

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos**



Dissertação

**Perda de massa, desempenho industrial e qualidade de cocção do arroz em  
casca armazenado por um ano em diferentes condições de umidade relativa**

**Aline Alves Clark**  
Engenheira Agrônoma

Pelotas, 2025

**Aline Alves Clark**

**Perda de massa, desempenho industrial e qualidade de cocção do arroz em casca armazenado por um ano em diferentes condições de umidade relativa**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Nathan Levien Vanier

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rosana Colussi

Pelotas, 2025

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação da Publicação

C592p Clark, Aline Alves

Perda de massa, desempenho industrial e qualidade de cocção do arroz em casca armazenado por um ano em diferentes condições de umidade relativa [recurso eletrônico] / Aline Alves Clark ; Nathan Levien Vanier, orientador ; Rosana Colussi, coorientadora. — Pelotas, 2025.  
77 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2025.

1. Armazenamento de arroz. 2. Umidade relativa. 3. Quebra técnica. 4. Desempenho industrial. 5. Incidência fúngica. I. Vanier, Nathan Levien, orient. II. Colussi, Rosana, coorient. III. Título.

CDD 633.186

Aline Alves Clark

Perda de massa, desempenho industrial e qualidade de cocção do arroz em casca armazenado por um ano em diferentes condições de umidade relativa

Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas

Data da defesa: 19 de maio de 2025.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Nathan Levien Vanier (orientador)

Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias

Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Ricardo Scherer Pohndorf

Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Federal do Rio Grande

Dr. Cristian de Souza Batista

Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas

## **Agradecimentos**

A conclusão desta etapa tão significativa da minha trajetória acadêmica não seria possível sem o apoio e a colaboração de muitas pessoas, às quais expresso minha mais profunda gratidão.

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela dádiva da vida, pela saúde e pela oportunidade de nascer em uma família que sempre me ensinou valores sólidos e me incentivou a buscar o conhecimento.

À minha mãe, Tânia Alves, minha eterna gratidão pelo amor, exemplo e apoio incondicional.

Ao meu pai, José Ricardo Alves, cuja presença, mesmo após sua partida, continua viva em cada conquista minha. Sua memória e seus ensinamentos seguirão me guiando sempre.

Ao meu esposo Jordan, pelo companheirismo, paciência e incentivo constante ao longo de todo o mestrado. Sua presença foi essencial em cada etapa dessa caminhada.

Agradeço também a toda a minha família, pelo suporte, pelas palavras de encorajamento e pela compreensão nos momentos mais intensos dessa jornada.

Aos colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos Adrielle Fagundes, Bruna Klug, Cindy Rodriguez, Gabriela Schirmann, Gabriele Delgado, Henrique Ferreira, Janaina Goveia, Larissa Silveira, Luana Kelleman, Marcos Monte, Miriã Silveira, Nataniele Sachaun, Nelson Mubai, Patrick Silva, Paulo Azevedo, Philomene Audrey, Sabrina Frasson e Santiago Murillo, agradeço sinceramente pela parceria, troca de conhecimentos e amizade construída ao longo desses dois anos.

Aos estudantes de iniciação científica Adan Silveira, Leonardo Duarte, Manuela Geiger, Raphaelly Almeida, Stéfane Belmonte e Vitor Longaray, e a todos que colaboraram com as atividades experimentais, deixo meu agradecimento especial. O comprometimento e a dedicação de vocês foram fundamentais para a execução deste trabalho.

Aos amigos Bruna Coseglio, Gustavo Bessa, Jaqueline Hagn, Julyana Vasconcelos, Júlia Melo, Thaís Costa e Verônica Vargas meu muito obrigada pelo apoio e carinho constantes, mesmo à distância. Suas palavras e incentivo foram muito importantes para mim.

À Emanuelli Furtado, agradeço sinceramente pela ajuda na identificação dos fungos durante as análises de incidência fúngica.

À Caroline Alves, agradeço a colaboração e orientação na análise estatística dos dados, sua ajuda foi essencial para a organização e interpretação dos resultados.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Nathan Levien Vanier, e à minha coorientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Rosana Colussi, agradeço pela orientação, pelos ensinamentos, pela paciência e pelo incentivo durante todo o processo do mestrado.

À empresa Polisul, expresso minha sincera gratidão à Jaqueline Pereira e ao Joel, pelo suporte técnico e pela colaboração constante na realização das análises. O comprometimento e a atenção de ambos foram fundamentais para a condução eficiente desta etapa do trabalho.

À empresa Forte Grãos, agradeço especialmente ao Sr. Claudinei pela oportunidade de acompanhar presencialmente o processo de recebimento de arroz na unidade. Sua disponibilidade e disposição em compartilhar conhecimentos contribuíram de forma significativa para a compreensão prática dos temas abordados nesta pesquisa.

À Universidade Federal de Pelotas, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos (LabGrãos), meu reconhecimento e gratidão pelo apoio institucional e acadêmico que tornaram esta pesquisa possível.

Por fim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação e para a realização deste trabalho, deixo o meu mais sincero muito obrigada.

*“Don’t be afraid to pursue your goals—  
even your dreams! But know that there is  
no shortcut to excellence and  
competence. Education is the difference  
between wishing you could help other  
people and being able to help them.”*

**Russel M Nelson**

## Resumo

CLARK, Aline Alves. **Perda de massa, desempenho industrial e qualidade de cocção do arroz em casca armazenado por um ano em diferentes condições de umidade relativa**. 2025. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2025.

O armazenamento do arroz representa uma etapa crucial na cadeia produtiva, podendo impactar significativamente a qualidade final dos grãos, sobretudo sob condições inadequadas de umidade e tempo prolongado. Alterações físicas, químicas e microbiológicas podem comprometer o rendimento industrial, a aparência visual e o desempenho tecnológico dos grãos durante a cocção. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da umidade relativa do ar (65%, 75% e 85%), do grau de umidade inicial dos grãos (10,2% e 14,5%) e do tempo de armazenamento (0, 3, 6, 9 e 12 meses) sobre a qualidade dos grãos de arroz da cultivar IRGA 424 RI. Foram analisados parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, como perda de massa, renda de benefício, rendimento de grãos inteiros, perfis branquimétricos e colorimétricos, índice de acidez, incidência fúngica, propriedades viscoamilográficas (RVA) e análises multivariadas (PCA e correlação de Pearson). Os resultados evidenciaram que o tempo de armazenamento e a umidade relativa exerceram forte influência sobre os atributos analisados. Grãos armazenados sob 85% de umidade relativa apresentaram maiores perdas qualitativas, com maior atividade de fungos de armazenamento, como *Penicillium* spp. A condição de 75% proporcionou maior estabilidade ao longo do tempo. A umidade inicial dos grãos mais elevada (14,5%) favoreceu a preservação do rendimento de grãos inteiros, da viscosidade final e da acidez titulável, especialmente sob ambientes com menor umidade relativa. No entanto, em condição de alta umidade relativa (85%), o grau de umidade inicial mais elevado intensificou as perdas, evidenciando que sua eficácia depende diretamente das condições de armazenamento. A análise multivariada confirmou padrões de agrupamento entre os tratamentos e evidenciou a transição da microbiota fúngica, com predominância de fungos de campo no início e fungos típicos de ambiente armazenado, como *Penicillium* spp., nas fases mais avançadas. Conclui-se que o controle da umidade relativa do ar e do período que o arroz permanece armazenado é essencial para minimizar as perdas e preservar sua qualidade.

**Palavras-chave:** Armazenamento de arroz; Umidade relativa; Quebra técnica; Desempenho industrial; Incidência fúngica.

## Abstract

CLARK, Aline Alves. **Dry matter loss, industrial performance, and cooking quality of paddy rice stored for one year under different relative humidity conditions.** 2025. 77p. Dissertation (Masters in Food Science and Technology) – Postgraduate Program in Food Science and Technology, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2025.

Rice storage represents a crucial stage in the production chain, as it can significantly impact the final quality of the grains, especially under inadequate humidity conditions and prolonged periods. Physical, chemical, and microbiological changes may compromise the industrial yield, visual appearance, and technological performance of the grains during cooking. This study aimed to evaluate the effects of air relative humidity (65%, 75%, and 85%), initial grain moisture content (10.2% and 14.5%), and storage duration (0, 3, 6, 9, and 12 months) on the quality of IRGA 424 RI rice grains. Physical, chemical, and microbiological parameters were analyzed, including mass loss, milling yield, head rice yield, whiteness and color profiles, acidity index, fungal incidence, viscoamylographic properties (RVA), and multivariate analyses (PCA and Pearson correlation). The results showed that storage time and relative humidity strongly influenced the analyzed attributes. Grains stored at 85% relative humidity showed greater qualitative losses, with increased activity of storage fungi such as *Penicillium* spp. The 75% condition provided greater stability over time. A higher initial moisture content (14.5%) favored the preservation of head rice yield, final viscosity, and titratable acidity, especially under environments with lower relative humidity. However, under high relative humidity conditions (85%), the elevated initial moisture content intensified losses, showing that its effectiveness depends directly on the storage conditions. Multivariate analysis confirmed clustering patterns among treatments and revealed a transition in fungal microbiota, with a predominance of field fungi at the beginning and typical storage environment fungi, such as *Penicillium* spp., in the more advanced stages. It is concluded that controlling air relative humidity and the duration for which the rice remains stored is essential to minimize losses and preserve its quality.

**Keywords:** Rice storage; Relative humidity; Dry matter loss; Industrial performance; Fungal incidence.

## Lista de Figuras

|                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Fluxograma ilustrativo do delineamento experimental .....                                                                                                        | 26 |
| Figura 2 - Sistema tridimensional de cores ( $L^*$ , $a^*$ e $b^*$ ) .....                                                                                                  | 32 |
| Figura 3 – Variações de temperatura e umidade relativa externas .....                                                                                                       | 36 |
| Figura 4 – Variação da umidade dos grãos ao longo do armazenamento.....                                                                                                     | 37 |
| Figura 5 – População de <i>Sitophilus oryzae</i> em função do tempo e UR .....                                                                                              | 38 |
| Figura 6 – Perda de massa (%) dos grãos de arroz ao longo do tempo de<br>armazenamento sob diferentes condições de UR e Uia .....                                           | 41 |
| Figura 7 – Peso de mil grãos (g) ao longo do tempo de armazenamento em<br>diferentes condições de UR e Uia .....                                                            | 43 |
| Figura 8 – Renda de benefício (%) ao longo do tempo de armazenamento em<br>diferentes condições de UR e Uia .....                                                           | 45 |
| Figura 9 – Brancura (%) dos grãos polidos ao longo do tempo de armazenamento<br>em diferentes condições de UR e Uia .....                                                   | 49 |
| Figura 10 – Transparência (%) dos grãos polidos ao longo do tempo de<br>armazenamento em diferentes condições de UR e Uia .....                                             | 50 |
| Figura 11 – Índice de polimento (%) ao longo do tempo de armazenamento em<br>diferentes condições de UR e Uia .....                                                         | 51 |
| Figura 12 – Luminosidade ( $L^*$ ) dos grãos polidos ao longo do tempo de<br>armazenamento em diferentes condições de UR e Uia .....                                        | 53 |
| Figura 13 – Valor de Vermelho-Verde ( $a^*$ ) dos grãos polidos ao longo do tempo de<br>armazenamento em diferentes condições de UR e Uia .....                             | 54 |
| Figura 14 – Valor de Azul-Amarelo ( $b^*$ ) dos grãos polidos ao longo do tempo de<br>armazenamento em diferentes condições de UR e Uia .....                               | 55 |
| Figura 15 – Tempo de Cocção dos grãos inteiros ao longo do tempo de<br>armazenamento em diferentes condições de UR e Uia .....                                              | 57 |
| Figura 16 – Rendimento gravimétrico (%) ao longo do tempo de armazenamento em<br>diferentes condições de UR e Uia .....                                                     | 59 |
| Figura 17 – Rendimento volumétrico (%) ao longo do tempo de armazenamento em<br>diferentes condições de UR e Uia .....                                                      | 60 |
| Figura 18 – Índice de acidez dos grãos ao longo do tempo de armazenamento .....                                                                                             | 61 |
| Figura 19 – Colonização de grãos de arroz por fungos de armazenamento<br>( <i>Penicillium</i> spp. e <i>Aspergillus</i> spp.) em diferentes estágios de armazenamento ..... | 66 |

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 20 – Perfil viscoamilográfico (RVA) da farinha de arroz polido ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de UR e Uia ..... | 68 |
| Figura 21 – Gráfico dos indivíduos (A) e gráfico das variáveis (B).....                                                                            | 70 |
| Figura 22 – Análise de correlação de Pearson.....                                                                                                  | 71 |

## Lista de Tabelas

|                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Arranjo fatorial e variáveis avaliadas no armazenamento do arroz.....                                                                        | 25 |
| Tabela 2 – Rendimento de grãos inteiros (%) em função do tempo e UR.....                                                                                | 46 |
| Tabela 3 – Rendimento de grãos inteiros (%) em função do tempo e umidade inicial dos grãos.....                                                         | 46 |
| Tabela 4 – Incidência de <i>Alternaria</i> spp., <i>Cladosporium</i> spp. e <i>Aspergillus</i> spp.....                                                 | 63 |
| Tabela 5 – Incidência de <i>Alternaria</i> spp., <i>Cladosporium</i> spp., <i>Fusarium</i> spp., <i>Aspergillus</i> spp. e <i>Penicillium</i> spp. .... | 65 |

### **Lista de Abreviaturas e Siglas**

|           |                                                      |
|-----------|------------------------------------------------------|
| ABIARROZ  | Associação Brasileira da Indústria do Arroz          |
| CONAB     | Companhia Nacional de Abastecimento                  |
| EMBRAPA   | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária          |
| IRGA      | Instituto Rio Grandense do Arroz                     |
| MAPA      | Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  |
| PMG       | Peso de Mil Grãos                                    |
| RVA       | Rapid Visco Analyser (Propriedade Viscoamilográfica) |
| SINDARROZ | Sindicato das Indústrias de Arroz                    |
| Uia       | Umidade inicial do arroz                             |
| UR        | Umidade Relativa do ar                               |
| URs       | Umidades Relativas do ar                             |

## Sumário

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 Introdução</b>                                                     | <b>16</b> |
| <b>2 Objetivos</b>                                                      | <b>18</b> |
| 2.1 Objetivo Geral                                                      | 18        |
| 2.2 Objetivos específicos                                               | 18        |
| <b>3 Hipóteses</b>                                                      | <b>18</b> |
| <b>4 Revisão Bibliográfica</b>                                          | <b>19</b> |
| 4.1 Importância do arroz                                                | 19        |
| 4.6 Parâmetros de qualidade na indústria do arroz                       | 19        |
| 4.2 Umidade de colheita e necessidade de secagem                        | 21        |
| 4.3 Secagem parcial                                                     | 22        |
| 4.4 Efeitos da umidade dos grãos e temperatura na durabilidade do arroz | 22        |
| 4.5 Equilíbrio higroscópico                                             | 23        |
| <b>5 Material e métodos</b>                                             | <b>24</b> |
| 5.1 Materiais                                                           | 24        |
| 5.2 Métodos                                                             | 25        |
| 5.2.1 Delineamento Experimental                                         | 25        |
| 5.2.2 Armazenamento das amostras                                        | 27        |
| 5.2.3 Monitoramento das temperaturas e umidades relativas               | 28        |
| 5.2.4 Umidade dos grãos                                                 | 28        |
| 5.2.5 Quantificação de <i>Sitophilus oryzae</i> durante o armazenamento | 28        |
| 5.3 Análises                                                            | 29        |
| 5.3.1 Perda de massa                                                    | 29        |
| 5.3.2 Incidência fúngica                                                | 29        |
| 5.3.3 Peso de mil grãos                                                 | 30        |
| 5.3.4 Renda de benefício                                                | 30        |
| 5.3.5 Rendimento de grãos inteiros                                      | 31        |
| 5.3.6 Perfil colorimétrico                                              | 32        |
| 5.3.7 Perfil branquimétrico                                             | 32        |
| 5.3.8 Tempo de Cocção                                                   | 33        |
| 5.3.9 Rendimento gravimétrico e volumétrico                             | 33        |
| 5.3.10 Índice de acidez                                                 | 33        |
| 5.3.11 Propriedades viscoamilográficas (RVA)                            | 34        |
| 5.4 Análise Estatística                                                 | 35        |

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>6 Resultados e discussão.....</b>                                           | <b>35</b> |
| 6.1 Condições ambientais externas durante o armazenamento .....                | 35        |
| 6.2 Variação de umidade dos grãos .....                                        | 36        |
| 6.3 Infestação de <i>Sitophilus oryzae</i> durante o armazenamento .....       | 38        |
| 6.4 Rendimento industrial e qualidade física.....                              | 39        |
| 6.5 Perfil branquimétrico e colorimétrico .....                                | 48        |
| 6.6 Características de cocção e rendimento .....                               | 56        |
| 6.7 Qualidade química e biológica: índice de acidez e incidência fúngica ..... | 61        |
| 6.8 Perfil viscoamilográfico (RVA) .....                                       | 66        |
| 6.9 Análise multivariada das variáveis de qualidade do arroz armazenado .....  | 69        |
| <b>7 Considerações finais e conclusões.....</b>                                | <b>72</b> |
| <b>8 Referências .....</b>                                                     | <b>73</b> |

## 1 Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos alimentos mais consumidos no mundo, desempenhando um papel crucial tanto na nutrição humana quanto na economia global. Além de ser essencial para a segurança alimentar, o cereal constitui uma importante fonte de renda para milhões de agricultores. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024), a produção brasileira de arroz na safra 2023/2024 foi estimada em 10,59 milhões de toneladas, com destaque para a produção de arroz irrigado, que somou 9,74 milhões de toneladas. O Rio Grande do Sul, o maior produtor nacional, respondeu por aproximadamente 7,15 milhões de toneladas, apesar das perdas causadas pelas inundações.

