,60,90, e 120 DAT).

4.6.1.5 Ângulo hue (tonalidade)

Para cultivar Amarante, os valores de hue variaram de 50,97 a 67,40. O tratamento A0 não se diferiu estatisticamente dos períodos A30, A90 e A120, compartilhando o mesmo agrupamento estatístico ‘a’. Entretanto, observou-se diferença significativa para o tratamento A60, que, embora distinto dos demais períodos, não se diferiu estatisticamente do A120 (compartilhando o grupo ‘b’). Já para a cultivar Ito, registrou-se valores de Hue significativamente inferiores, com variação entre 14,22 a 24,93 em todos os tratamentos. Os tratamentos I0 e I30 agruparam-se no grupo ‘cd’, juntamente com o tratamento A60. A partir do período de 60 dias (I60), os tratamentos da cultivar Ito (I60, I90 e I120) mantiveram-se no grupo ‘d’ até o final do armazenamento.

A cultivar Amarante se manteve com tonalidade significativamente mais alta, com tendência predominante para o eixo b^* (valores positivos), caracterizando coloração amarelada ao longo do armazenamento. Por sua vez, a cultivar Ito apresentou valores consistentemente inferiores, com tendência para o eixo a^* (valores positivos), indicando predominância de coloração vermelho intenso em todos os períodos, como pode ser observado na Figura 18.

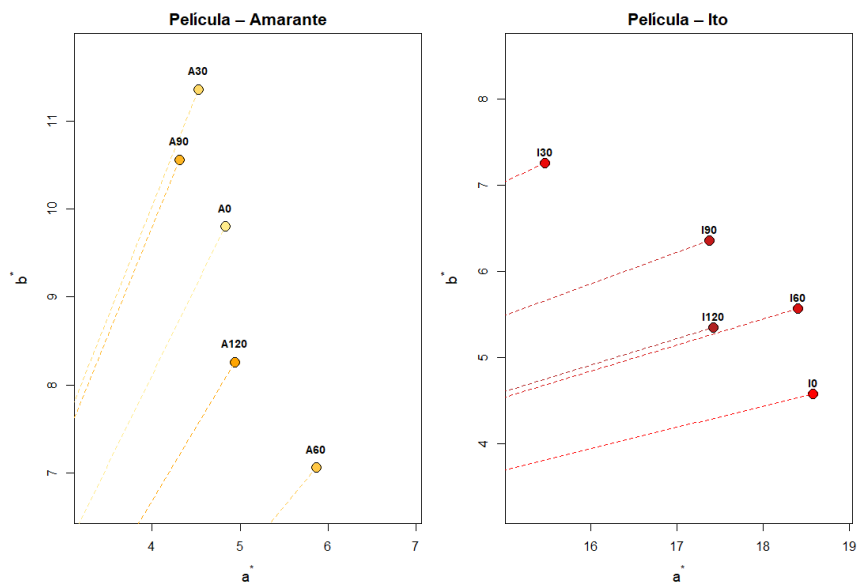


Figura 18- Coordenadas CIELAB (medianas) convertidas para RGB de película das cultivares: Amarante (A) e Ito (I), no intervalo de tempo (0,30,60,90, e 120 DAT).

4.6.2 Polpa

Os resultados das medianas, acompanhadas do agrupamento de letras indicativo de diferenças estatísticas pelo teste de Mann-Whitney ($p < 0,05$), estão apresentados na Tabela 8 para o fator polpa de bulbilhos de alho ao longo do período de armazenamento (0, 30, 60, 90, e 120 dias).

Tabela 8- Medianas das variáveis L, a, b, Hue e Croma, com agrupamento de letras indicativo de diferenças estatísticas pelo teste de Mann-Whitney ($p \leq 0,05$), para dados de película das cultivares Amarante e Ito durante o período de armazenamento (0, 30, 60, 90, 120 dias).

Grupo	Polpa				
	L	a	b	Hue	Croma
A0	73,1 ± 3,4 ab	-1,8 ± 2,2 abc	12,8 ± 3,6 abc	98,2 ± 9 abcd	12,9 ± 3,6 abc
A30	75,1 ± 3,4 ab	-1,2 ± 0,8a	19,05 ± 3,4 a	94,3 ± 2,62 a	19,2 ± 3,40 a
A60	72,9 ± 2,99 ab	-1,9 ± 0,3 abc	12,7 ± 1,36 bc	98,7 ± 0,80 b	12,8 ± 1,38 bc
A90	74,2 ± 0,91 a	-1,71 ± 0,2 ab	11,9 ± 1,36 b	98,3 ± 5,6 bcd	12,0 ± 1,39 b
A120	74,4 ± 1,57 ab	-1,8 ± 0,3 abc	15,2 ± 1,81 ac	97,2 ± 0,97 ac	15,3 ± 1,82 ac
I0	73,2 ± 2,14 ab	-2,22 ± 0,23 c	14,2 ± 0,85 c	98,85 ± 0,89 b	14,4 ± 0,85 c
I30	73,7 ± 1,92 ab	-1,6 ± 0,5 abc	13,1 ± 2,15 bc	97,4 ± 1,4abcd	13,2 ± 2,17 bc
I60	73,5 ± 2,04 ab	-2,1 ± 0,15 bc	14,4 ± 0,66 c	98,2 ± 0,50 bd	14,6 ± 0,67 c
I90	72,1 ± 2,07 b	-2,2 ± 0,4 abc	13,3 ± 1,30 bc	99 ± 1,41 bcd	13,5 ± 1,32 bc
I120	72,9 ± 2,17 ab	-1,7 ± 0,4 abc	13,71 ± 1,9 bc	97,0 ± 0,8 cd	13,8 ± 1,94 bc

Medianas seguidas de mesma letra na coluna não se diferem significativamente entre si pelo teste de comparações múltiplas ($p < 0,05$).