No processo produtivo, o grau de umidade no momento da colheita é um fator determinante para a qualidade final do arroz. De acordo com as Recomendações Técnicas da Pesquisa para Arroz Irrigado (SOSBAI, 2022), a faixa ótima de umidade para a colheita situa-se entre 24% e 20%. Colheitas realizadas com umidade muito elevada podem resultar em características indesejáveis, como grãos imaturos, verdes, malformados e com aspecto gessado. Por outro lado, níveis muito baixos de umidade na colheita podem ocasionar quebras nos grãos, degrane natural, aumento do acamamento, ataques de pragas e redução no rendimento de grãos inteiros (Smiderle e Dias, 2011).

A eficiência no manejo pós-colheita, incluindo etapas como transporte, secagem e armazenamento, é fundamental para garantir que o arroz chegue ao consumidor com qualidade, minimizando perdas e assegurando a segurança alimentar. Entre essas etapas, a secagem desempenha um papel crucial, reduzindo a umidade dos grãos a níveis seguros para preservar sua qualidade durante o armazenamento e prolongar a vida de prateleira. Para fins de comercialização, recomenda-se que o arroz apresente uma umidade de até 13% (MAPA, 2009).

Para otimizar os processos em períodos de alta demanda, como no pico da safra, adota-se a secagem parcial, também conhecida como secagem escalonada ou pré-secagem. Nesse método, os grãos são inicialmente secos até atingirem cerca de 16% de umidade e, em seguida, armazenados em condições controladas, com temperaturas reduzidas. Posteriormente, fora do período de pico da safra, a secagem

é finalizada até que os grãos atinjam os níveis ideais para armazenamento, com umidade final geralmente entre 12% e 13%. Esse procedimento minimiza perdas durante o transporte e o período de espera, assegurando maior eficiência no fluxo logístico (Goneli, 2021).

Os grãos, por sua natureza higroscópica e pelas características de sua estrutura porosa, que permitem a presença de ar intersticial ou intergranular, possuem a capacidade de ceder ou absorver água do ambiente, buscando alcançar o equilíbrio com este. O equilíbrio higroscópico é estabelecido pela interação entre a pressão de vapor da água nos grãos e a pressão de vapor do ambiente, sendo atingido quando há igualdade na taxa de transferência de vapor d'água entre o grão e o meio externo. De maneira geral, a umidade dos grãos tende a equilibrar-se com a umidade relativa e a temperatura do ar circundante (Choi, Lanning e Siebenmorgen, 2010).

As preferências de consumo desempenham um papel importante nas práticas industriais e nos parâmetros de qualidade do arroz. No Brasil, o arroz polido da classe longo fino (agulhinha) é amplamente preferido, destacando-se por sua maior estabilidade ao armazenamento, translucidez, maciez, soltabilidade e sabor suave após a cocção. Essas características influenciam diretamente a escolha de cultivares e promovem adaptações nos processos de beneficiamento para atender às exigências do mercado (Oliveira, Pegoraro e Viana, 2020). Entre os principais atributos de qualidade valorizados estão o rendimento de grãos inteiros, o grau de brancura e a textura após a cocção, todos diretamente relacionadas à composição do amido, o principal constituinte do arroz.

O amido, formado por amilose e amilopectina, desempenha um papel fundamental na absorção de água durante a cocção, influenciando diretamente as propriedades físico-químicas e, conseqüentemente, a qualidade final do arroz cozido (Zhu *et al.*, 2017). No Brasil, assim como em grande parte da América Latina, os principais genótipos cultivados pertencem à subespécie *indica*, caracterizada por grãos longos e alto teor de amilose. Essa composição atende às preferências regionais por um arroz cozido não pegajoso, consolidando-se como referência de qualidade para o mercado local.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar as alterações na qualidade do arroz ao longo do tempo de armazenamento, considerando diferentes condições de umidade relativa (65%, 75% e 85%) e níveis iniciais de umidade dos grãos (10,2% e 14,5%), com enfoque na quebra técnica, no desempenho industrial e na qualidade de cocção.

### **2.2 Objetivos específicos**

Avaliar o efeito combinado do tempo de armazenamento, da umidade relativa do ar e da umidade inicial dos grãos sobre a quebra técnica, a renda de benefício, o rendimento de grãos inteiros e o peso de mil grãos (PMG) após o beneficiamento.

Caracterizar as alterações físico-químicas do arroz armazenado sob diferentes condições de umidade relativa e umidade inicial dos grãos, com ênfase na incidência fúngica, índice de acidez e mudanças nos parâmetros colorimétricos e branquimétricos.

Investigar o impacto do tempo de armazenamento, da umidade relativa e da umidade inicial dos grãos na qualidade de cocção do arroz, considerando o rendimento gravimétrico e volumétrico.

Analisar as propriedades viscoamilográficas (RVA) do arroz armazenado, buscando identificar alterações nas características do amido em função do tempo de armazenamento, da umidade relativa e umidade inicial dos grãos.

## **3 Hipóteses**

O arroz armazenado sob condições de 65% de umidade relativa mantém, ao longo de 12 meses, uma qualidade semelhante à observada no início do armazenamento.

O armazenamento em ambientes com umidade relativa elevada (85%) favorece uma maior proliferação de fungos em comparação com ambientes de menor umidade relativa.

A velocidade de equilíbrio higroscópico do arroz é mais elevada em ambientes mais secos (65% UR) do que em ambientes úmidos (85% UR).

O amarelecimento visível dos grãos de arroz ocorre a partir do sexto mês de armazenamento sob condições de alta umidade relativa (85%).

## **4 Revisão Bibliográfica**

### **4.1 Importância do arroz**

O arroz desempenha um papel fundamental na segurança alimentar global, sendo a base alimentar para cerca de 2,5 bilhões de pessoas. Sua produção e consumo abrangem todos os continentes, com destaque para a Ásia, onde aproximadamente 90% da produção mundial é cultivada e consumida. No Brasil, o arroz é um componente essencial da dieta, fornecendo uma parcela significativa de calorias e proteínas, especialmente para a população de baixa renda. O país se destaca como o maior produtor de arroz fora da Ásia, com ênfase nas regiões Sul, particularmente no estado do Rio Grande do Sul, que é responsável por mais de 70% da produção nacional (Silva e Wander, 2023).

O Rio Grande do Sul é um dos principais centros produtores de arroz no Brasil, desempenhando um papel estratégico na economia estadual e nacional. A cadeia produtiva do arroz possui grande relevância tanto para o mercado interno quanto para as exportações, gerando milhares de empregos diretos e indiretos, impulsionando o desenvolvimento rural e movimentando bilhões de reais anualmente. Segundo o Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), a safra 2022/2023 no estado alcançou 7,197 milhões de toneladas, reafirmando a posição do estado como um pilar para a segurança alimentar e o desenvolvimento socioeconômico nacional (IRGA, 2024).

Além de sua importância nutricional, o arroz possui um valor cultural significativo no Brasil, sendo tradicionalmente consumido com feijão, formando a base da alimentação brasileira. Essa combinação não apenas oferece um perfil nutricional equilibrado, mas também está profundamente enraizada na cultura e história do país (EMBRAPA, 2021). Em síntese, o arroz é um alimento de importância estratégica, tanto no Brasil quanto no mundo, desempenhando papéis cruciais na segurança alimentar, na economia e na cultura, além de ser uma fonte indispensável de nutrientes para bilhões de pessoas.

### **4.6 Parâmetros de qualidade na indústria do arroz**

A qualidade dos grãos de arroz é avaliada principalmente com base em propriedades físicas, como o rendimento de grãos inteiros, tamanho, formato e coloração dos grãos, bem como em características químicas, como o teor de amilose, temperatura de gelatinização, viscosidade e aroma. Além disso, as propriedades nutricionais, incluindo a presença de micronutrientes, digestibilidade, teor de proteínas

e lipídeos, desempenham um papel essencial na definição da qualidade (Shah *et al.*, 2020). Entre os parâmetros mais relevantes destacam-se a qualidade de cozimento e consumo, aspectos que são fundamentais tanto para atender às expectativas dos consumidores quanto para determinar os preços do arroz no mercado.

A variabilidade na qualidade de cozimento do arroz exemplifica a diversidade existente entre diferentes variedades, refletindo as preferências específicas dos mercados consumidores. Esses parâmetros são amplamente influenciados por propriedades físico-químicas do amido, como a temperatura de gelatinização, o teor aparente de amilose e a consistência do gel (Wang *et al.*, 2015). Tais propriedades constituem padrões fundamentais que impactam diretamente a aceitação pelos consumidores e o valor econômico das variedades de arroz, com implicações significativas tanto para a indústria nacional quanto para os mercados internacionais.

No Brasil, os parâmetros de qualidade do arroz destinado à indústria são regulamentados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) por meio das Instruções Normativas nº 6/2009 e nº 2/2012, que estabelecem critérios de identidade e qualidade para a classificação do arroz. Essas normativas abrangem aspectos como grupos, subgrupos, classes e tipos, além de parâmetros técnicos, como renda de benefício, rendimento de grãos inteiros, incidência de defeitos e dimensões dos grãos (MAPA, 2009, 2012). Para que o arroz seja considerado de boa qualidade, é essencial que os grãos apresentem uma renda de benefício entre 68 e 72%, além de um rendimento de inteiros superior a 60%. Adicionalmente, atributos como grau de brancura, rendimento, soltabilidade após a cocção, sabor e aroma são determinantes para a aceitação pelos consumidores e para a valorização do arroz no mercado interno e externo (Vanier, 2022).

A crescente qualidade do arroz brasileiro tem sido um fator determinante para o aumento das exportações para os mercados internacionais. Em 2024, o Brasil exportou 1 milhão de toneladas de arroz beneficiado e um volume total de 1,4 milhão de toneladas, considerando também o arroz em casca. Grande parte dessas exportações foi destinada a países da América Latina, como Peru, República Dominicana, Cuba, México, Paraguai e Uruguai. Além disso, mercados importantes como Estados Unidos, Cabo Verde, Arábia Saudita, Trinidad e Tobago e Países Baixos também se destacaram como destinos relevantes. O estado do Rio Grande do Sul, principal polo produtor, respondeu por 69,9% das exportações brasileiras de arroz,

reafirmando sua importância estratégica no setor (ABIARROZ, 2024; SINDARROZ-RS, 2024).

#### **4.2 Umidade de colheita e necessidade de secagem**

A umidade dos grãos no momento da colheita está diretamente relacionada à qualidade e ao rendimento industrial do arroz. A realização da colheita em níveis inadequados de umidade pode comprometer significativamente a qualidade do produto final, resultando em menor rendimento, redução na capacidade de conservação e maior incidência de defeitos, como fissuras e manchas nos grãos. Esses problemas tendem a agravar-se durante o armazenamento, impactando negativamente o valor comercial do arroz. Para a maioria das variedades, o grau de umidade ideal para a colheita situa-se entre 24% e 20%, faixa que favorece não apenas a qualidade dos grãos, mas também a eficiência do processo de secagem subsequente (SOSBAI, 2022).

Após a colheita, o arroz apresenta, frequentemente, elevados teores de umidade e impurezas, tornando a secagem uma etapa indispensável no manejo pós-colheita. Essa prática visa reduzir o grau de umidade dos grãos para níveis seguros, geralmente entre 12% e 14%, garantindo sua qualidade durante o armazenamento e prolongando sua vida útil, além de possibilitar o máximo rendimento industrial (Amato e Elias, 2005). A secagem é fundamental para preservar a qualidade dos grãos em aspectos como aparência, valor nutricional e desempenho industrial, que são essenciais para atender às exigências do mercado consumidor e evitar perdas significativas ao longo da cadeia produtiva.

A secagem de grãos pode ser realizada por diversos métodos, desde os tradicionais, como o estacionário, intermitente, por seca-aeração ou contínuo, até os sistemas mais modernos, como os sequenciais e escalonados. Esses métodos podem empregar ar não aquecido, também denominado secagem com ar natural ou ambiente, ou ar aquecido, conhecido como secagem artificial, forçada ou com ar quente. Independentemente do método utilizado, é fundamental priorizar a preservação das propriedades dos grãos, evitando danos térmicos, mecânicos ou choques que possam comprometer sua integridade (Elias *et al.*, 2021). Para isso, é indispensável o controle rigoroso de parâmetros técnicos, como temperatura e fluxo de ar, assegurando a qualidade dos grãos durante o armazenamento e sua vida útil.

### 4.3 Secagem parcial

A secagem parcial, também conhecida como secagem escalonada, é uma técnica empregada para reduzir gradualmente a umidade dos grãos, secando-os inicialmente até níveis entre 16% e 15%, em vez de realizar a secagem completa diretamente até 12%. Após essa etapa inicial, os grãos são transferidos para silos aerados, preferencialmente equipados com sistemas de resfriamento, onde permanecem armazenados com circulação de ar ambiente ou refrigerado até o término da colheita. Esse método é especialmente adotado pela sua capacidade de ampliar a recepção de grãos sem exigir expansão da infraestrutura de secagem existente, oferecendo maior eficiência logística operacional (Elias *et al.*, 2021).

No Brasil, a insuficiência da infraestrutura de armazenagem, aliada às longas filas de caminhões durante os picos de safra, tem incentivado o uso da secagem parcial como uma solução prática e eficiente. Esse processo auxilia em um armazenamento mais seguro dos grãos até a conclusão da secagem final, otimizando a logística e minimizando perdas durante o transporte e a recepção, especialmente em períodos de alta demanda (Goneli, 2021).

Apesar das vantagens logísticas, a secagem parcial apresenta desafios relacionados à preservação da qualidade dos grãos durante o armazenamento. A umidade residual presente nos grãos pode favorecer processos metabólicos que, se não forem adequadamente controlados, aumentam o risco de deterioração. Por isso, é essencial que essa prática seja acompanhada de monitoramento e controle rigorosos, visando prevenir perdas qualitativas e quantitativas e assegurar que os grãos permaneçam em boas condições até a secagem final, preservando sua qualidade e valor comercial (Ziegler, Paraginski e Ferreira, 2021).