4.6.2.1 Luminosidade (L)

Os parâmetros de cor da polpa de bulbilhos de alho das cultivares Amarante e Ito permaneceram, em sua maioria, estáveis ao longo dos 120 dias de armazenamento. Para luminosidade (L^*), ambas oscilaram entre 72,0 e 75,1, com Amarante apresentando leve pico de clareamento aos 90 dias (74,15, grupo “a”) e Ito mostrando discreto escurecimento no mesmo período (72,04, grupo “b”), mas sem diferenças significativas entre início e fim. De modo geral, as duas cultivares mantiveram estabilidade em L, durante o período de armazenamento, agrupamento ‘ab’ no início do experimento (A0 e I0) e o mesmo agrupamento ao final (A120 e I120).

4.6.2.2. Coordenada a^*

Valores negativos para a coordenada a^* indicam tonalidade esverdeada. Os valores variaram de -1,21 a 2,22. O tratamento A30 apresentou o valor mais baixo (-1,21, grupo ‘a’), diferindo-se estatisticamente dos tratamentos I0 (grupo ‘c’), I60 (grupo ‘bc’), estabelecendo, assim, uma interação significativa entre as cultivares ao longo do tempo. O tratamento I0 (-2,22) apresentou o valor mais negativo, que indica tonalidade mais esverdeada do que os demais tratamentos, entretanto, sem diferença significativa dos demais tratamentos com predominância do agrupamento ‘c’, exceto para os tratamentos A30 e A90. Em resumo, a estatística indica que houve pequenas oscilações ao longo do armazenamento, mas sem tendência de mudança de cor expressiva.

4.6.2.3 Coordenada b^*

Houve interação significativa entre cultivares ao longo do armazenamento, no qual os valores variaram entre 11,86 e 19,05 positivos, indicando coloração mais amarelada para o fator polpa nas duas cultivares avaliadas. A cultivar Amarante (A30) apresentou valor mais alto (19,05, grupo ‘a’), indicando maior intensidade de amarelo, do que os demais tratamentos. No entanto, não se diferiu estatisticamente dos tratamentos A0 (grupo ‘abc’) e A120 (grupo ‘ac’). A cultivar Ito não apresentou diferenças estatísticas entre si, com predominância do agrupamento ‘c’ para todos os tratamentos, dentro do fator cultivar. E não se diferiu estatisticamente dos tratamentos A0, A60 e A120 com o mesmo agrupamento. De modo geral, a cultivar Amarante teve maior variação de b^* ao longo do armazenamento, enquanto Ito manteve os valores mais estáveis.

4.6.2.4 Cromas (saturação)

Os valores de croma variaram entre 12,01 e 19,14, com interação significativa entre cultivares ao longo do tempo. O tratamento A30 apresentou o maior valor de croma (19,14, grupo 'a'), indicando cor mais saturada neste período. Entretanto, não se diferiu estatisticamente do tratamento A0 ('abc') e A120 ('ac'), com agrupamento 'a' predominante. O tratamento A90 (grupo 'b') apresentou o valor mais baixo de croma e não se diferiu estatisticamente dos grupos A60 ('bc'), I30 ('bc'), I90 ('bc') e I120 ('bc'), que apresentam sobreposição de grupos, entretanto, tem predominância do grupo 'b'. É possível observar as posições das coordenadas CIELab e o croma da polpa na Figura 19.

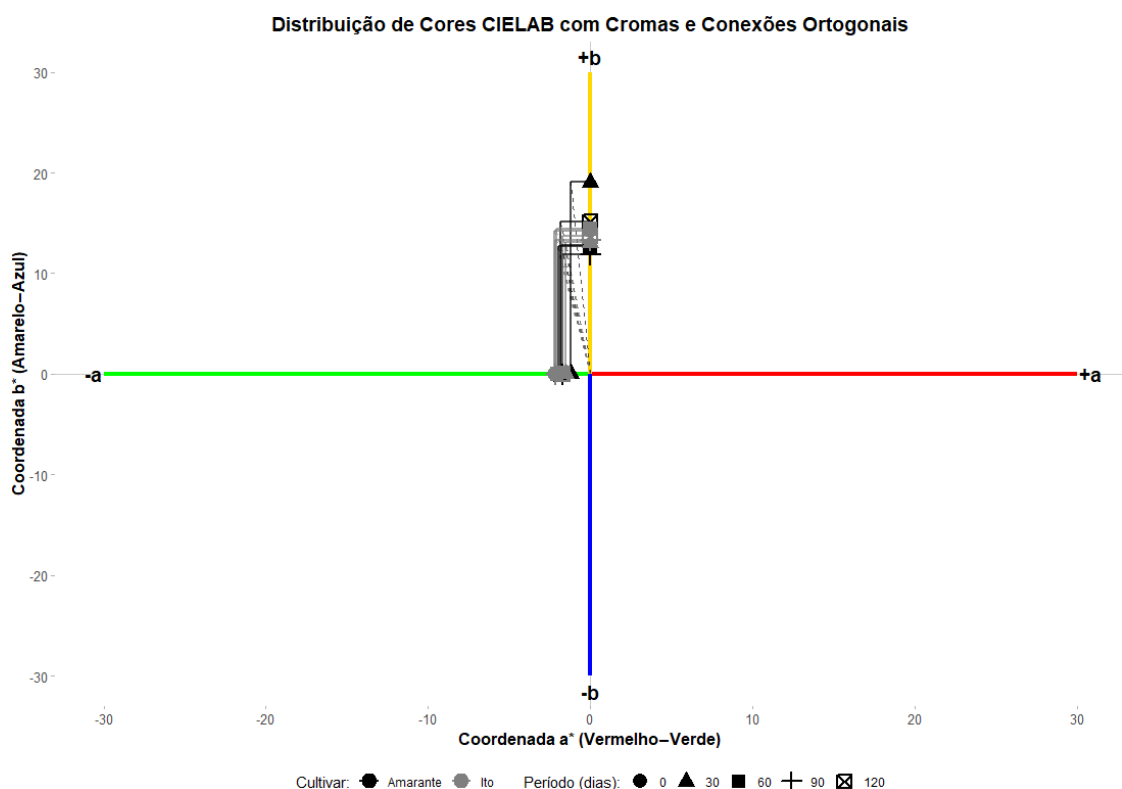


Figura 19- Coordenadas L*a*b* e croma de polpa para as cultivares Ito e Amarante, no intervalo (0,30,60,90,120).