### 4.4 Efeitos da umidade dos grãos e temperatura na durabilidade do arroz

A umidade dos grãos e a temperatura são fatores determinantes para a durabilidade e a qualidade durante o armazenamento. Altas temperaturas e níveis elevados de umidade aumentam a atividade respiratória dos grãos e de microrganismos, acelerando os processos de deterioração e comprometendo significativamente a qualidade do produto (Prakash *et al.*, 2019). Em particular, a alta umidade favorece o desenvolvimento de fungos e insetos devido à maior disponibilidade de água, prejudicando não apenas a qualidade, mas também reduzindo o rendimento de grãos inteiros e afetando negativamente o valor comercial

do produto. Além disso, temperaturas elevadas intensificam o crescimento de fungos e contribuem para a descoloração dos grãos, agravada por períodos prolongados de armazenamento (Shad, Steen e Atungulu, 2019).

Por outro lado, temperaturas mais baixas retardam o crescimento de fungos, contribuindo significativamente para a preservação da qualidade e o aumento da durabilidade dos grãos. O controle rigoroso dessas variáveis, tanto da temperatura quanto da umidade, é indispensável para minimizar perdas, preservar o valor comercial e nutricional e garantir a viabilidade dos grãos durante o armazenamento a longo prazo (Prakash *et al.*, 2019; Shad, Steen e Atungulu, 2019). Assim, o manejo adequado dessas condições deve ser priorizado para mitigar impactos negativos no arroz e assegurar sua qualidade ao longo do tempo.

Além dos impactos diretos causados pela umidade e temperatura, as perdas observadas durante o armazenamento de grãos podem ser classificadas em quantitativas e qualitativas. As perdas quantitativas decorrem da redução do peso (quebra técnica) e do teor de umidade dos grãos, resultantes do processo de respiração e da busca pelo equilíbrio higroscópico. Por outro lado, as perdas qualitativas comprometem o sabor, o odor, o valor nutricional e os metabólitos dos grãos, além de impactarem parâmetros fisiológicos, como germinação e vigor. Esses fatores, aliados ao aumento no risco de contaminação por micotoxinas, contribuem para a desvalorização do produto no mercado (Ziegler, Paraginski e Ferreira, 2021).

#### **4.5 Equilíbrio higroscópico**

A higroscopia é uma propriedade essencial do arroz, relacionada à sua capacidade de absorver ou liberar água para alcançar o equilíbrio com o ambiente. Esse equilíbrio, influenciado pela umidade relativa e pela temperatura do ar, depende da porosidade e da estrutura dos grãos, especialmente da casca e do endosperma. Durante o armazenamento, essa característica desempenha um papel crucial na preservação da qualidade dos grãos, evitando problemas como deterioração por fungos ou germinação indesejada. Para orientar o manejo adequado, são amplamente utilizadas tabelas de equilíbrio higroscópico específicas, que asseguram um produto final de alta qualidade, atendendo aos padrões de mercado e garantindo a segurança alimentar (Wendt, 2021).

A umidade de equilíbrio do arroz em casca é diretamente influenciada pela umidade relativa e pela temperatura. O aumento na umidade relativa promove maior

absorção de água, enquanto temperaturas elevadas reduzem o teor de água de equilíbrio, devido à menor estabilidade da água nos grãos e à facilidade de vaporização. Esse comportamento reforça a relevância de práticas como a aeração controlada, que ajusta a umidade dos grãos de acordo com as condições do ar, reduzindo os riscos de desenvolvimento de microrganismos em ambientes com alta umidade ou a fragilidade dos grãos em ambientes mais secos (Wendt, 2021; Zeymer, 2017).

## **5 Material e métodos**

### **5.1 Materiais**

Foram utilizados grãos de arroz em casca (*Oryza sativa* L.), da cultivar IRGA 424 RI, amplamente cultivada no Sul do Brasil. As amostras foram provenientes do safra 2022/23, colhidas no estado do Rio Grande do Sul. Após a recepção, os grãos foram limpos manualmente para a remoção de impurezas visíveis e a umidade foi inicialmente estimada pelo determinador eletrônico (G939, Gehaka), sendo posteriormente determinada de forma exata pelo método padrão em estufa. Em seguida, os grãos foram acondicionados em sacos de tecido permeável previamente tarados, pesados em balança de precisão e colocados no interior dos recipientes herméticos destinados ao armazenamento.

O descascamento e beneficiamento foram realizados em um engenho de provas em escala piloto (PAZ-1-DTA, Zaccaria, Brasil). Para as análises de índice de acidez e propriedades viscoamilográficas (RVA), os grãos de arroz foram moídos em um moinho de laboratório (Perten 3100, Perten Instruments, Hägersten, Suécia), equipado com uma peneira de malha 70 (210  $\mu$ m). Todas as análises foram realizadas nos seguintes laboratórios da Universidade Federal de Pelotas (UFPel): Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos (LabGrãos) e Laboratório de Análise Instrumental de Matérias-Primas e Produtos Alimentícios (LAIMPPA).

Para o controle da umidade relativa durante o armazenamento, utilizaram-se soluções saturadas de sais de grau analítico: nitrito de sódio ( $\text{NaNO}_2$ ), cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ) e cloreto de potássio ( $\text{KCl}$ ), adquiridos em lojas especializadas. Os sais foram dispostos em potes abertos, colocados no interior de recipientes herméticos, criando ambientes com UR de 65%, 75% e 85%, respectivamente, conforme suas propriedades higroscópicas descritas na literatura. O preparo detalhado dessas soluções está descrito no item 5.2.2.

## 5.2 Métodos

### 5.2.1 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado para a avaliação das características físicas, tecnológicas e qualitativas do arroz em casca durante o armazenamento está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Arranjo fatorial e variáveis avaliadas no armazenamento do arroz

| Variáveis independentes |               |         |        | Variáveis dependentes                 |
|-------------------------|---------------|---------|--------|---------------------------------------|
| Trat.                   | Tempo (meses) | Uia (%) | UR (%) |                                       |
| 1                       | 0             | 10.2    | 65     | Perda de massa                        |
| 2                       | 3             | 14.5    | 75     | Incidência Fúngica                    |
| 3                       | 6             |         | 85     | Peso de mil Grãos (PMG)               |
| 4                       | 9             |         |        | Rendimento de Grãos Inteiros          |
| 5                       | 12            |         |        | Perfil Colorimétrico                  |
| ...                     |               |         |        | Perfil Branquimétrico                 |
| ...                     |               |         |        | Tempo de Cocção                       |
| ...                     |               |         |        | Rendimento Gravimétrico e Volumétrico |
| ...                     |               |         |        | Índice de Acidez                      |
| 26                      |               |         |        | Propriedades viscoamilográficas (RVA) |

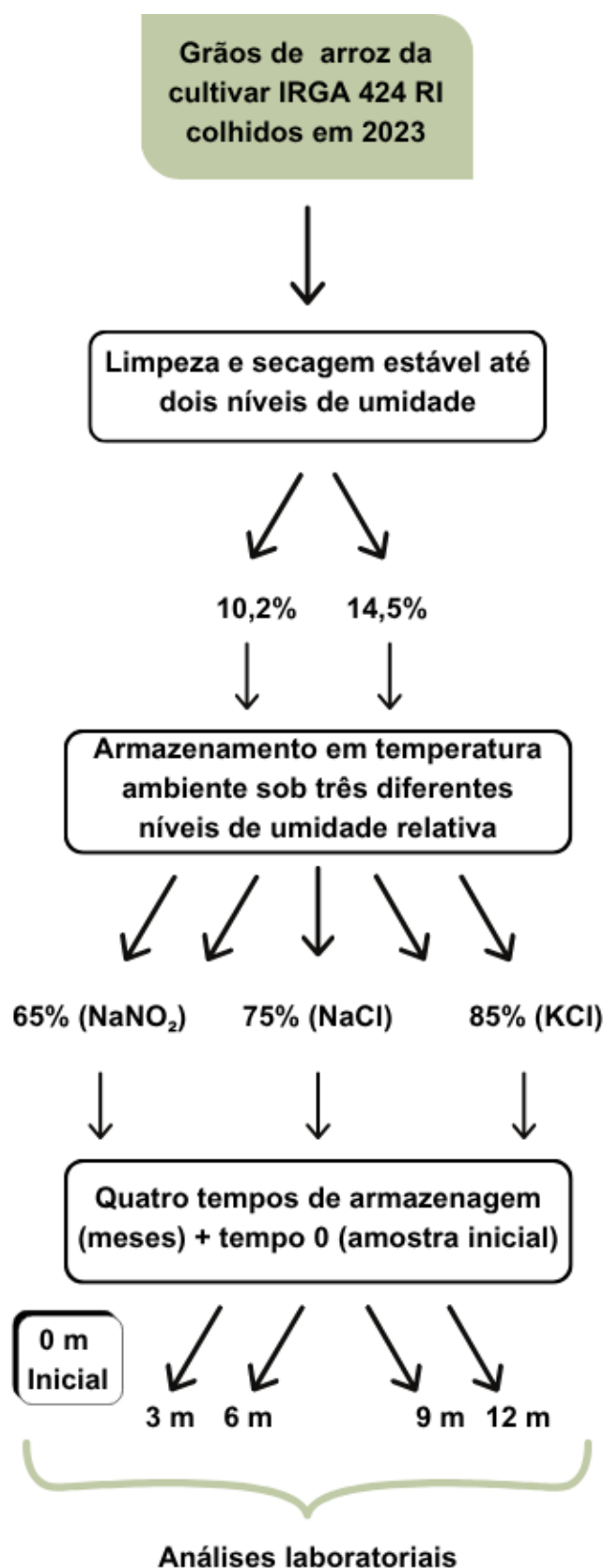
Nota: Uia = Umidade inicial do arroz; UR = Umidade relativa do ar

O experimento foi conduzido em um arranjo fatorial  $3 \times 2 \times 4$ , considerando três níveis de umidade relativa do ar (65%, 75% e 85%), dois níveis de umidade inicial dos grãos (10,2% e 14,5%) e quatro tempos de armazenamento (3, 6, 9 e 12 meses), totalizando 24 combinações. Adicionalmente, foram incluídas duas amostras referentes ao tempo inicial (0 meses), uma para cada nível de umidade inicial dos grãos, que não foram submetidas ao armazenamento com controle de UR, totalizando 26 tratamentos. Todas as análises foram realizadas em triplicata para cada combinação de fatores.

As amostras do tempo zero foram incluídas como tratamento controle, representando a condição inicial dos grãos antes do início do armazenamento. Por não estarem expostas às condições de umidade relativa controlada, essas amostras serviram como referência para avaliar os efeitos das diferentes condições de armazenamento ao longo do tempo.

O delineamento experimental seguiu um fluxo organizado em etapas, desde a preparação dos grãos até o armazenamento e as análises subsequentes, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma ilustrativo do delineamento experimental



### 5.2.2 Armazenamento das amostras

As amostras de arroz em casca foram armazenadas em recipientes herméticos, mantidos em ambiente iluminado e seco no Laboratório de Pós-Colheita (LabGrãos), com temperatura e umidade monitoradas durante todo o experimento (Figura 2). No interior de cada recipiente, os grãos foram acondicionados em sacos de tecido permeável (90 g por saco), totalizando oito sacos por recipiente — quatro com grãos de 10,2% e quatro com 14,5% de umidade inicial — totalizando 36 recipientes.

Para a manutenção de diferentes condições de umidade relativa (UR) no interior dos recipientes de armazenamento, foram utilizadas soluções salinas saturadas preparadas com base na solubilidade dos sais em água destilada. Os sais escolhidos e suas respectivas umidades relativas-alvo foram: nitrato de sódio ( $\text{NaNO}_2$ ) para UR de 65%, cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ) para UR de 75% e cloreto de potássio ( $\text{KCl}$ ) para UR de 85%, conforme descrito na literatura para controle de atmosfera estática em sistemas fechados.

As quantidades de sal necessárias para 300 mL de água destilada foram determinadas por cálculo proporcional com base nas seguintes solubilidades máximas:

- $\text{NaCl}$ : 360 g/L
- $\text{KCl}$ : 350 g/L
- $\text{NaNO}_2$ : 820 g/L

Os valores estimados foram arredondados para cima, visando garantir a saturação das soluções, conforme segue:

- $\text{NaCl}$ : 108 g calculados → 120 g de  $\text{NaCl}$  em 300 mL de água destilada;
- $\text{KCl}$ : 105 g calculados → 120 g de  $\text{KCl}$  em 300 mL de água destilada;
- $\text{NaNO}_2$ : 246 g calculados → 260 g de  $\text{NaNO}_2$  em 300 mL de água destilada.

Após a pesagem em balança analítica, os sais foram adicionados gradualmente à água destilada sob agitação manual até o ponto de saturação, evidenciado pela presença de sal residual não dissolvido. As soluções foram então transferidas para potes plásticos abertos, posicionados no fundo dos recipientes de armazenamento, permitindo a troca de vapor com o ar interno e o estabelecimento da umidade relativa de equilíbrio no sistema fechado.

### 5.2.3 Monitoramento das temperaturas e umidades relativas

O monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar (UR), tanto internas quanto externa, foi realizado ao longo de todo o experimento com o uso de um termo-higrômetro duplo (AKSO, modelo AK29), devidamente calibrado. Os sensores foram posicionados no interior dos recipientes de armazenamento e em pontos representativos do ambiente externo, permitindo o registro contínuo das variações ambientais.

As medições foram realizadas diariamente, e os dados coletados foram utilizados para o cálculo das médias de temperatura e umidade relativa. Para fins de apresentação gráfica, os resultados foram organizados em médias trimestrais e estão disponíveis na Figura 3.

### 5.2.4 Umidade dos grãos

O grau de umidade dos grãos foi determinado pelo método padrão de estufa a 105 °C por 24 horas, conforme estabelecido pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). As análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos em porcentagem de base úmida (%b.u.).

As medições foram realizadas tanto na etapa inicial, para caracterização das amostras, quanto após cada período de armazenamento. Os recipientes foram abertos em intervalos de três meses (3, 6, 9 e 12 meses), e a umidade foi avaliada para cada condição experimental, considerando as combinações de umidade relativa interna (65%, 75% e 85%) e umidade inicial dos grãos (10,2% e 14,5%).

Os resultados obtidos por meio dessa metodologia permitiram acompanhar a variação do grau de umidade dos grãos ao longo do armazenamento, conforme apresentado na Figura 3.

### 5.2.5 Quantificação de *Sitophilus oryzae* durante o armazenamento

A quantificação de gorgulhos adultos (*Sitophilus oryzae*) foi realizada nas amostras armazenadas sob diferentes combinações de umidade relativa e umidade inicial dos grãos, nos tempos de 0, 3, 6, 9 e 12 meses. A contagem foi feita visualmente após a retirada dos grãos dos recipientes, permitindo avaliar a infestação natural ao longo do tempo. Os resultados estão apresentados na Figura 4.

### 5.3 Análises

#### 5.3.1 Perda de massa

A perda de massa, também denominada quebra técnica dos grãos, foi determinada com base na diferença entre o peso inicial dos grãos antes do armazenamento e o peso final após o período de armazenamento, considerando os teores de umidade. Para assegurar que a variação de massa refletisse exclusivamente as perdas reais de matéria seca, foi realizado o ajuste de umidade dos grãos utilizando a fórmula:

$$Peso\ ajustado = \frac{P_i \times (100 - U_i)}{100 - U_f}$$

Onde:

$P_i$  = peso inicial do arroz (g);

$U_i$  = umidade inicial dos grãos (%);

$U_f$  = umidade final dos grãos (%).

Com base no valor ajustado, a quebra técnica (%) foi calculada conforme a seguinte expressão:

$$Quebra\ técnica\ (\%) = \frac{(P\ ajustado - P_f) \times 100}{P\ ajustado}$$

Onde:

$P\ ajustado$  = peso do arroz ajustado para umidade final (g);

$P_f$  = peso final do arroz (g).

As análises foram realizadas em triplicata, e os resultados expressos em porcentagem (%), com base no peso de matéria seca.

#### 5.3.2 Incidência fúngica

A incidência fúngica foi avaliada em 400 grãos por tratamento, conforme as Regras para Análise de Sementes, utilizando o método de incubação em substrato de papel, também conhecido como método do papel de filtro ou “blotter test” (Brasil, 2009).

As sementes foram dispostas sobre folhas de papel mata-borrão umedecidas, dentro de gerboxes transparentes, incubadas sob luz fluorescente branca, com fotoperíodo de 12 horas, durante 7 dias, à temperatura de  $20 \pm 2$  °C.

Após o período de incubação, os grãos foram avaliados individualmente. A identificação das espécies fúngicas foi realizada com base na observação das estruturas típicas de crescimento dos fungos, como conidióforos com conídios e corpos de frutificação, utilizando um estereomicroscópio e um microscópio óptico.

Foram avaliadas as incidências dos principais fungos associados à cultura do arroz, com ênfase nas espécies mais relevantes devido ao impacto na qualidade dos grãos. Entre os fungos de campo, destacaram-se *Alternaria* spp., *Cladosporium* spp. e *Fusarium* spp., enquanto os fungos de armazenamento foram representados principalmente por *Aspergillus* spp. E *Penicillium* spp..

Esses grupos foram o foco da análise, por serem os mais importantes para a cultura do arroz em termos de impacto fitopatológico e qualidade pós-colheita. Outros gêneros, como *Epicoccum* spp., *Rhizopus* spp. e *Curvularia* spp., também foram registrados, mas não analisados com maior profundidade.

Os resultados foram expressos em percentual de ocorrência, com base no número de sementes infectadas em relação ao total analisado.

### **5.3.3 Peso de mil grãos**

O peso de mil grãos (PMG) das amostras de arroz foi determinado utilizando um contador eletrônico de sementes (Comp Sanick, ESC 2011, Brasil), com 10 repetições de 100 grãos cada.

Após a contagem, os grãos de cada repetição foram pesados em uma balança eletrônica digital com precisão de 0,01 g. Os valores obtidos foram multiplicados por 10, a fim de calcular o peso correspondente a 1000 grãos, conforme o método descrito pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

### **5.3.4 Renda de benefício**

A renda de benefício foi calculada com base na razão entre a massa total de arroz polido obtido após o beneficiamento e o peso inicial da amostra, desconsiderando os grãos marinheiros. Dessa forma, o cálculo considera apenas o material efetivamente processado.

A equação utilizada para o cálculo da renda de benefício foi:

$$\text{Renda de benefício (\%)} = \frac{GP}{PI - GM} \times 100$$

Onde:

GP = massa dos grãos polidos (g);

PI = massa inicial da amostra de arroz em casca (g);

GM = massa dos grãos marinheiros (g).

Esse parâmetro é amplamente utilizado na indústria orizícola para estimar o aproveitamento comercial do grão. Ele reflete diretamente a eficiência do processo de beneficiamento, ao considerar exclusivamente o arroz que passou pelas etapas de descascamento e polimento.

### 5.3.5 Rendimento de grãos inteiros

Para determinar o rendimento de grãos inteiros, amostras de 100 g de arroz em casca foram descascadas utilizando o Engenho de Provas Zaccaria (Modelo PAZ-1-DTA, Zaccaria, Brasil). Em seguida, os grãos passaram pelo processo de polimento, com duração de 60 segundos.

Após o polimento, os grãos inteiros e quebrados foram separados utilizando um *trieur* (cilindro alveolado), permitindo o cálculo do percentual de grãos inteiros com base no peso, em relação ao total de grãos efetivamente polidos.

O cálculo foi realizado conforme a seguinte equação:

$$\text{Grãos inteiros (\%)} = \frac{GI}{PI - GM} \times 100$$

Onde:

GI = massa dos grãos inteiros (g);

PI = massa inicial da amostra de arroz em casca (g);

GM = massa dos grãos marinheiros (g).

### 5.3.6 Perfil colorimétrico

As alterações na cor nos grãos de cada tratamento, foram avaliadas utilizando um colorímetro Minolta (modelo CR-310, Osaka, Japão), que realiza medições baseadas em um sistema tridimensional de cores.

A análise considera três eixos:

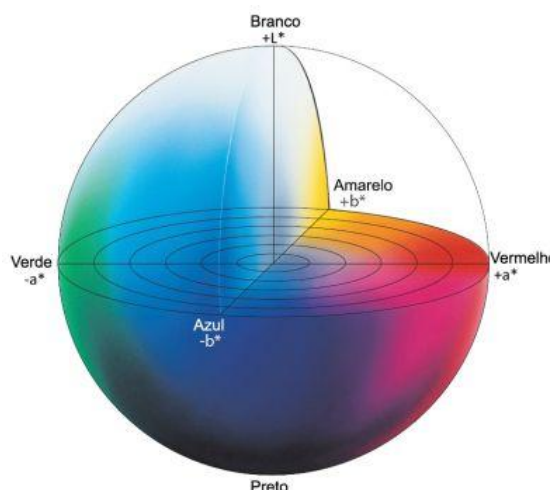
$L^*$ : representa a luminosidade, variando do branco (+) ao preto (-);

$a^*$ : representa a variação entre o vermelho (+) e o verde (-);

$b^*$ : mede a transição entre o amarelo (+) e o azul (-).

A Figura 5 ilustra o sistema de cores CIELab ( $Lab^*$ ), utilizado para demonstrar a distribuição espacial das cores e facilitar a interpretação das alterações observadas nos grãos ao longo do armazenamento.

Figura 2 - Sistema tridimensional de cores ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ )



Fonte: Minolta (2016).

### 5.3.7 Perfil branquimétrico

A brancura dos grãos foi avaliada utilizando um medidor de brancura (Modelo MBZ-2, Zaccaria, Brasil). Durante a análise, os grãos foram posicionados no suporte do equipamento e inseridos na abertura superior do dispositivo.

Após a estabilização da leitura, foram registradas as medições de brancura, transparência e grau de polimento, diretamente no display do equipamento, seguindo a escala GBZ fornecida pelo próprio dispositivo.

### **5.3.8 Tempo de Cocção**

O tempo de cocção foi determinado utilizando o teste de Ranghino, conforme descrito por Mohapatra e Bal (2006) . Para o procedimento, 100 mL de água destilada foram aquecidos até 100 °C em um béquer de 250 mL. Após o início da fervura, 20 g de arroz foram adicionados, iniciando-se a contagem do tempo de cozimento a partir da imersão dos grãos na água.

Após dez minutos de cocção e a cada minuto subsequente, dez grãos eram retirados, pressionados entre duas placas de vidro limpas e avaliados. O tempo de cocção foi considerado concluído quando pelo menos 90% dos grãos não apresentavam mais o centro opaco ou sinal de grão cru.

### **5.3.9 Rendimento gravimétrico e volumétrico**

O rendimento gravimétrico e volumétrico dos grãos durante a cocção foi avaliado com base na metodologia descrita por Yadav e Jindal, (2007), com algumas modificações.

Amostras de 4,5 g de grãos polidos foram pesados em tubos Falcon de plástico de 50 mL, e a altura inicial dos grãos foi medida utilizando um paquímetro digital (Mitutoyo, Santo Amaro, SP, Brasil). Em seguida, foram adicionados 13,5 mL de água destilada aquecida, e os tubos foram transferidos para um banho-maria à temperatura de 100 °C.

Após o tempo de cocção previamente definido para cada tratamento, os tubos foram retirados e deixados em repouso por 30 minutos. Posteriormente, os tubos foram novamente pesados para a determinação do rendimento gravimétrico, enquanto a altura final dos grãos foi medida com o paquímetro para o cálculo do rendimento volumétrico.

Os resultados dos rendimentos gravimétrico e volumétrico foram expressos em porcentagem (%).

### **5.3.10 Índice de acidez**

O índice de acidez das amostras foi determinado conforme o método n°415/IV das Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz, (2008).

Para a análise, 2,5 g de farinha de arroz polido foram pesadas em frascos Erlenmeyer de 250 mL, aos quais foram adicionados 50 mL de álcool etílico. Os

frascos permaneceram em repouso por 24 horas, com a abertura vedada para evitar a evaporação do álcool.

Após esse período, 20 mL do sobrenadante de cada amostra foram coletados e transferidos para frascos Erlenmeyer de 125 mL, contendo três gotas de fenolftaleína como indicador. A titulação foi realizada utilizando solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,01 M, até o aparecimento de coloração rósea persistente.

O percentual de acidez álcool-solúvel foi calculado conforme a seguinte equação:

$$Acidez (\%) = \left( \frac{(V - V') \times f \times 100}{P \times c} \right)$$

Onde:

V = volume (mL) de NaOH 0,01 M gasto na titulação da amostra;

V' = volume (mL) de NaOH 0,01 M gasto na titulação do branco;

f = fator da solução de NaOH 0,01 M;

P = peso da amostra usado na titulação (g);

c = fator de correção de concentração (c = 100 para solução 0,01 M de NaOH e c = 10 para solução 0,1 M).

### 5.3.11 Propriedades viscoamilográficas (RVA)

As propriedades viscoamilográficas dos amidos foram avaliadas utilizando o equipamento *Rapid Visco Analyser (RVA)*, modelo RVA-4 (Newport Scientific, Austrália), utilizando o perfil *Standard Analysis 1*.

Para cada análise, 3 g de amostra foram pesadas, e inicialmente aquecidas a 50 °C por 1 minuto. Em seguida, a temperatura foi elevada para 95 °C durante 3,5 minutos, sendo mantida nesta temperatura por mais 2,5 minutos. Após essa etapa, as amostras foram resfriadas até 50 °C em 3,8 minutos, permanecendo a esta temperatura por 2 minutos adicionais.

A velocidade de rotação foi ajustada a 960 rpm nos primeiros 10 segundos, sendo reduzida para 160 rpm durante o restante do processo de análise.

Os parâmetros avaliados incluíram: viscosidade máxima, viscosidade mínima, quebra de viscosidade, viscosidade final, retrogradação, tempo de pico e temperatura de pasta. Entretanto, como a temperatura de pasta não apresentou variações

significativas entre os tratamentos, foi considerada apenas como parâmetro auxiliar e não discutida em detalhe nos resultados.

#### **5.4 Análise Estatística**

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ) e à análise de variância (ANOVA) para avaliar as interações entre os fatores experimentais, considerando interações significativas para  $p < 0,05$ .

A comparação entre médias foi realizada por meio do teste de Tukey para dados paramétricos e pelo teste de Kruskal-Wallis para dados que não atenderam à normalidade, ambos adotando nível de significância de 5%.

Além disso, foi realizada uma análise multivariada, envolvendo a Análise de Componentes Principais (ACP) e a Correlação de Pearson. Os resultados foram apresentados graficamente, facilitando a interpretação dos padrões de agrupamento entre os tratamentos.

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R, versão 4.4.1.

### **6 Resultados e discussão**

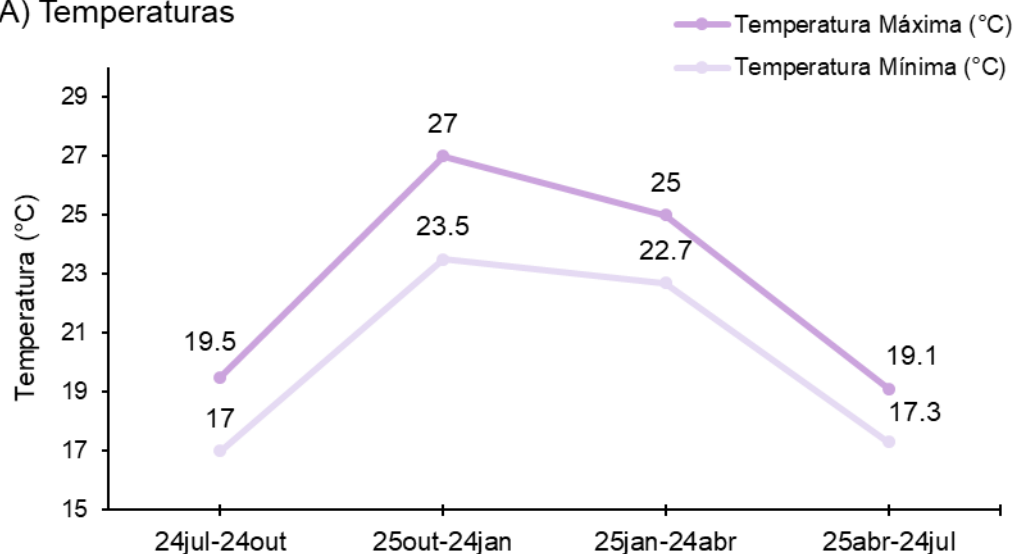
#### **6.1 Condições ambientais externas durante o armazenamento**

As temperaturas máximas e mínimas (Figura 3A) variaram entre 17,0 °C e 27,0 °C durante o armazenamento, resultando em uma média geral de aproximadamente 21,4 °C. A umidade relativa do ar (Figura 3B) oscilou entre 54,94% e 83,67% ao longo dos 12 meses.

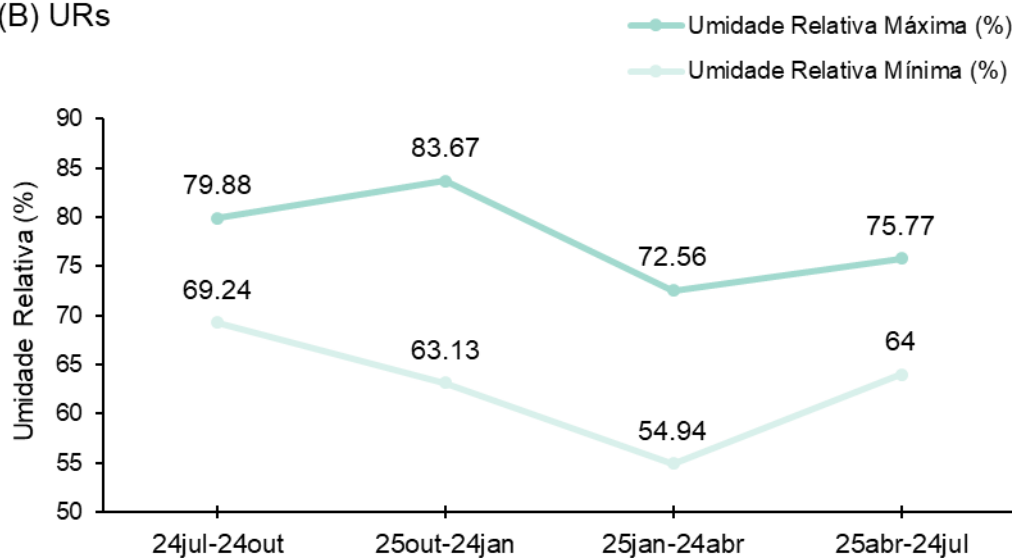
Esse comportamento reflete a variação sazonal da região Sul do Brasil, com as maiores temperaturas entre outubro e janeiro (27,0 °C) e a menor UR no trimestre seguinte, entre janeiro e abril (54,94%). Embora os dados internos não estejam apresentados, as medições indicaram que as condições dentro dos recipientes permaneceram estáveis, com as umidades relativas mantidas equivalentes ou muito próximas aos valores-alvo (65%, 75% e 85%) e temperaturas semelhantes às externas. Esses resultados confirmam a eficácia das soluções salinas no controle da atmosfera interna ao longo de todo o armazenamento.