4.6.2.5 Ângulo Hue (tonalidade)

Os valores de Hue permaneceram elevados entre 94,26 e 98,97, indicando tons amarelo/esverdeados para as polpas das cultivares. A cultivar Amarante apresentou valores ligeiramente inferiores (94,26 a 98,73) em comparação com Ito (97,20 a 98,97), com exceção do tratamento A30 (94,26), que foi significativamente inferior, indicando um tom mais próximo do amarelo mais escuro. Para a cultivar Ito, os valores foram mais estáveis, sem diferenças expressivas ao longo do tempo, com predominância do grupo 'b' para os tratamentos I0 ('b'), I30 ('abcd'), I60 ('bd'), I90 ('bcd'). O tratamento I120 obteve

o menor valor de Hue para a cultivar Ito (97,20, grupo ‘cd’), diferindo-se estatisticamente do tratamento I0, que indica um escurecimento de tom nesse período. Em contrapartida, não teve diferença significativa para os tratamentos A0 (‘abcd’), A90 (‘bcd’) e A120 (‘ac’). As cores das polpas das cultivares Ito e Amarante, durante o armazenamento, permaneceram em tons amarelados/pálidos, sem apresentar grandes variações ao longo do experimento, cujas cores reais das polpas em RGB podem ser observadas na Figura 20.

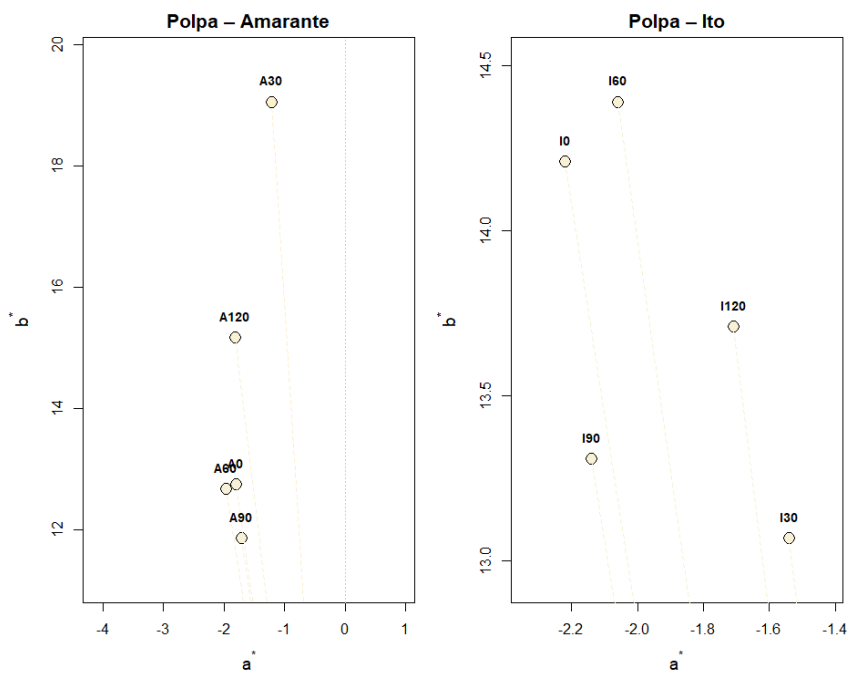


Figura 20- Coordenadas CIELAB (medianas) convertidas para RGB de polpa das cultivares: Amarante (A) e Ito (I), no intervalo de tempo (0,30,60,90,120 DAT).

5 DISCUSSÃO

Embora os dados não tenham seguido os pressupostos da normalidade e homogeneidade das variâncias, inviabilizando o uso da ANOVA clássica, conforme evidenciado pelos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade das variâncias (Levene), apresentados nas Tabelas 4 e 13, eles foram adequadamente tratados por meio de métodos estatísticos robustos, o que assegura a confiabilidade dos resultados. Durner (2019) destaca a recorrência dessas limitações em estudos agrônômicos, reforçando a importância da escolha criteriosa de métodos estatísticos adequados para a avaliação de estudos integrativos, como fatoriais, por exemplo. A presença de assimetrias marcantes e a elevada variabilidade entre os grupos justificam o uso de medidas de tendência central mais robustas e o uso de testes não paramétricos, garantindo maior precisão

interpretativa, conforme discutido por Woodbrock et al. (2011).

Essas características são frequentemente observadas em variáveis associadas às respostas fisiológicas de tecidos vegetais, altamente influenciadas por fatores genéticos, ambientais e práticas de manejo pós-colheita, como demonstrado por Palharini et al. (2016). Assim, a adoção de análises não paramétricas mostra-se mais apropriada, uma vez que tais métodos não exigem o cumprimento rigoroso dos pressupostos da estatística paramétrica. Zar (1999) recomenda o uso de testes alternativos para dados com distribuições assimétricas ou baseados em proporções, como, por exemplo, a incidência de distúrbios fisiológicos e alterações qualitativas em frutos e hortaliças.

A análise de variância não paramétrica, realizada por meio do método *Aligned Rank Transformation* (ART), revelou interações estatisticamente significativas entre os fatores cultivar e tempo de armazenamento para a maioria das variáveis físico-químicas avaliadas, evidenciando a complexidade das respostas fisiológicas dos bulbos de alho ao longo do armazenamento.

Os valores de índice de chochamento observados neste estudo, de forma geral, mantiveram-se dentro dos padrões aceitáveis para a conservação pós-colheita, especialmente para a cultivar Amarante, que ultrapassou o limite legal apenas pontualmente, aos 60 dias. Em contraste, a cultivar Ito apresentou chochamento acima dos limites desde o início do armazenamento, com acúmulo progressivo até o final do experimento, alcançando mais de 20% aos 120 dias. Apesar da significância estatística apenas para o fator cultivar, e não para o tempo nem para a interação entre os fatores, o comportamento fisiológico das cultivares ao longo do armazenamento indica diferenças relevantes do ponto de vista agrônomo e comercial.