Figura 3 – Variações de temperatura e umidade relativa externas

## (A) Temperaturas



## (B) URs

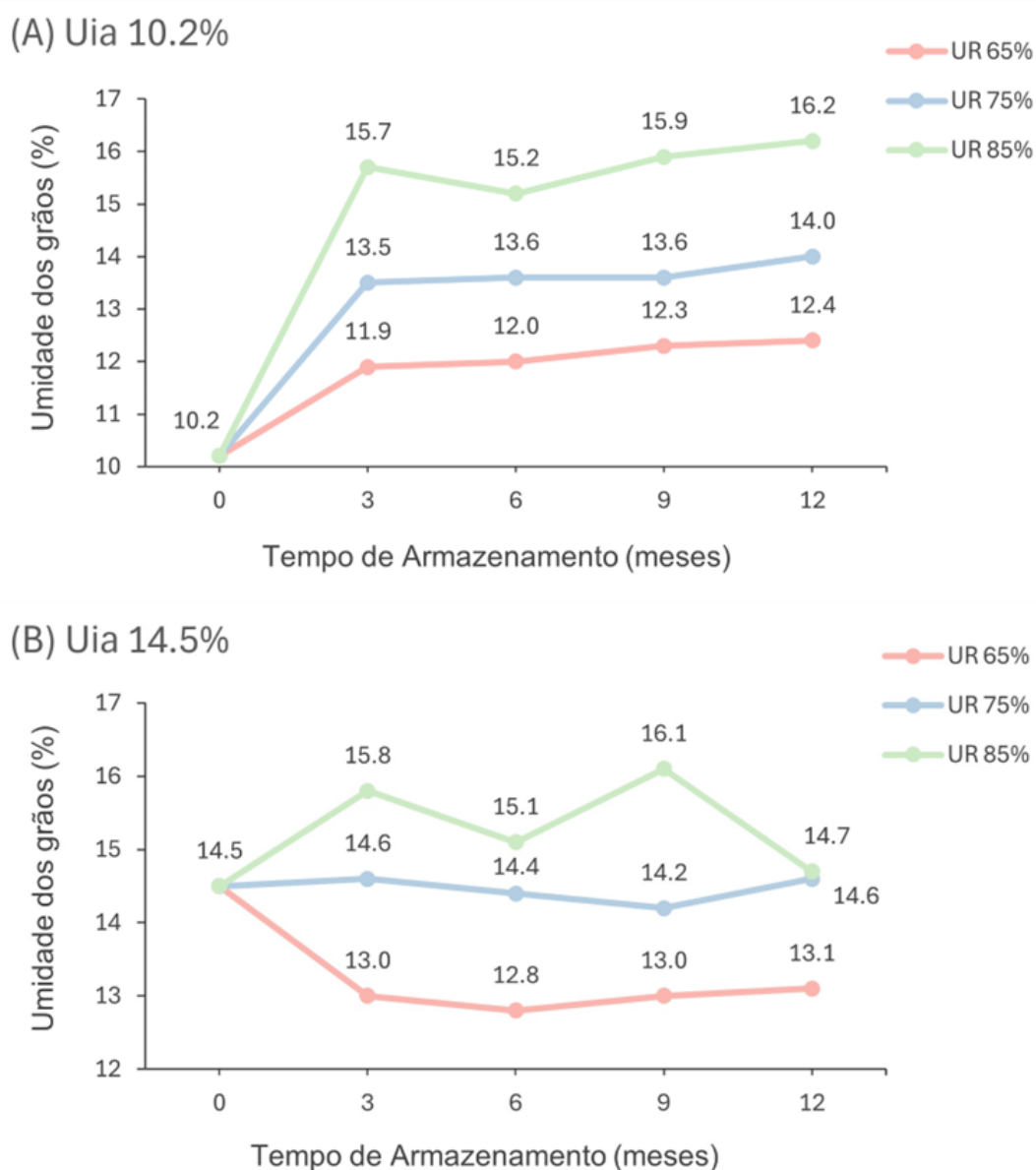
**6.2 Variação de umidade dos grãos**

A Figura 4 apresenta a variação da umidade dos grãos ao longo de 12 meses de armazenamento, sob diferentes condições de umidade relativa (UR) e dois níveis de umidade inicial (10,2% e 14,5%). Observa-se uma tendência de ganho de umidade nos grãos com Uia de 10,2%, principalmente sob UR de 85%, que atingiu 16,2% ao final do período. Sob UR de 75%, a umidade se estabilizou em torno de 13,6% a

14,0%, enquanto a condição de 65% resultou em elevação mais discreta, mantendo-se próxima de 12,4%.

Nos grãos com umidade inicial de 14,5%, verificou-se uma tendência oposta: redução da umidade sob UR de 65% (atingindo 13,1%), leve oscilação sob UR de 75% e relativa estabilidade sob UR de 85%, com valores entre 14,6% e 16,1%. Essas variações refletem o comportamento higroscópico dos grãos em busca do equilíbrio com a umidade do ambiente, influenciando diretamente sua conservação e qualidade ao longo do armazenamento.

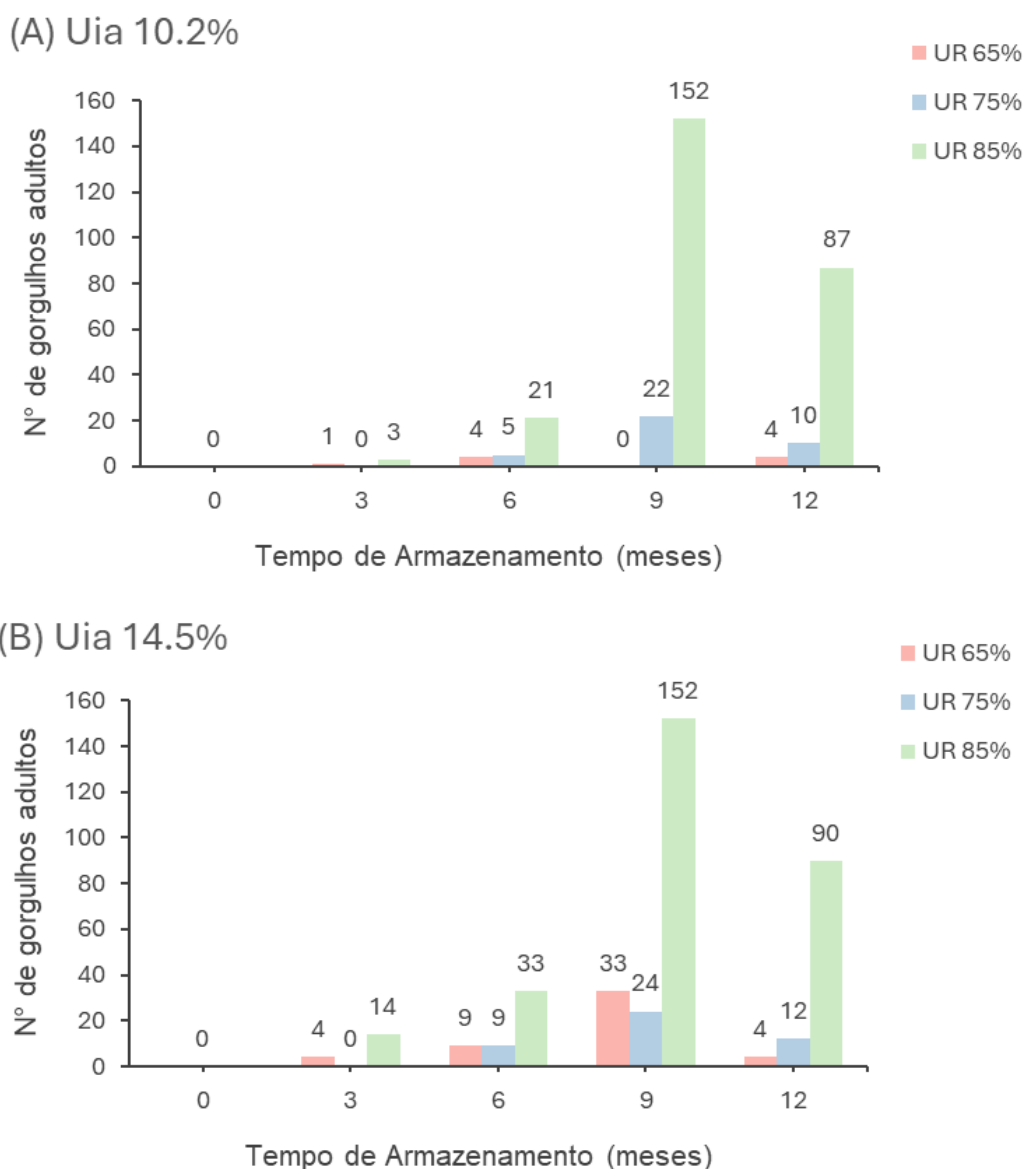
Figura 4 – Variação da umidade dos grãos ao longo do armazenamento



### 6.3 Infestação de *Sitophilus oryzae* durante o armazenamento

A infestação por *Sitophilus oryzae* (gorgulho do arroz) foi maior sob UR de 85%, independentemente da umidade inicial dos grãos. O pico populacional foi observado aos 9 meses, com 152 insetos em ambas as umidades iniciais (Figuras 5A e 5B). Em UR de 75%, a infestação foi moderada, enquanto sob UR de 65% os valores permaneceram baixos durante todo o período. Os resultados evidenciam o impacto da umidade relativa elevada no favorecimento da proliferação de insetos durante o armazenamento.

Figura 5 – População de *Sitophilus oryzae* em função do tempo e UR



#### 6.4 Rendimento industrial e qualidade física

Os resultados da perda de massa, do peso de mil grãos e da renda de benefício estão apresentados nas Figuras 6, 7 e 8, respectivamente.

A perda de massa ao longo do armazenamento foi fortemente influenciada pelo tempo, pela umidade relativa do ambiente e pela umidade inicial do arroz, com interações significativas entre esses fatores. Observou-se um crescimento gradual da perda de matéria seca, especialmente nos períodos de 9 e 12 meses. Os grãos com 10,2% de umidade inicial armazenados sob UR de 85% apresentaram as maiores quebras: 1,91% aos 9 meses e 1,65% aos 12 meses. Esse comportamento pode ser parcialmente atribuído à infestação por gorgulhos (*Sitophilus oryzae*), que contribuem para perdas diretas de matéria seca devido à alimentação. Além disso, resíduos metabólicos, como excrementos e carcaças, alteram tanto o peso quanto a qualidade dos grãos.

Ademais, a infestação pode ter intensificado a deterioração ao criar "focos quentes", elevando a temperatura e acelerando os processos de degradação, o que potencializou as quebras observadas. Esses resultados estão em consonância com o trabalho de Fontes, Almeida Filho e Arthur (2003), que investigaram os danos causados por gorgulhos em cultivares de arroz, destacando o impacto significativo da infestação na qualidade tecnológica e na perda de matéria seca do grão.

Para a condição de UR de 85% associada à umidade inicial de 14,5%, os dados dos tempos de 6 e 12 meses foram desconsiderados da análise devido à inconsistência nos valores obtidos, os quais apresentaram resultados negativos de perda de massa. Esses dados foram classificados como erro experimental, por não refletirem adequadamente o comportamento esperado da variável estudada.

Sob UR intermediária (75%), os valores de perda de massa mantiveram-se mais estáveis ao longo do tempo, atingindo máximos de 0,97% (10,2% de Uia) e 0,77% (14,5% de Uia) aos 12 meses. Essa estabilidade sugere que a UR de 75% pode representar um ponto de equilíbrio favorável entre controle da umidade do ar e manutenção da matéria seca dos grãos, especialmente em contextos onde não é viável reduzir drasticamente a UR do ambiente armazenado.

Na condição de UR de 65%, observou-se uma preservação superior da matéria seca em ambos os teores de umidade inicial, com quebras máximas de 1,00% (10,2% de Uia) e 0,76% (14,5% de Uia) aos 9 meses. Essa condição, mais seca, limitou tanto

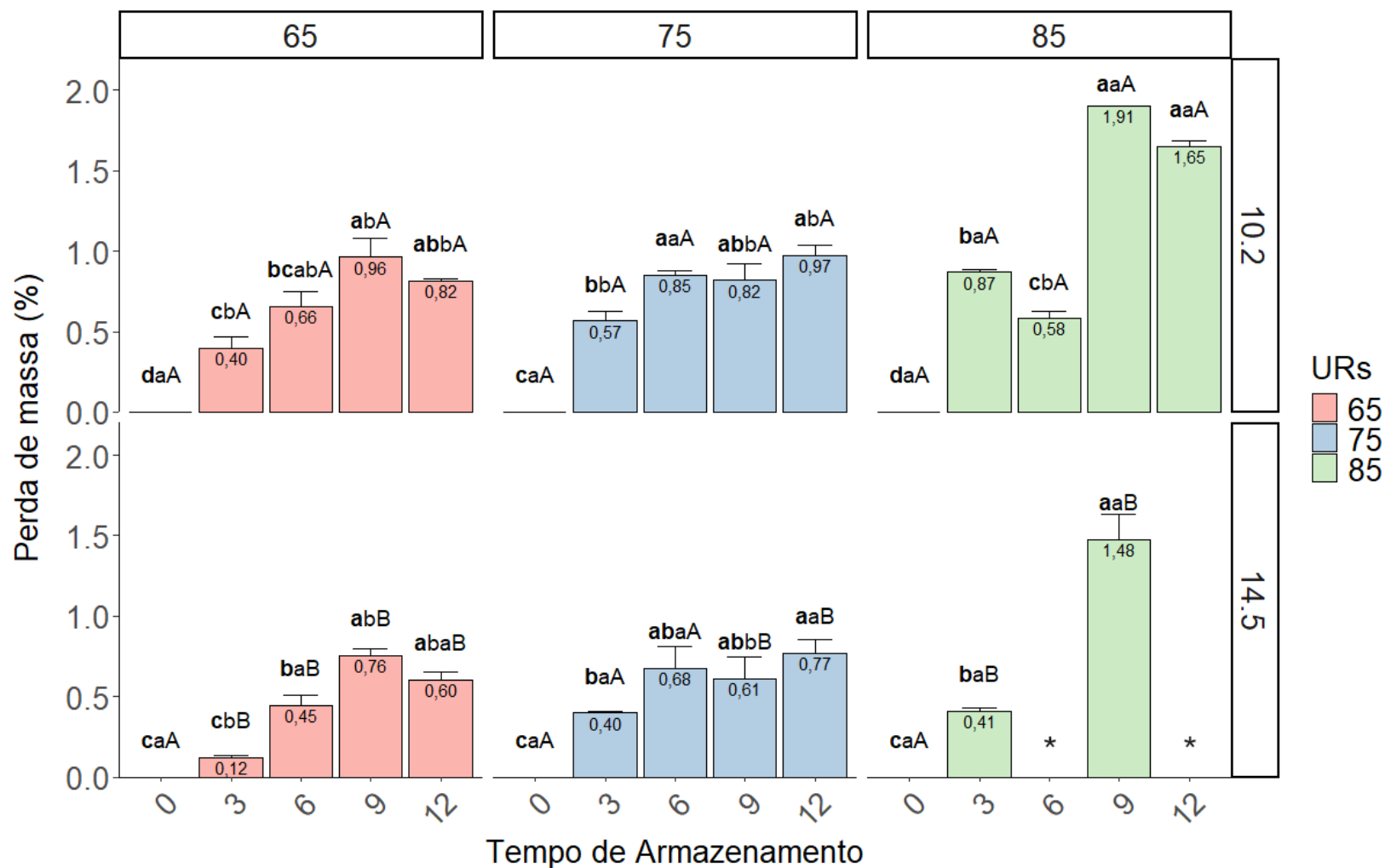
a reabsorção hídrica quanto o avanço de processos microbiológicos e entomológicos, atuando como barreira física contra o avanço da deterioração.

Dillahunty et al., (2000) observaram que a taxa de respiração do arroz aumenta exponencialmente quando a umidade dos grãos ultrapassa 15%, intensificando-se em temperaturas elevadas. De maneira consistente, Atungulu, Thote e Wilson (2017) demonstraram que a perda de matéria seca durante o armazenamento está diretamente relacionada à atividade respiratória dos grãos, potencializada em condições de alta umidade e temperatura.

No presente estudo, grãos com 10,2% de umidade inicial armazenados sob UR de 85% ultrapassaram o patamar crítico de 15% de umidade do grão já aos 3 meses de armazenamento (15,7%), atingindo 16,2% aos 12 meses. Para os grãos com 14,5% de umidade inicial, observaram-se teores entre 15,1% e 16,1% nos meses 3, 6 e 9. Essa reabsorção hídrica, evidenciada na Figura 4, favoreceu o aumento da atividade metabólica e da taxa respiratória dos grãos, justificando os maiores índices de perda de massa registrados.