Quando comparados aos dados da literatura, os resultados encontrados reforçam que tempo e condições de armazenamento são fatores críticos para a manutenção da qualidade pós-colheita. Botrel et al. (2015) relataram um índice de chochamento de 23,13% para a cultivar Ito, após 410 dias de armazenamento, em condições ambiente e sem uso de embalagens, valor compatível com o observado neste estudo aos 120 dias, indicando que, mesmo em prazos mais curtos, a ausência de controle ambiental pode acelerar a ocorrência do defeito. Já Soares (2015) encontrou um índice de apenas 4,23% para a cultivar Amarante, armazenada como alho fresco no município de Dix-Sept Rosado (RN), resultado semelhante ao encontrado neste trabalho até os 60 dias, o que reforça a resiliência da cultivar Amarante sob determinadas condições.

Além das variáveis de armazenamento, fatores agrônômicos, no momento da

colheita, também devem ser considerados. Conforme Luengo et al. (1996), o índice de chochamento está relacionado à porcentagem de folhas secas na planta no momento da colheita, sendo ideal que a cultivar Amaranthe apresente entre 59,4% e 71,6% de folhas secas nas ramas. No presente estudo, entretanto, a colheita ocorreu durante um período de chuvas intensas, o que impossibilitou a desidratação adequada das plantas no campo, comprometendo o ponto ideal de maturação fisiológica dos bulbos. Essa condição pode ter afetado negativamente tanto o acúmulo de massa quanto a susceptibilidade ao chochamento durante o armazenamento, especialmente observado no pico aos 90 dias, quando houve combinação de baixa umidade relativa (~50%) e temperaturas elevadas (>27 °C) — fatores que agravam o estresse pós-colheita.

Dessa forma, os dados obtidos reforçam que o desempenho pós-colheita do alho depende não apenas das características genéticas da cultivar, mas também de um conjunto de fatores interligados, como as condições climáticas na colheita, o estado fisiológico dos bulbos e o ambiente de armazenamento. A cultivar Amaranthe, apesar de apresentar um pico temporário de chochamento, demonstrou maior estabilidade ao longo do tempo, ao passo que a cultivar Ito se mostrou mais suscetível desde o início, exigindo maior atenção quanto às condições de conservação para garantir sua qualidade comercial.

Não houve diferença estatística para o agrupamento com ART e Bonferroni, para a variável de perda de massa (%), para as cultivares Ito e Amaranthe ao longo do armazenamento neste experimento. Entretanto, segundo estudo de Bessa et al. (2017), cultivares Roxo Pérola de Caçador e Hozan apresentaram diferença estatística para perda de massa, a partir de 90 dias de armazenamento (6,89 e 16,28%, respectivamente). Comportamento similar foi observado no trabalho de Carvalho et al. (1991), no qual houve diferença significativa de perda de massa aos 60 dias e aumento contínuo ao longo do experimento. A perda de massa durante o armazenamento sugere uma constante perda de água e respiração das hortaliças (Chitarra, 2005), entretanto, esta variável não foi influenciada significativamente pelos fatores com teste de ART e correção de Bonferroni neste experimento, embora seja observado um aumento da média da perda de massa com valores iniciais próximos a 2%, atingindo valores próximos a 6% ao final das avaliações, comportamento que confere a boa qualidade do armazenamento nas condições propostas.

O teor de sólidos solúveis apresentou oscilações para as cultivares Ito e Amante ao longo do armazenamento. Destaca-se que houve pico de concentração de sólidos solúveis para a cultivar Amaranthe aos 120 dias e para Ito aos 90 dias (agrupamento *d*), conforme apresentado na Figura 9, indicando que, apesar das diferenças entre os períodos,

os teores alcançaram níveis máximos semelhantes estatisticamente. Estes resultados corroboram, em parte, o comportamento descrito por Chitarra e Chitarra (2005), os quais relatam que este acúmulo pode estar relacionado à hidrólise de amido e conversão de açúcares complexos em simples durante o armazenamento. Fato que tende a elevar a concentração dos teores de açúcares até determinado ponto, sendo que oscilações podem ocorrer devido à atividade metabólica residual nos bulbos. A diminuição, no final do período para a cultivar Ito, sugere a perda, devido à degradação desses açúcares ou por respiração e senescência dos bulbos, como relatado também por Resende et al. (2015) e Beckles (2012), os quais destacam a importância da interação entre características fisiológicas da cultivar e o tempo de armazenamento na manutenção da qualidade.

Comparando os resultados obtidos com os da literatura, verifica-se que os teores médios de sólidos solúveis, encontrados neste estudo, são compatíveis com aqueles relatados por Bessa et al. (2016), que descrevem valores médios acima de 30% para as cultivares de alho armazenadas (Roxo Pérola Caçador e Hozan). Assim como, no trabalho de De Almeida et al. (2022), no qual o teor de sólidos solúveis varia entre 35,70 a 39,67 °Brix para as cultivares Branco mineiro (CB, CE, PI), Centralina A, Inhumas (A e E), Jacobina e Jundiá. Essas variações podem ser atribuídas a diferenças genéticas entre as cultivares avaliadas, condições de armazenamento, grau de maturação no momento da colheita, entre outros fatores (Souza e Macedo, 2009).

A acidez titulável apresentou um comportamento variável entre as cultivares e ao longo do armazenamento. Observou-se que a cultivar Amarante iniciou o armazenamento com alto valor de média, enquanto a Ito apresentou um aumento gradual ao longo do tempo. No decorrer do armazenamento, houve aumento para os valores de acidez em ambas as cultivares, principalmente a partir dos 60 dias, quando não houve diferença estatística entre os agrupamentos superiores, evidenciando a elevação gradual da acidez ao longo do tempo. Esses dados foram confirmados tanto pelas médias ajustadas pelo método de ART, quanto pelas médias originais, que também indicaram discretas oscilações, mas com tendência geral de aumento da acidez com o armazenamento. Esses resultados corroboram o comportamento relatado por Bessa et al. (2017), que associaram o aumento da acidez em produtos hortícolas ao acúmulo de ácidos orgânicos durante o armazenamento. Além de contribuir para o sabor e qualidade, esse incremento é importante para a conservação dos bulbos.

Observou-se, nos resultados obtidos, que os dados de ATT corroboram o comportamento relatado por Bessa et al. (2017), aos quais associaram o aumento da

acidez em produtos hortícolas ao acúmulo de ácidos orgânicos durante o armazenamento. Além de contribuir para o sabor e qualidade, este incremento é importante para a conservação dos bulbos. O pH dos bulbos de alho apresentou variações ao longo do armazenamento, com comportamentos distintos entre as cultivares. A análise estatística confirmou diferenças significativas para os períodos de 0 e 120 dias de armazenamento, comportamento também relatado por Bessa et al. (2017), que descreveram variações de pH entre 6,07 a 5,88 para a cultivar BRS Hozan e de 6,01 a 5,92 para Roxo Pérola de Caçador, com efeito significativo apenas nos períodos extremos de armazenamento. Além disso, os dados obtidos corroboram a relação inversa entre pH e acidez titulável, conforme descrito por Chitarra e Chitarra (2005), cuja redução do pH ocorreu de forma proporcional ao aumento da acidez titulável, resultado também verificado no presente estudo.

A pungência do alho, medida pela concentração de ácido pirúvico, foi significativamente influenciada pela cultivar, pelo tempo de armazenamento e pela interação entre esses fatores ($p < 0,001$). O comportamento observado para a cultivar (A) está em conformidade com as observações de De Carvalho et al. (1991) e Nassur et al. (2020), que relataram incremento gradual na pungência com o avanço do armazenamento, relacionado ao acúmulo de compostos sulfurados. Por outro lado, a cultivar Ito apresentou valores iniciais inferiores, com discreta elevação até os 60 dias e posterior decréscimo acentuado aos 90 e 120 dias. Esse comportamento de redução pode estar associado à volatilização do ácido pirúvico e ao avanço do índice de chochamento, como destacado por Bessa et al. (2017), que identificaram tendência de redução na pungência ao longo do armazenamento, ainda que sem significância estatística em seu experimento.

Ao comparar os teores de ácido pirúvico obtidos, os valores médios registrados para a cultivar Amaranthe, que variaram de 29,20 a 42,72 $\mu\text{mol mL}^{-1}$ ao longo dos 120 dias de armazenamento, ficaram próximos aos reportados por Almeida (2020) para cultivares como Centralina A (30,02 $\mu\text{mol mL}^{-1}$), Branco Mineiro PI (42,52 $\mu\text{mol mL}^{-1}$) e Branco Mineiro CB (36,20 $\mu\text{mol mL}^{-1}$). Por outro lado, a cultivar Ito apresentou teores inferiores, entre 4,95 e 14,05 $\mu\text{mol mL}^{-1}$, caracterizando menor intensidade de pungência e maior redução desse atributo durante o armazenamento.

As variáveis associadas à PC1 indicaram que a perda de massa e a pungência estão relacionadas a menores valores de sólidos solúveis e pH, revelando uma interação entre atributos de qualidade que envolve redução do dulçor e do frescor em paralelo ao aumento

da intensidade de sabor. Já o contraste evidenciado na PC2 reforça o papel da acidez como eixo adicional de diferenciação, contrapondo-se a características ligadas ao sabor e ao aroma. Apesar da sobreposição entre os tratamentos, observou-se que alguns períodos avançados de armazenamento apresentaram maior afastamento no espaço multivariado, sinalizando que alterações mais expressivas ocorrem nessas condições. Essa tendência evidencia a natureza dinâmica dos atributos físico-químicos ao longo do tempo, com impacto direto na manutenção da qualidade pós-colheita. Esse padrão dialoga com o observado por Prakash e Prasad (2023), que identificaram forte influência de variáveis físico-químicas, como pH, acidez titulável e açúcares, na diferenciação entre amostras de alho submetidas a distintos métodos de processamento. A correlação negativa entre pH e atributos relacionados à pungência, reportada naquele estudo, também foi sugerida aqui, reforçando a interdependência entre acidez e compostos bioativos. De forma geral, a ACP mostrou-se uma ferramenta útil para integrar e interpretar a complexidade dos dados, permitindo compreender como múltiplos atributos de qualidade interagem e contribuem para as respostas observadas em cultivares e períodos de armazenamento.

No presente estudo, as películas de Amarante mantiveram valores elevados de luminosidade (L^* variando entre 71,4 e 77,5) e croma moderado (9,0–12,2) ao longo dos 120 dias de armazenamento, sem diferenças estatísticas significativas entre os períodos. O ângulo de matiz oscilou entre $50,9^\circ$ e $67,4^\circ$, indicando tonalidade amarelada estável e ausência de escurecimento perceptível durante a estocagem. Em contraste, a cultivar Ito, que é classificada no grupo de alho nobre de cor roxa, apresentou L^* mais baixa (48,1 a 55,9) e croma elevado (17,4 a 19,6), mas seu Hue permaneceu consistentemente baixo (14° a 24°), dentro da faixa vermelha. Esse comportamento da cultivar Ito pode estar relacionado com o processo de cura ao sol, adotado neste experimento, prática semelhante à estudada por De Almeida (2025), que observou que o tratamento de cura sob influência da luz influenciou os parâmetros de cor dos bulbos. A cura ao sol tende a intensificar alterações visuais que distanciam a cor do roxo esperado, aproximando-a do vermelho. Outros fatores, como variações de pH, oxidação de pigmentos e interações com outros compostos, também podem contribuir para estes desvios.