Do ponto de vista industrial, esses achados demonstram que, mesmo com secagem parcial prévia dos grãos, a manutenção da umidade relativa do ambiente abaixo de 75% é essencial para preservar a matéria seca e evitar perdas significativas. A combinação entre teor de umidade adequado e controle eficiente do microclima de armazenamento emerge como estratégia fundamental para reduzir danos quantitativos durante o período pós-colheita.

Figura 6 – Perda de massa (%) dos grãos de arroz ao longo do tempo de armazenamento sob diferentes condições de UR e Uia



Letras minúsculas em negrito diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas para o fator tempo, dentro dos níveis de UR e Uia. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças para o fator UR, dentro dos níveis de tempo e Uia. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças para o fator Uia, dentro dos níveis de tempo e UR. As diferenças foram determinadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância ( $p < 0,05$ ).

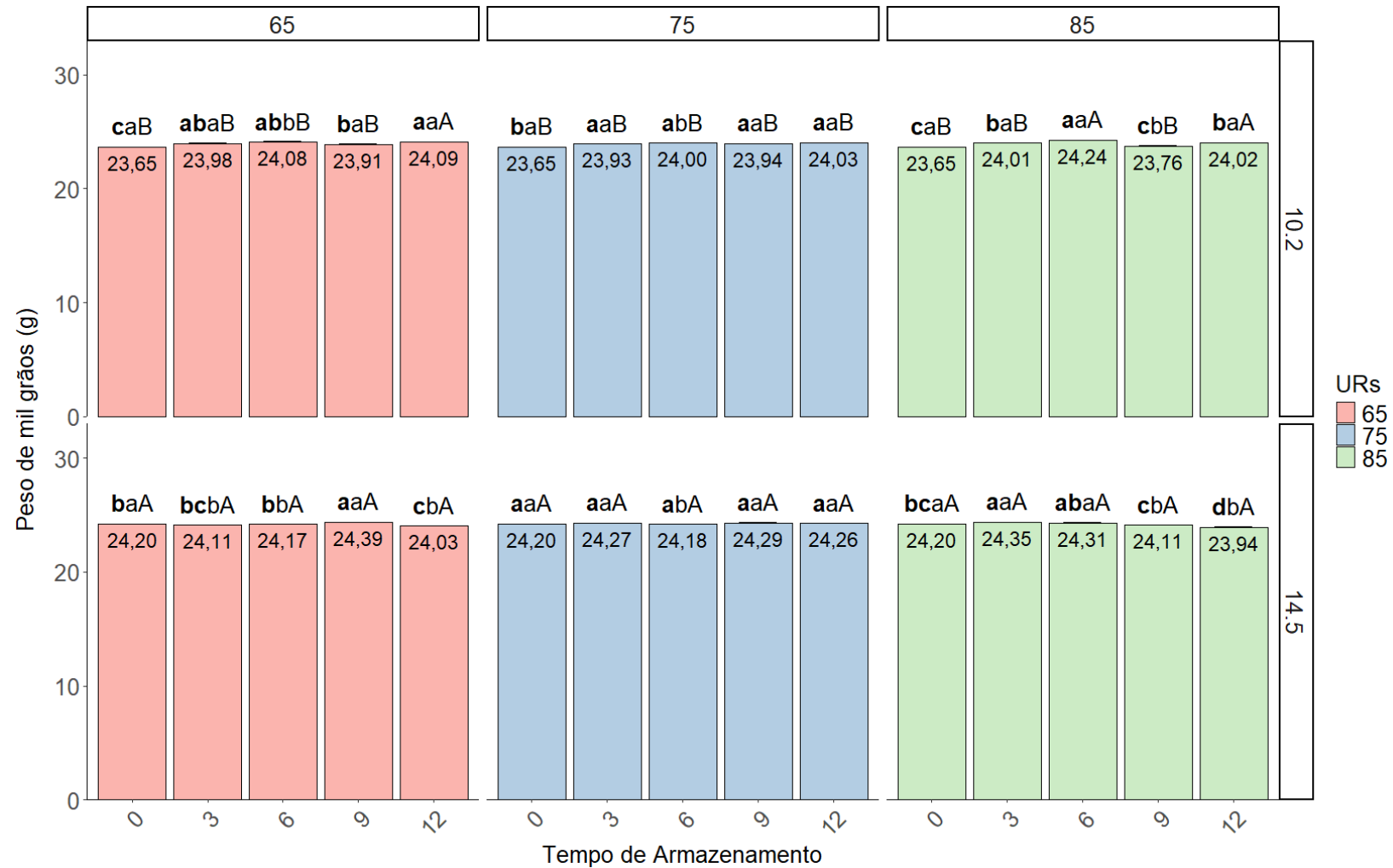
O peso de mil grãos (PMG), apresentado na Figura 7, é influenciado por características morfológicas e fisiológicas, como o tamanho e o grau de enchimento dos grãos, fatores que podem ser afetados pelas condições ambientais durante o armazenamento. Neste estudo, observou-se que o PMG foi significativamente influenciado pelo tempo de armazenamento, pela umidade inicial dos grãos e pelas interações entre os fatores. Embora o efeito isolado da umidade relativa do ar (UR) não tenha sido significativo, sua interação com os demais fatores demonstrou influência relevante sobre o PMG.

Grãos com 14,5% de umidade inicial apresentaram os maiores valores de PMG ao longo do armazenamento na maioria das condições, com destaque para os 9 meses sob UR de 65%, que resultaram no maior valor registrado (24,39 g). Por outro lado, os menores PMGs (23,65 g) foram observados no tempo 0 para os grãos com 10,2% de umidade inicial, sugerindo que o armazenamento contribuiu positivamente para o ganho de peso em algumas condições.

A influência da UR variou conforme o tempo e a umidade inicial, com efeitos positivos nos primeiros meses sob UR de 85% e maior estabilidade sob UR de 75%, especialmente em grãos mais úmidos. Esses resultados estão alinhados com as conclusões de Atungulu, Thote e Wilson (2017), que demonstraram que a preservação do peso durante o armazenamento é altamente influenciada pela interação entre a umidade inicial e as condições ambientais, como UR e temperatura. De modo semelhante, o estudo de Dillahunty et al. (2000) destacou que a estabilidade de peso dos grãos está diretamente relacionada às características fisiológicas e aos níveis de atividade respiratória, os quais se intensificam quando a umidade dos grãos ultrapassa 15%.

De modo geral, a umidade inicial foi o fator mais determinante para o PMG, com os grãos de 14,5% apresentando melhor desempenho. A variação total do PMG foi moderada, indicando que o armazenamento controlado foi eficaz na preservação do peso dos grãos ao longo do tempo.

Figura 7 – Peso de mil grãos (g) ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de UR e Uia



Letras minúsculas em negrito diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas para o fator tempo, dentro dos níveis de UR e Uia. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças para o fator UR, dentro dos níveis de tempo e Uia. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças para o fator Uia, dentro dos níveis de tempo e UR. As diferenças foram determinadas pelo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ).

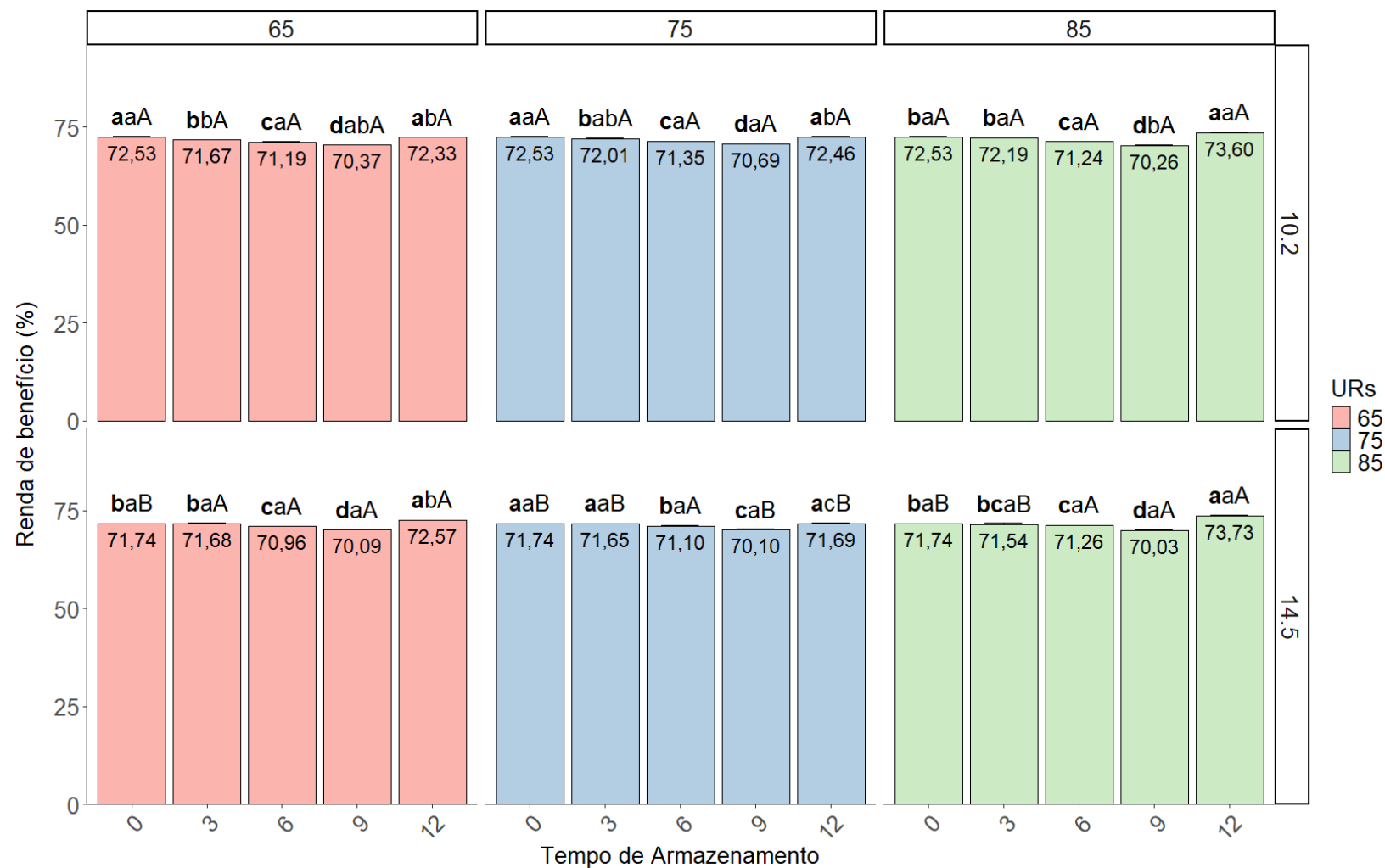
A renda de benefício representa a proporção de arroz beneficiado obtida a partir do arroz em casca, sendo um importante indicador da qualidade industrial dos grãos. De acordo com a SOSBAI (2022), a preferência do mercado brasileiro é por arroz de grão longo-fino, translúcido, com bom aspecto visual, alta renda de benefício ( $\geq 70\%$ ) e elevado rendimento de grãos inteiros ( $> 60\%$ ). Dessa forma, valores iguais ou superiores a 70% são considerados desejáveis, refletindo grãos bem formados, com bom enchimento e acúmulo adequado de matéria seca.

Neste estudo, conforme observado na Figura 8, todas as condições de armazenamento analisadas resultaram em valores de renda de benefício iguais ou superiores a 70%, variando de 70,03% a 73,73%. Esses resultados demonstram uma boa preservação da qualidade física dos grãos, mesmo sob diferentes combinações de umidade relativa e umidade inicial do arroz. A renda de benefício apresentou redução progressiva até os 9 meses de armazenamento, independentemente da UR e da umidade inicial, com recuperação parcial ou total aos 12 meses em algumas condições.

Esses resultados estão alinhados com os achados de Haydon (2016), que destacou que condições controladas de armazenamento, mesmo em níveis elevados de umidade relativa, podem preservar a qualidade física e o rendimento de grãos beneficiados por períodos prolongados. De maneira semelhante, Butardo e Sreenivasulu (2019), enfatizaram que a interação entre a umidade inicial e as condições de armazenamento é crucial para minimizar perdas durante o beneficiamento, garantindo maior eficiência no processo industrial.

O melhor desempenho foi observado em grãos com 14,5% de umidade inicial sob UR de 85% aos 12 meses (73,73%), enquanto o menor valor foi registrado sob a mesma UR, Uia e aos 9 meses (70,03%), evidenciando o efeito predominante do tempo sobre essa variável. A análise dos fatores isolados indica que os grãos com 10,2% de umidade inicial apresentaram, na maioria das condições, maior renda nos períodos iniciais, mas essa vantagem diminuiu ao longo do tempo. Em relação à UR, os efeitos foram mais expressivos ao final do armazenamento, favorecendo a condição de 85%, que apresentou os maiores valores de renda aos 12 meses.

Figura 8 – Renda de benefício (%) ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de UR e Uia



Letras minúsculas em negrito diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas para o fator tempo, dentro dos níveis de UR e Uia. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças para o fator UR, dentro dos níveis de tempo e Uia. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças para o fator Uia, dentro dos níveis de tempo e UR. As diferenças foram determinadas pelo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ).

Os resultados de rendimento de grãos inteiros estão apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Rendimento de grãos inteiros (%) em função do tempo e UR

| Tempo (meses) | Rendimento de Grãos Inteiros (%) |                             |                            |
|---------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|               | UR 65%                           | UR 75%                      | UR 85%                     |
| 0             | 68.08 ± 1.13 <sup>aA</sup>       | 68.08 ± 1.13 <sup>aA</sup>  | 68.08 ± 1.13 <sup>bA</sup> |
| 3             | 67.55 ± 0.38 <sup>abA</sup>      | 67.57 ± 0.49 <sup>abA</sup> | 67.70 ± 0.88 <sup>bA</sup> |
| 6             | 66.59 ± 0.35 <sup>bcA</sup>      | 66.65 ± 0.52 <sup>bcA</sup> | 66.39 ± 0.41 <sup>cA</sup> |
| 9             | 66.42 ± 0.39 <sup>cA</sup>       | 66.34 ± 0.44 <sup>cA</sup>  | 65.90 ± 0.36 <sup>cA</sup> |
| 12            | 67.44 ± 0.25 <sup>abcB</sup>     | 68.08 ± 0.44 <sup>abB</sup> | 69.24 ± 0.21 <sup>aA</sup> |

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente para o fator tempo dentro de cada nível do fator Uia. Letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente para o fator UR dentro de cada tempo de armazenamento. Valores seguidos pelo mesmo conjunto de letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Tabela 3 – Rendimento de grãos inteiros (%) em função do tempo e umidade inicial dos grãos

| Tempo (meses) | Rendimento de Grãos Inteiros (%) |                             |
|---------------|----------------------------------|-----------------------------|
|               | 10.2%                            | 14.5%                       |
| 0             | 69.07 ± 0.44 <sup>aA</sup>       | 67.10 ± 0.21 <sup>bcB</sup> |
| 3             | 68.00 ± 0.37 <sup>bA</sup>       | 67.22 ± 0.50 <sup>bB</sup>  |
| 6             | 66.61 ± 0.51 <sup>cA</sup>       | 66.47 ± 0.32 <sup>cdA</sup> |
| 9             | 66.50 ± 0.30 <sup>cA</sup>       | 65.94 ± 0.38 <sup>dB</sup>  |
| 12            | 68.06 ± 0.86 <sup>bA</sup>       | 68.12 ± 0.97 <sup>aA</sup>  |

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente para o fator tempo dentro de cada nível do fator Uia. Letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem estatisticamente para o fator Uia dentro de cada tempo de armazenamento. Valores seguidos pelo mesmo conjunto de letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O rendimento de grãos inteiros representa o percentual de grãos que permanecem íntegros após o beneficiamento do arroz em casca, sendo um parâmetro diretamente associado à qualidade física e ao valor comercial do produto. Valores superiores a 60% são considerados adequados para o mercado brasileiro, refletindo

menor incidência de danos físicos e maior resistência dos grãos ao processamento (SOSBAI, 2022).