Silva et al. (2019) sugerem, em seu trabalho realizado com avaliação de extratos de antocianinas a partir de uvas como indicadores de pH, que as antocianinas, responsáveis pelo tom púrpura, podem ter sido gradativamente degradadas ou deslocadas para formas de menor pH aparente, promovendo coloração avermelhada desde o início

até o fim do armazenamento. Fatores como mudanças sutis de pH no tecido, oxidação de pigmentos e interação com copigmentos também podem ter contribuído para esse desvio da tonalidade esperada (Albarici, 2006; Lopes et al., 2007). Entretanto, é importante ressaltar que, neste estudo, não foi avaliado o pH das películas dos bulbilhos, apenas das polpas.

Em síntese, a polpa da cultivar Amaranthe não apresentou escurecimento relevante, com tonalidade amarela-clara preservada, enquanto a polpa de Ito exibiu discreta redução de L* e Hue aos 90 dias, sugerindo uma tendência sutil ao escurecimento. Não foi observado a evidência de *greening* nas polpas avaliadas, fenômeno que é favorecido pelas baixas temperaturas. Conforme evidenciado na Figura 9, as temperaturas se mantiveram acima dos 20°C ao longo de todo experimento, o que possivelmente contribuiu para preservar a integridade cromática e evitar o desenvolvimento de pigmentações indesejáveis, como abordado no trabalho de Zang et al. (2013).

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a cultivar Amaranthe apresenta maior aptidão para o armazenamento em condições ambiente, devido à sua estabilidade fisiológica e qualitativa, refletida em menores índices de chochamento e manutenção de atributos sensoriais e físico-químicos por até 120 dias. Já a cultivar Ito mostrou menor resistência pós-colheita, com declínio acentuado da qualidade após 90 dias, limitando seu potencial para conservação prolongada.

O comportamento das cultivares evidenciou relações interdependentes entre acidez, pH, perda de massa e pungência, confirmando a natureza integrada das respostas durante o armazenamento. A preservação da coloração e a ausência de alterações visuais significativas indicam a eficiência das condições adotadas. Os resultados indicam que a cura à sombra, realizada sob condições climáticas naturais, promove um aumento significativo na intensidade aromática e modifica as propriedades de cor das cascas dos dentes de alho, sugerindo que esse método pode ser utilizado de forma eficaz para obter alho de melhor qualidade.

De modo geral, os resultados reforçam a importância da seleção varietal e do controle das condições de estocagem como estratégias para otimizar a qualidade e reduzir perdas pós-colheita. Além disso, recomendam-se investigações complementares de caráter microbiológico, visando ampliar a compreensão sobre a segurança e a

durabilidade do produto em diferentes condições de armazenamento.

Essas evidências são essenciais para embasar a tomada de decisão por parte dos produtores, especialmente os da agricultura familiar, favorecendo a redução de perdas pós-colheita, a conservação da qualidade do alho e aumento do valor agregado durante a comercialização. A incorporação de práticas de manejo fundamentadas em dados científicos, como os apresentados neste trabalho, contribui para a sustentabilidade econômica da cadeia produtiva do alho e amplia as possibilidades de competitividade no mercado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albarici, T. R.; Pessoa, J. D. C.; Forim, M. R. Efeito das variações de pH e temperatura sobre as antocianinas na polpa de açaí - Estudos espectrofotométricos e cromatográficos. Embrapa Instrumentação Agropecuária. **Comunicado Técnico**, 78, 2006.

Amancio, M.E. et al. Avaliação Qualitativa da cor do alho brasileiro “*Allium sativum* L.” secado sob diferentes temperaturas do ar. In: XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, CONBEA, 2018. Brasília, DF, Brasil. Disponível em Disponível em: <https://conbea.org.br/anais/publicacoes/conbea>

Andrade, V. C. D.; Guimarães, A. G.; Firme, T. D.; Costa, A. A. A.; Costa, M. R. D.; Lopes, T. K.; Resende, F. V. (2019). Associations between morphological and agronomic characteristics in garlic crop. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 204-209. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620190211>

Association of Official Analytical – AOAC. (2016). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists (20th ed.) Gaithersburg: AOAC.

Avgeri, I.; Zeliou, K.; Petropoulos, S. A.; Bebeli, P. J.; Papatotiropoulos, V.; Lamari, F. N. Variability in Bulb Organosulfur Compounds, Sugars, Phenolics, and Pyruvate among Greek Garlic Genotypes: Association with Antioxidant Properties. **Antioxidants**, v. 9, n. 10, p. 967, 2020. <https://doi.org/10.3390/antiox9100967>

Beise, D.C. et al. Colorimetric, chemical, and genetic characterization of purple garlic in two producing regions in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 59, e. 0,778, 2024. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2024.v59.03778>

Bessa, A. T. M.; Lopes, W. D. A. R.; Silva, O.; Maria, D. P. D.; Lima, M. F. P. D.; Oliveira, P. R. H. D.; Negreiros, M. Z. D. Caracterização físico-química de alho “BRS Hozan” e “Roxo Pérola de Caçador” em função do tempo de armazenamento. **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas**, v.11, n. 2, p. 368–377, 2017. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.5758>

Bessa, et al. Caracterização físico-química de alho ‘BRS Hozan’ e ‘Roxo Pérola de Caçador’ em função do tempo de armazenamento. **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas**, v. 11, n. 2, p. 368-377, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.5758>

BRASIL. Portaria MAPA nº435 de 18 de maio de 2022. Diário Oficial da União, ed. 94, s. 1, p. 4. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-mapa-n-435-de-18-de-maio-de-2022-401073083>. Último acesso: 02/07/2025

Castro, A.; Hertog, M.; Goos, P.; Nicolai, B. Objective instrumental method for blueberry (*Vaccinium* spp.) juiciness determination compared to sensory evaluation. **Postharvest Biology And Technology**, v. 218, p.113-144, 2024. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113144>

Cecchi, H. M. Fundamentos teóricos e práticos em análises de alimentos. **2 ed.**

rev. Campinas: Editora Unicamp, 2003. p 203.

Chitarra, M. I. F.; Chitarra, A. B. 2005. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. Lavras: UFLA. 785p.

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. Alho – Análise Mensal - Agosto 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuaria-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-alho/item/24420-alho-analise-mensal-agosto-2024>. Último acesso: 01/07/2025

De Almeida, A. V. C.; Pereira, E. F.; Schneider, K.; Gomes, B.; Germano, A. T.; Budziak, D.; Soldi, C. Color, volatile organic and phenolic compounds in garlic after curing in a shaded environment at ambient conditions. **Postharvest Biology and Technology**, v. 222, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113373>

De Almeida, J. M.; Haber, L.; Da Silva, H. R.; Resende, F.; Joanderson, M. D. A. Avaliação agrônômica, conservação e qualidade pós-colheita de variedades de alho precoces livres de vírus na região do semiárido piauiense. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, **Embrapa Hortaliças**, n. 249. Brasília, 2022.

De Carvalho, V. D.; de Souza, S. M. C.; de Abreu, C. M. P.; de Rezende Chagas, S. J. Tempo de Armazenamento e Qualidade do Alho, cv. Amarante. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 26, n. 10, p. 1679–1684.1991. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1991.v26.3511>

Dunner, E. Effective analysis of interactive effects with non-normal data using the aligned rank transform, ARTool and SAS® university edition. **Horticulture**, v. 5, n. 3, p. 57, 2019. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5030057>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Sistema de Produção de Alho. Embrapa Hortaliças. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/hortalicas/alho/botanica>

Feng, Y. ; Xu, B. ; Yagoub, A. E. A.; Ma, H. ; Sun, Y. ; Xu, X. ; Zhou, C. Role of drying techniques on physical, rehydration, flavor, bioactive compounds and antioxidant characteristics of garlic. **Food Chem.** v. 343, p. 128-404, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128404>

Ferreira, M; Spricigo, P. Instrumentação Pós-Colheita em Frutas e Hortaliças. Embrapa. Brasília, DF, 2017.

Food and Agriculture Organization -FAO. Production. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>

Graves, S.; Piepho, H. P.; Selzer, L. *multcompView: Visualizations of Paired Comparisons*. **R package version** 0.1-8, 2015. Disponível em: : <https://CRAN.R-project.org/package=multcompView>. Último acesso: 29/06/2025

Grint, K.R.; Arneson, N.J.; Arriaga, F.; DeWerff, R.; Oliveira, M.; Smith, D.H.. Stoltenberg DE and Werle R. Cover crops and preemergence herbicides: An integrated

approach for weed management in corn-soybean systems in the US Midwest.

Frontiers in Agronomy, v. 4, p. 888349, 2022.

<https://doi.org/10.3389/fagro.2022.888349>

Grundling, R.D.P.; Gazzola, R.; Aragão, A.A. Mercado mundial do alho: tendências gerais e as implicações para o Brasil. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 59., 2021, Brasília, DF. Ações coletivas e resiliência: inovações políticas, socioeconômicas e ambientais. Brasília, DF: SOBER, 2021. Disponível em:

<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1142479> acesso: 06/2024.

Hanif, M. A.; Nawaz, H.; Khan, M. M.; Byrne, H. J. Garlic. Medicinal Plants of South Asia: novel sources for drug discovery. **Elsevier**. Ed. 1, c. 3, p. 301–315, 2020.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102659-5.00023-9>

Hothorn, T.; Bretz, F.; Westfall, P. Simultaneous Inference in General Parametric Models. **Biometrical Journal, Wiley Online Library**. v. 50, n. 3, pp. 346-363, 2008.

<https://doi.org/10.1002/bimj.200810425>

Hubert, M.; Engelen, S. Robust PCA and Classification in biosciences.

Bioinformatics,

v. 20, n. 11, p. 1728-1736, 2004.

<http://dx.doi.org/10.1093/bioinformatics/bth158>

Instituto Adolfo Lutz. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz, métodos químicos e físicos para análises de alimentos. 3º ed. São Paulo, 1985, V.1, 533 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Produção Agrícola Mundial. Tabelas 2023 (3.5 Bahia). Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados>. Acesso em: 06/2024

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Disponível em:

<https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/MG/8368321>

Kay, M.; Elkin, L.; Higgins, J. J.; & Wobbrock, J. O. (2025). mjskay/ARTool: ARTool

0.11.2 (v0.11.2). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15192343>

Konica Minolta. Entendendo o Espaço de Cor L*a*b*. Disponível em:

<https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>. Acesso em: 18 de junho de 2025. Koppen Brasil. Disponível em: <https://koppenbrasil.github.io/>

Kuswah, A. et al. Garlic dehydration inside heat exchanger-evacuated tube assisted drying system: Thermal performance, drying kinetic and color index. **Journal of Stored Products Research**, v. 93, p. 101852, 2021.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101852>

Lana, M. M.; Tavares, S. A. (ed.). 50 Hortaliças: como comprar, conservar e

consumir. 2. ed. rev. Brasília, DF: **Embrapa Hortaliças**, 2010. 209 p.

Lê, S., Josse, J.; Husson, F. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, v. 25, n. 1, p. 1–18, 2008.
<https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>

Lopes, T.; Xavier, M.; Quadri, M. G.; Quadri, M. Antocianinas: uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade. **Revista Brasileira Agrocência**, v.13, n. 3, p.291-297,2007.

Disponível em:

<https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/CAST/article/view/1375/1359>

Último acesso: 09/07/2025

Lopes, W. A.; Negreiros, M. Z.; Morais, P. L.; Soares, A. M.; Lucena, R. R.; Silva, O. M.; Grangeiro, L. C. Caracterização físico-química de bulbos de alho submetidos a períodos de vernalização e épocas de plantio. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 2, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620160000200013>

Ludlow, R. A.; Evans, G.; Graz, M.; Marti, G.; Martínez, P. C.; Rogers, H. J.; Müller, C. T. From laboratory to industrial storage – Translating volatile organic compounds into markers for assessing garlic storage quality. **Postharvest Biology and Technology**, v. 191, n. 8, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111976>

Luengo, R.F.A. et al. Chochamento do alho ‘‘Amarante’’ durante o armazenamento em função da época de colheita. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.31, n.8, p.581- 584, 1996.