No presente estudo, o rendimento de grãos inteiros foi significativamente influenciado pela interação entre a umidade relativa do ar (UR) e o tempo de armazenamento, bem como pela interação entre o grau de umidade inicial do arroz (Uia) e o tempo. No entanto, não foi observada interação significativa entre UR e Uia, indicando que os efeitos dessas variáveis sobre o rendimento de inteiros ocorreram de forma independente.

A UR intermediária (75%) proporcionou maior estabilidade ao longo dos 12 meses, enquanto a UR de 65% apresentou leve redução nos primeiros nove meses, seguida de recuperação parcial aos 12 meses. Sob UR elevada (85%), houve maior instabilidade, com queda acentuada aos 9 meses e posterior aumento no final do armazenamento.

Os grãos com 10,2% de umidade inicial apresentaram rendimentos superiores na maior parte do período, enquanto os grãos com 14,5% atingiram os menores valores aos 9 meses (65,94%). Essa redução pode estar associada ao equilíbrio higroscópico, que favorece a formação de trincas e fissuras internas, aumentando a suscetibilidade à quebra durante o beneficiamento. Estudos recentes indicam que o tempo de armazenamento impacta a resistência mecânica dos grãos e sua taxa de quebra (Tian *et al.*, 2025). Além disso, pesquisas sobre estabilidade da qualidade do arroz reforçam que umidade e temperatura são fatores cruciais na preservação da integridade dos grãos.

Prakash *et al.* (2019) também observaram que grãos armazenados a 15% de umidade apresentaram redução significativa no percentual de grãos inteiros em relação àqueles armazenados a 12%, variando entre 4,8 e 9,1 pontos percentuais. Segundo os autores, essa diminuição está associada ao aumento da suscetibilidade dos grãos a fissuras e danos mecânicos no beneficiamento, reforçando a importância do controle da umidade durante o armazenamento para minimizar perdas industriais.

Apesar da tendência de redução intermediária, os grãos com 14,5% de umidade inicial apresentaram recuperação ao final do armazenamento, atingindo 68,12% aos 12 meses, superando ligeiramente os grãos com 10,2% no mesmo período. Esses resultados reforçam a importância do controle adequado das condições higroscópicas para a preservação da qualidade tecnológica dos grãos.

## 6.5 Perfil branquimétrico e colorimétrico

Os resultados dos atributos de brancura, transparência e polimento dos grãos de arroz estão apresentados nas Figuras 9, 10 e 11, respectivamente, enquanto os parâmetros colorimétricos  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  são exibidos nas Figuras 12, 13 e 14.

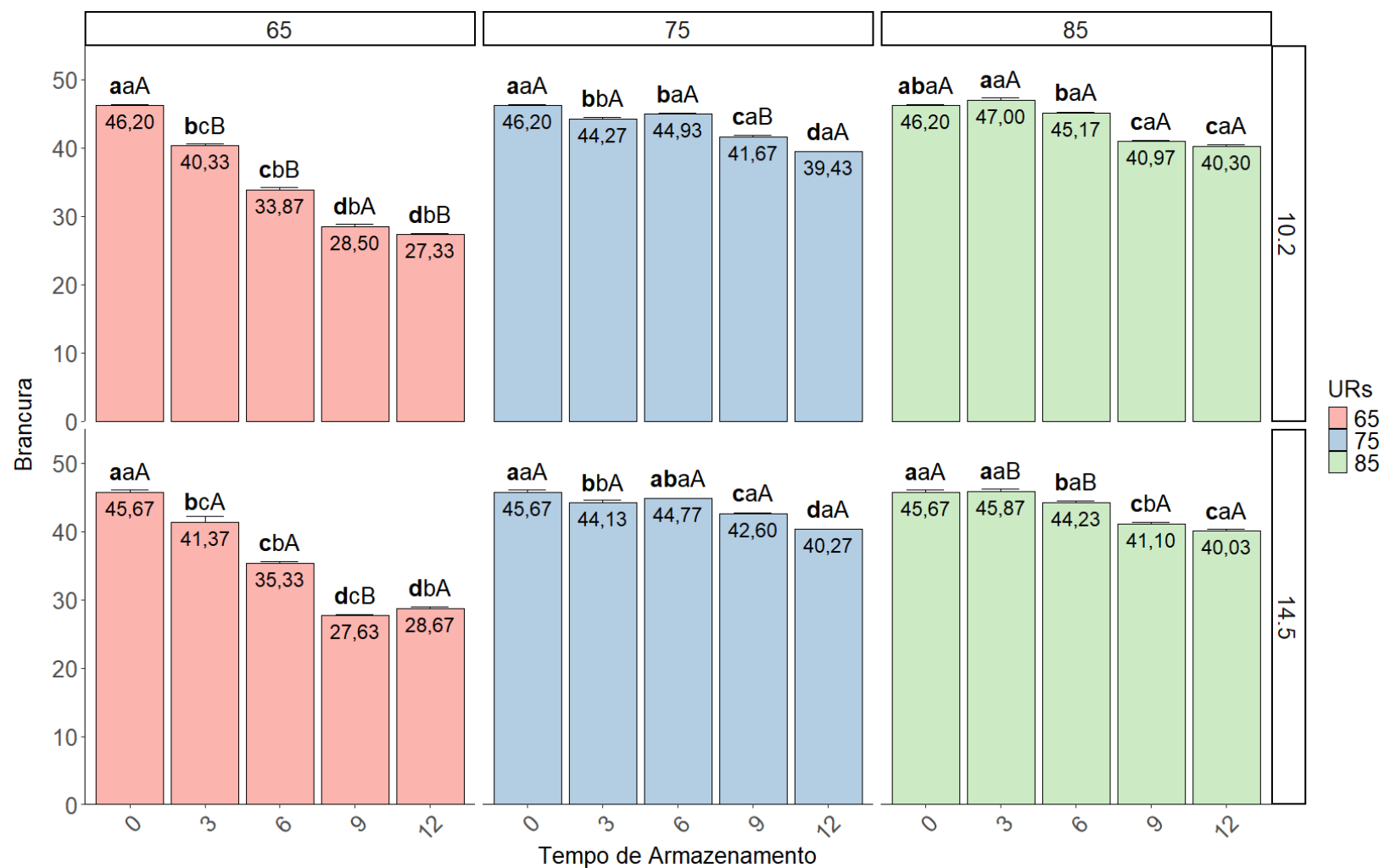
Os atributos visuais dos grãos de arroz (Figuras 9, 10 e 11) diminuíram ao longo do armazenamento, com variações conforme a umidade relativa do ar (UR) e a umidade inicial dos grãos. Modificações estruturais podem estar associadas à oxidação de lipídeos e à reação de Maillard, processos que influenciam a coloração dos grãos durante o armazenamento (Shad, Steen e Atungulu, 2019).

A transparência dos grãos também foi afetada pelas condições de armazenamento. As UR de 75% garantiu maior estabilidade, com valores superiores a 3,0 até os seis meses. Sob UR de 85%, os grãos começaram com alta transparência, mas apresentaram uma redução significativa após nove meses, sugerindo que condições mais úmidas podem comprometer a estrutura interna dos grãos. Estudos indicam que a presença de açúcares redutores, como glicose e frutose, está fortemente associada ao escurecimento dos grãos, reforçando a relação entre umidade, tempo de armazenamento e alterações visuais (Shad, Steen e Atungulu, 2019).

O polimento seguiu um padrão semelhante, sendo melhor preservado sob UR de 75%, mantendo-se acima de 90 até o final do armazenamento. Sob UR de 85%, os valores iniciais foram elevados, mas ocorreram perdas mais acentuadas ao longo do tempo, indicando que a exposição prolongada à umidade pode desgastar as camadas externas dos grãos.

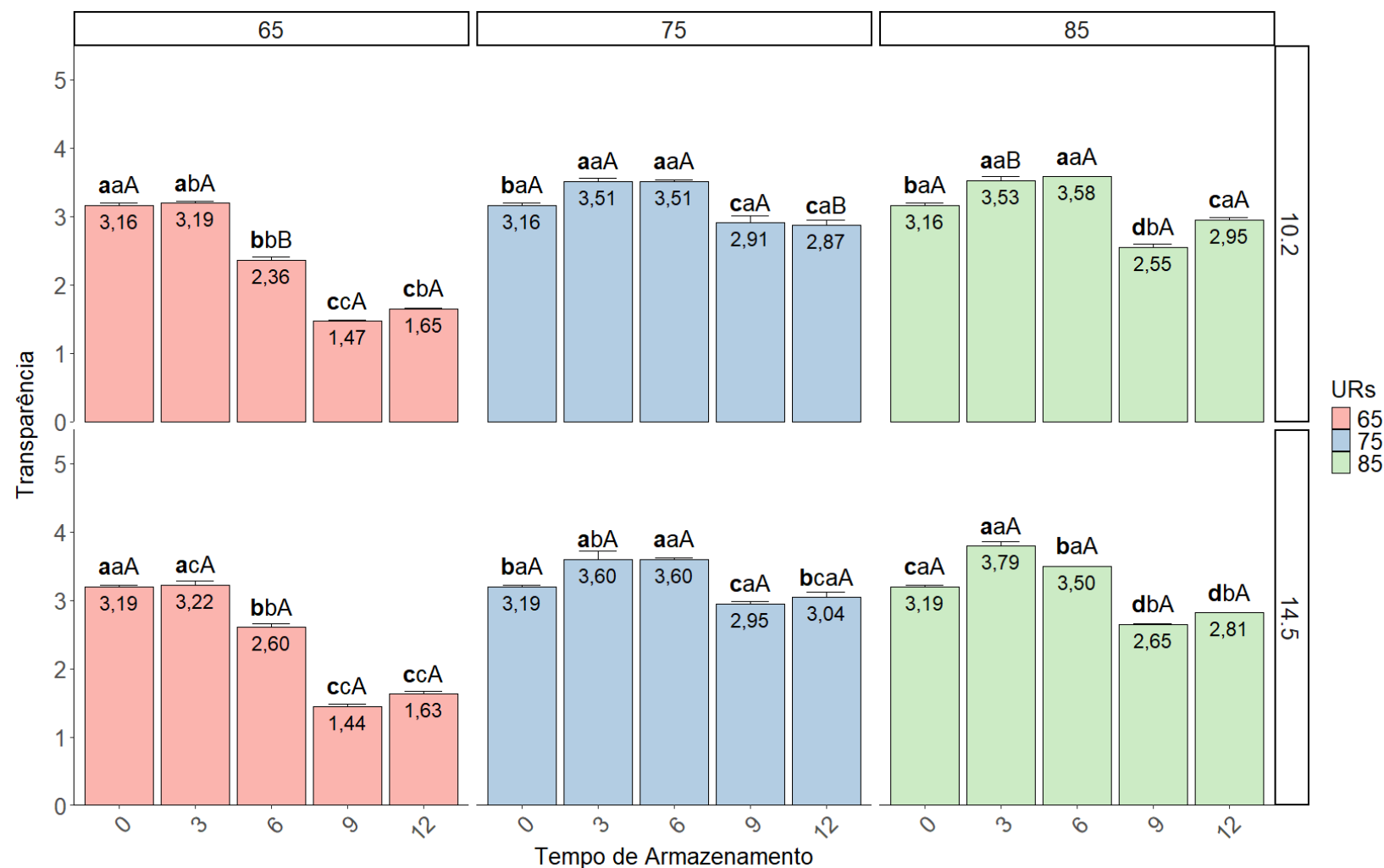
Os resultados obtidos sob UR de 65% apresentaram desvios em relação ao comportamento esperado, com valores mais baixos de brancura, transparência e polimento desde os primeiros meses. Esse efeito pode estar relacionado ao uso de nitrito de sódio ( $\text{NaNO}_2$ ) como controlador de umidade, cuja ação química pode ter causado alterações na coloração dos grãos, favorecendo o amarelecimento. Assim, os dados dessa condição devem ser analisados com cautela, pois podem refletir mais a influência química do  $\text{NaNO}_2$  do que os efeitos naturais do armazenamento.

Figura 9 – Brancura (%) dos grãos polidos ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de UR e Uia



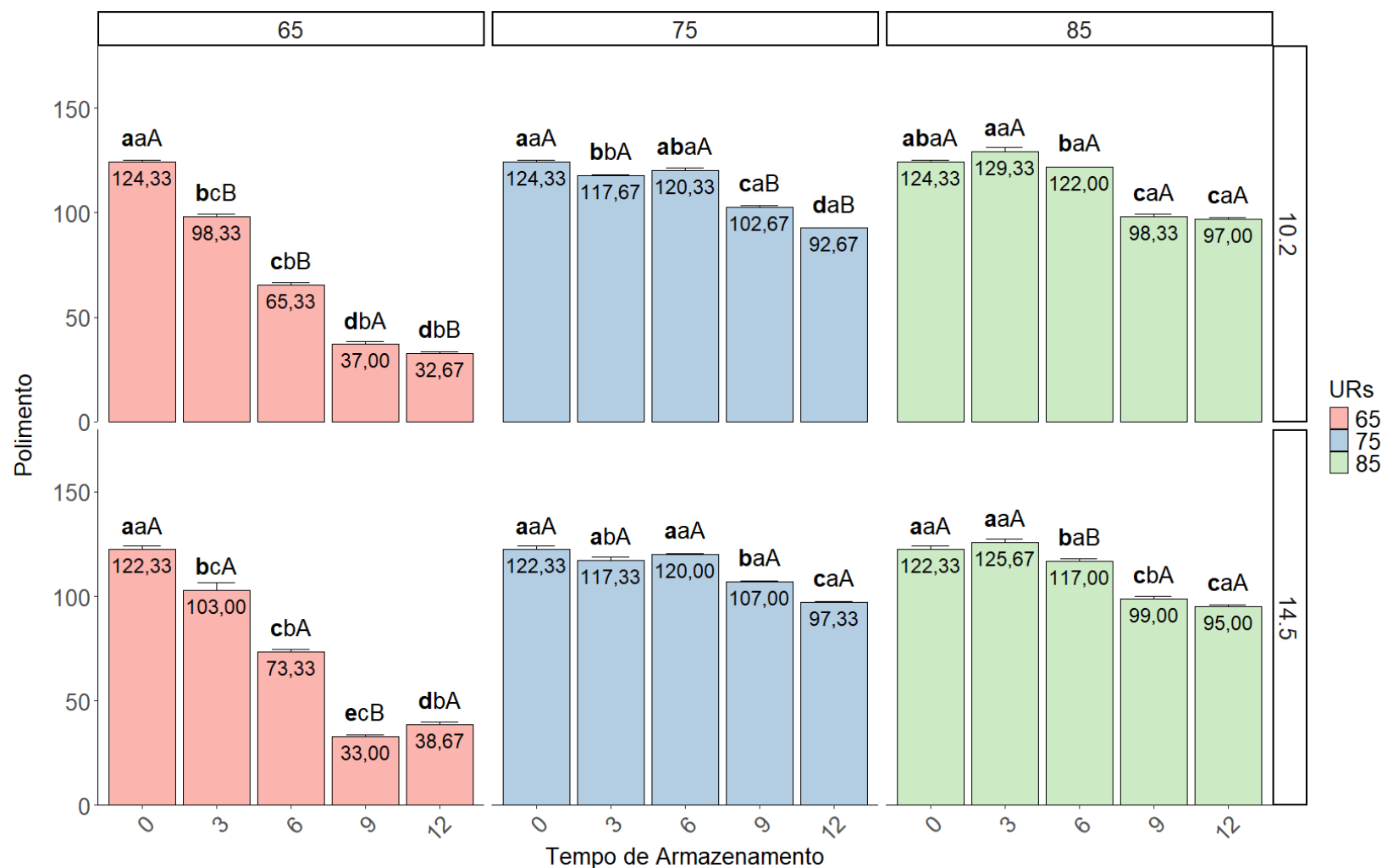
Letras minúsculas em negrito diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas para o fator tempo, dentro dos níveis de UR e Uia. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças para o fator UR, dentro dos níveis de tempo e Uia. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças para o fator Uia, dentro dos níveis de tempo e UR. As diferenças foram determinadas pelo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ).