Madhu, B.; Mudgal, V. D.; Champawat, P. S. Storage of garlic bulbs (*Allium sativum* L.): A review. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 6, 2019.
<https://doi.org/10.1111/jfpe.13177>

Marín-Marín, C.A.; Estrada-Peláez, J.A.; Delgado Naranjo, J.M.; Zapata Ocampo, P.A. (2024). Concentrações crescentes de biomassa sonicada de *Arthrospira maxima* produzem maior crescimento em mudas de manjericão (*Ocimum basilicum*, Lamiaceae). **Horticulturae**, v. 10, n. 2, p. 168.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae10020168>

McGuire, R.G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v. 27, n. 12, p. 1254–1255. 1992. <https://doi.org/10.21273/hortsci.27.12.1254>

Mohammed, A.Y.I.; Rabie, S.M.H.; Gommaa, R.B. Study of effect of packaging and pre- packaging treatments on shelf life and quality of minimally processed fresh garlic. *Journal of Food and Dairy Sciences*, v. 34, n. 6, p. 6373–6390, 1 jun. 2009.
<https://doi.org/10.21608/jfds.2009.115318>

Mohammed. A.Y.I.; Rabie, S.M.H.; Gommaa, R.B. Study of effect of packaging and pre- packaging treatments on shelf life and quality of minimally processed fresh garlic. **Journal of Food and Dairy Sciences**, v. 34, n. 6, p. 6373–6390, 2009.
<https://doi.org/10.21608/jfds.2009.115318>

Mohammadi, V.; Ansari, K.; Gouton, P.; Attig, H. Developing a New Method of Transformation for Obtaining XYZ Color Values from RGB Images for Agricultural Applications. **Sensors**, v. 24, n. 23, p. 7728. Teerã, 2024.

Nordeste Rural. A história do cultivo de alho no Brasil e no mundo. jun-2023 (Artigo de revista). Disponível em: <https://nordesterural.com.br/a-historia-do-cultivo-de-alho-no-brasil-e-no-mundo/> acesso: 08/10/2024

Oliveira, C. M. D.; Souza, R. J. D.; Yuri, J. E.; Mota, J. H.; Resende, G. M. D. Época de colheita e potencial de armazenamento em cultivares de alho. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 4, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362004000400029>

PalhaRini, M.C de A.; Fischer, Alves, A.R. de Oliverira. F.; Fileti, M.S. Júnior, A.F.N.

Qualidade de goiabas ‘Pedro Sato’ em função de tratamentos alternativos de pós-colheita. **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 38, n. 1, p. 129-140, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-248/14>

Pardo, J.E. et al. Physical-Chemical and Sensory Quality Evaluation of Garlic Cultivars. **Journal of Food Quality**, v. 30, n. 5, p. 609–622, out. 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2007.00146>

Prakash, P.; Prasad, K. Comparative elucidation of garlic peeling methods and positioning of quality characteristics using principal components analysis. **Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.** v. 22, n. 2, p. 119–131, 2023. <http://dx.doi.org/10.17306/J.AFS.2023.1114>

Prati, P.; Henrique, C. M.; Souza, A. S. de; Silva, V. S. N. da; & Pacheco, M. T. B. (2014). Evaluation of allicin stability in processed garlic of different cultivars. **Food Science and Technology**, v. 34, n.3, p. 623–628. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.6397>

Prefeitura Municipal de Cristópolis. Disponível em:

<https://sai.io.org.br/ba/cristopolis/site/dadosmunicipais#:~:text=Pela%20Lei%20estadua%20I%20n%C2%00BA%201.733,com%2055%20anos%20de%20emancipa%C3%A7%C3%A3o>

Purwanto, Y. A.; Naibaho, N.; Pratama, S. Y. Effects of Temperature on The Quality of Garlic (*Allium sativum* L) cv. Lumbu Kuning During Storage. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 309, n. 1, p. 012004, 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/309/1/012004>

Resende, J.; Morales, R.; Zanin, D.; Resende, F.; De Paula, J.; Dias, D.; & Galvão, A. (2013). Caracterização morfológica, produtividade e rendimento comercial de cultivares de alho. **Horticultura Brasileira**, 31, 157-162. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362013000100025>

Schwimmer, S.; Weston, W.J. Enzymatic development of pyruvic acid in onion as a measure of pungency. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v.9,

n.4, p.301-304, 1961.

Sharma, G.; Wu, W.; Dalal, E. N. The CIEDE2000 Color-Difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations. **Wiley Periodicals**, v, 30; n, 1; 2005.

Silva, C.F. et al. Avaliação do uso de extratos de antocianinas obtidas a partir de uvas Isabel como indicadores de pH. **Rev. Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 13, n. 2, p. 2932-2946, 2019. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/rbta/article/viewFile/9085/7095> Acesso: 09/07/2025.

Soares et al. Avaliação de cultivares de alho no município de Governador Dix-sept Rosado-RN, Brasil. **Rev. Brasileira de Agroambiente**, v. 9, n. 4, 2015. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v9i4.2553>

Souza, R.J.; Macêdo. F.S. 2009. Cultura do alho: Tecnologias modernas de produção. Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brasil.

Tripathi, P. C.; & Lawande, K. E. (2006). Cold storage of onion and garlic. Technical Bulletin No. 15.

Wobbrock, J. O.; Findlater, L.; Gergle, D.; & Higgins, J. J. (2011). The aligned rank transform for nonparametric factorial analyses using only ANOVA procedures. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 143– 146, 2011. <https://doi.org/10.1145/1978942.1978963>

Zang, J.; Wang, D.; Zhao, G. Mechanism of discoloration in processed garlic and onion. **Trends in Food Science & Technology**, v. 30, n. 2, p. 162-173, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.01.008>

Zar, J.H. Biostatistical analysis. New Jersey: Prentice-Hall, p.663, 1999.