Figura 10 – Transparência (%) dos grãos polidos ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de UR e Uia



Letras minúsculas em negrito diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas para o fator tempo, dentro dos níveis de UR e Uia. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças para o fator UR, dentro dos níveis de tempo e Uia. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças para o fator Uia, dentro dos níveis de tempo e UR. As diferenças foram determinadas pelo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ).

Figura 11 – Índice de polimento (%) ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de UR e Uia



Letras minúsculas em negrito diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas para o fator tempo, dentro dos níveis de UR e Uia. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças para o fator UR, dentro dos níveis de tempo e Uia. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças para o fator Uia, dentro dos níveis de tempo e UR. As diferenças foram determinadas pelo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ).

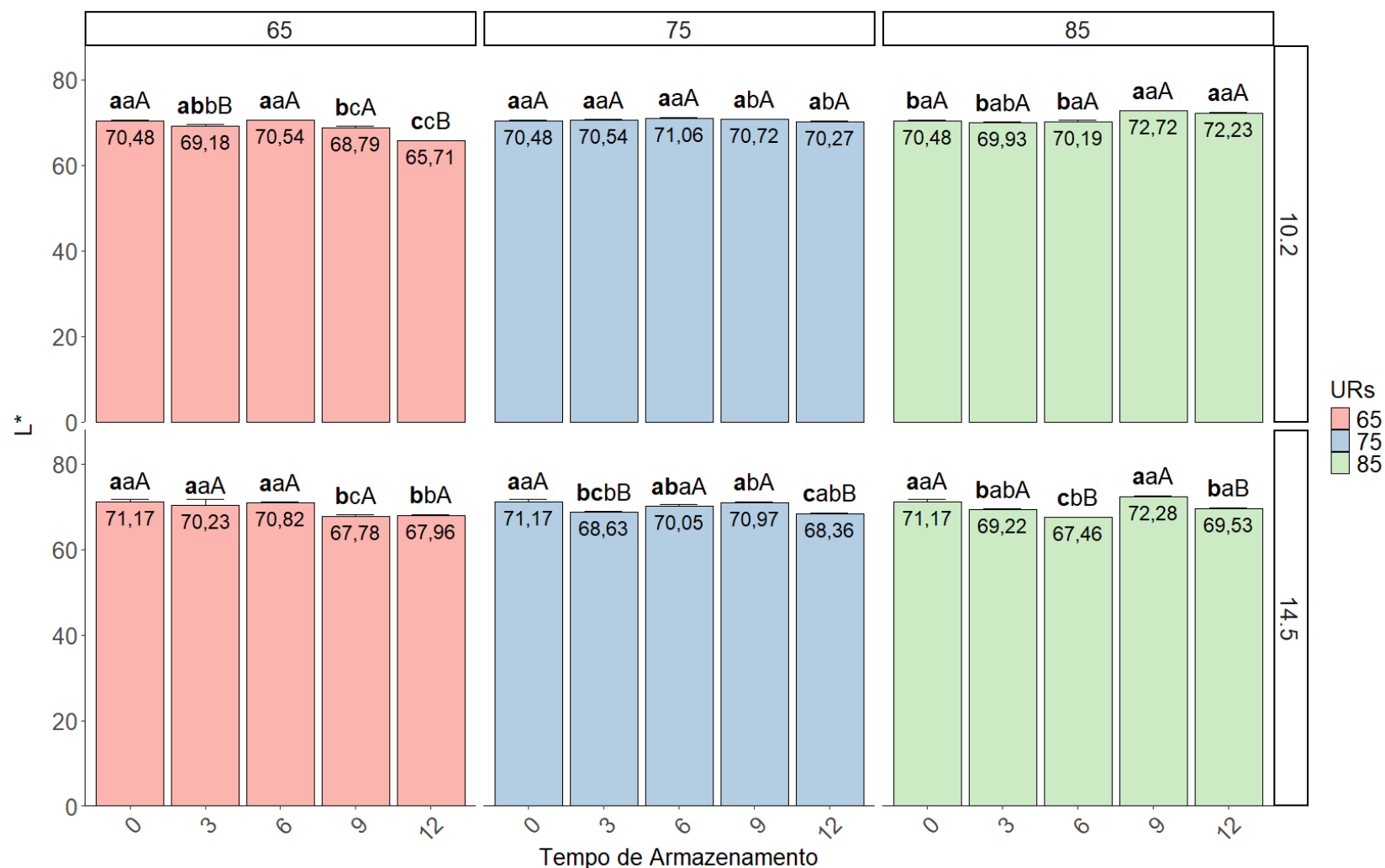
Os valores de  $L^*$  (Figura 12) apresentaram redução ao longo do armazenamento, especialmente sob UR de 85% e em grãos com 14,5% de umidade inicial, onde houve queda de 71,17 (tempo 0) para 67,46 (12 meses). Essa perda de luminosidade pode ser atribuída ao escurecimento da superfície dos grãos por processos oxidativos e possíveis alterações microbiológicas. Estudos como o de An, Zhou e Zhang (2018) relataram redução significativa de  $L^*$  em arroz armazenado a 35 °C e 80% UR, associada ao crescimento de fungos e à diminuição da refletância superficial.

Os valores de  $a^*$  (Figura 13) permaneceram próximos de zero na maioria das condições, indicando estabilidade das tonalidades entre verde e vermelho. No entanto, foi observado um pico isolado em grãos com 14,5% de umidade sob UR de 65% aos nove meses (0,52). Esse comportamento pode estar relacionado não apenas ao envelhecimento natural, mas também à ação do nitrito de sódio ( $\text{NaNO}_2$ ), empregado como regulador de UR.

Quanto ao  $b^*$  (Figura 14), indicador da intensidade do amarelecimento, houve tendência de aumento ao longo do armazenamento, com maior intensidade sob UR de 85%. Segundo An, Zhou e Zhang, (2018), o aumento de  $b^*$  está associado à progressão das reações de Maillard e à oxidação lipídica, processos que são potencializados por maiores teores de umidade e temperatura, contribuindo para a intensificação do amarelamento dos grãos.

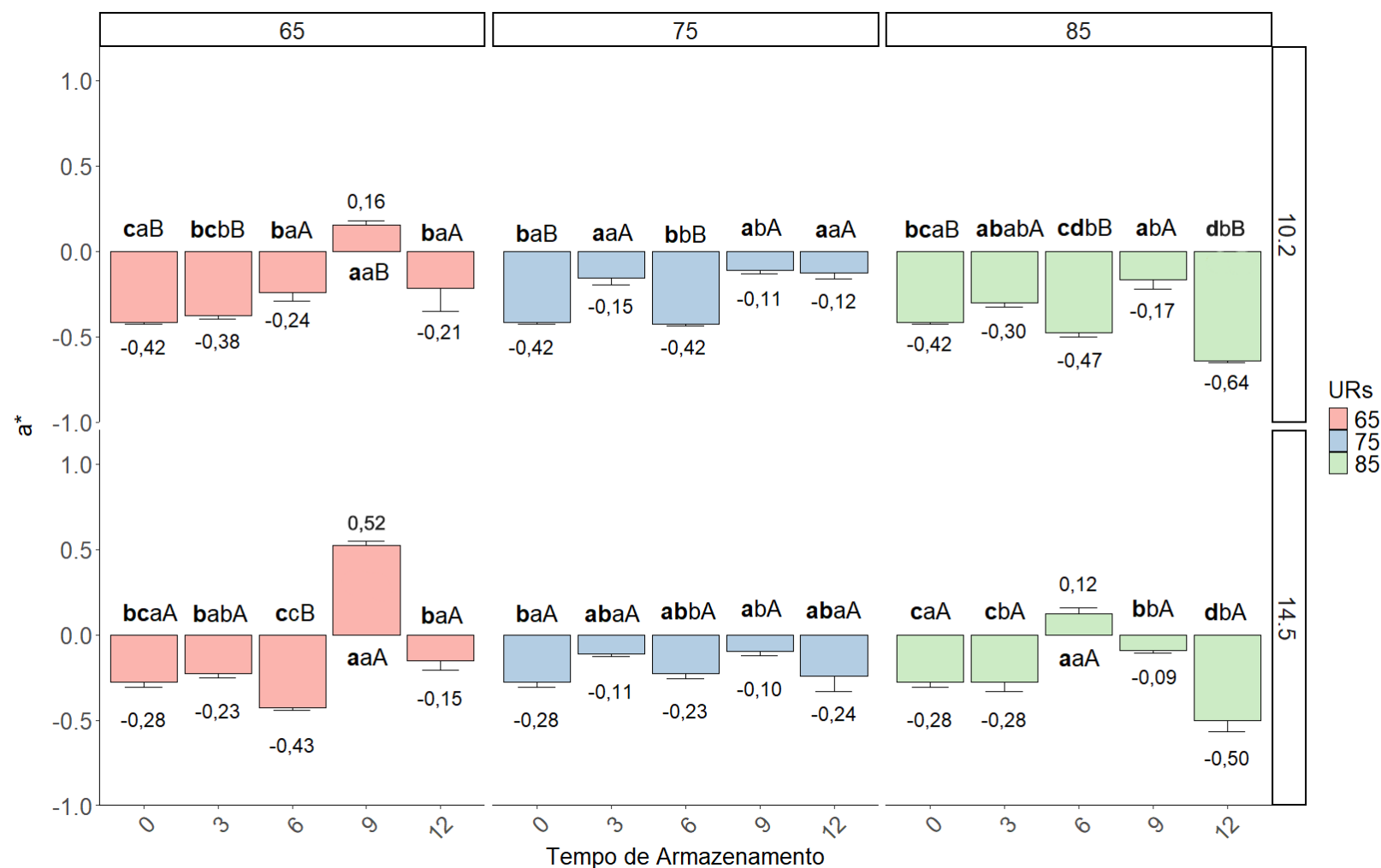
Os resultados obtidos sob UR de 65% mostraram desvios expressivos, possivelmente causados pela ação química do  $\text{NaNO}_2$  sobre compostos fenólicos e nitrogenados da superfície dos grãos. Esse sal é conhecido por atuar como agente oxidante e nitrosante, podendo promover reações químicas que resultam em modificações na coloração dos materiais com os quais interage. Estudos indicam que o  $\text{NaNO}_2$  é amplamente utilizado na indústria alimentícia para influenciar a aparência de produtos cárneos, prevenindo descoloração e alterando características visuais devido à sua capacidade de reagir com compostos orgânicos (Lamark, Barbosa e Jordão, 2025). Embora sua aplicação em grãos ainda não seja amplamente documentada, os efeitos observados nos resultados deste estudo sugerem que a ação química do  $\text{NaNO}_2$  pode ter interferido na estabilidade colorimétrica dos grãos, dificultando a comparação direta com as demais condições de armazenamento.

Figura 12 – Luminosidade (L\*) dos grãos polidos ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de UR e Uia



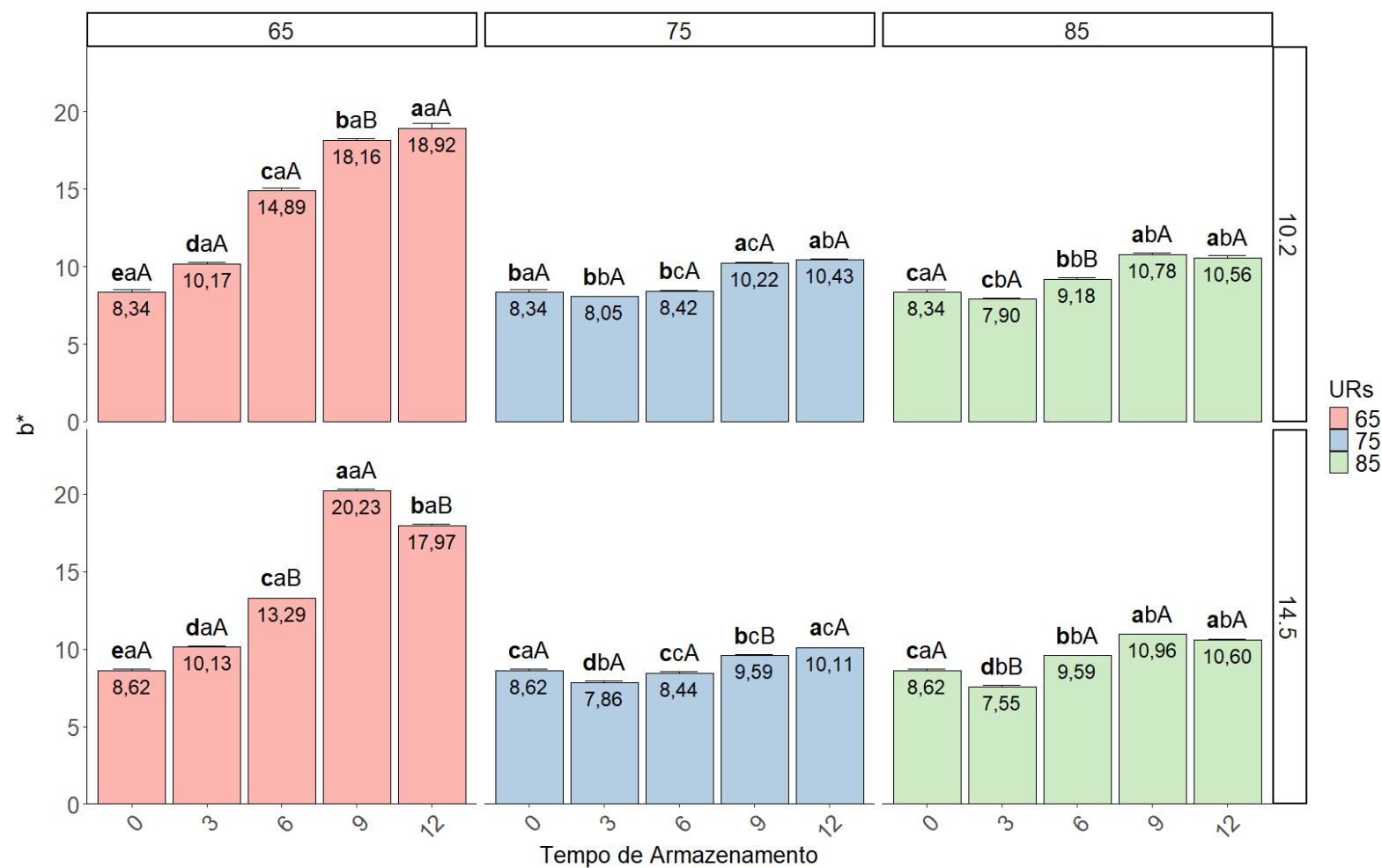
Letras minúsculas em negrito diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas para o fator tempo, dentro dos níveis de UR e Uia. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças para o fator UR, dentro dos níveis de tempo e Uia. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças para o fator Uia, dentro dos níveis de tempo e UR. As diferenças foram determinadas pelo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ).

Figura 13 – Valor de Vermelho-Verde ( $a^*$ ) dos grãos polidos ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de UR e Uia



Letras minúsculas em negrito diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas para o fator tempo, dentro dos níveis de UR e Uia. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças para o fator UR, dentro dos níveis de tempo e Uia. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças para o fator Uia, dentro dos níveis de tempo e UR. As diferenças foram determinadas pelo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ).

Figura 14 – Valor de Azul-Amarelo ( $b^*$ ) dos grãos polidos ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de UR e Uia



Letras minúsculas em negrito diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas para o fator tempo, dentro dos níveis de UR e Uia. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças para o fator UR, dentro dos níveis de tempo e Uia. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças para o fator Uia, dentro dos níveis de tempo e UR. As diferenças foram determinadas pelo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ).

## 6.6 Características de cocção e rendimento

As figuras 15, 16 e 17 apresentam os resultados de tempo de cocção, rendimento gravimétrico e rendimento volumétrico do arroz polido. O processo de cocção do arroz envolve a absorção de água pelos grãos, impactando diretamente esses parâmetros. Grãos com maior capacidade de retenção de água tendem a apresentar rendimento e maior volume final. O tempo de cocção é um indicador da qualidade tecnológica do arroz, refletindo modificações estruturais e químicas durante o armazenamento.

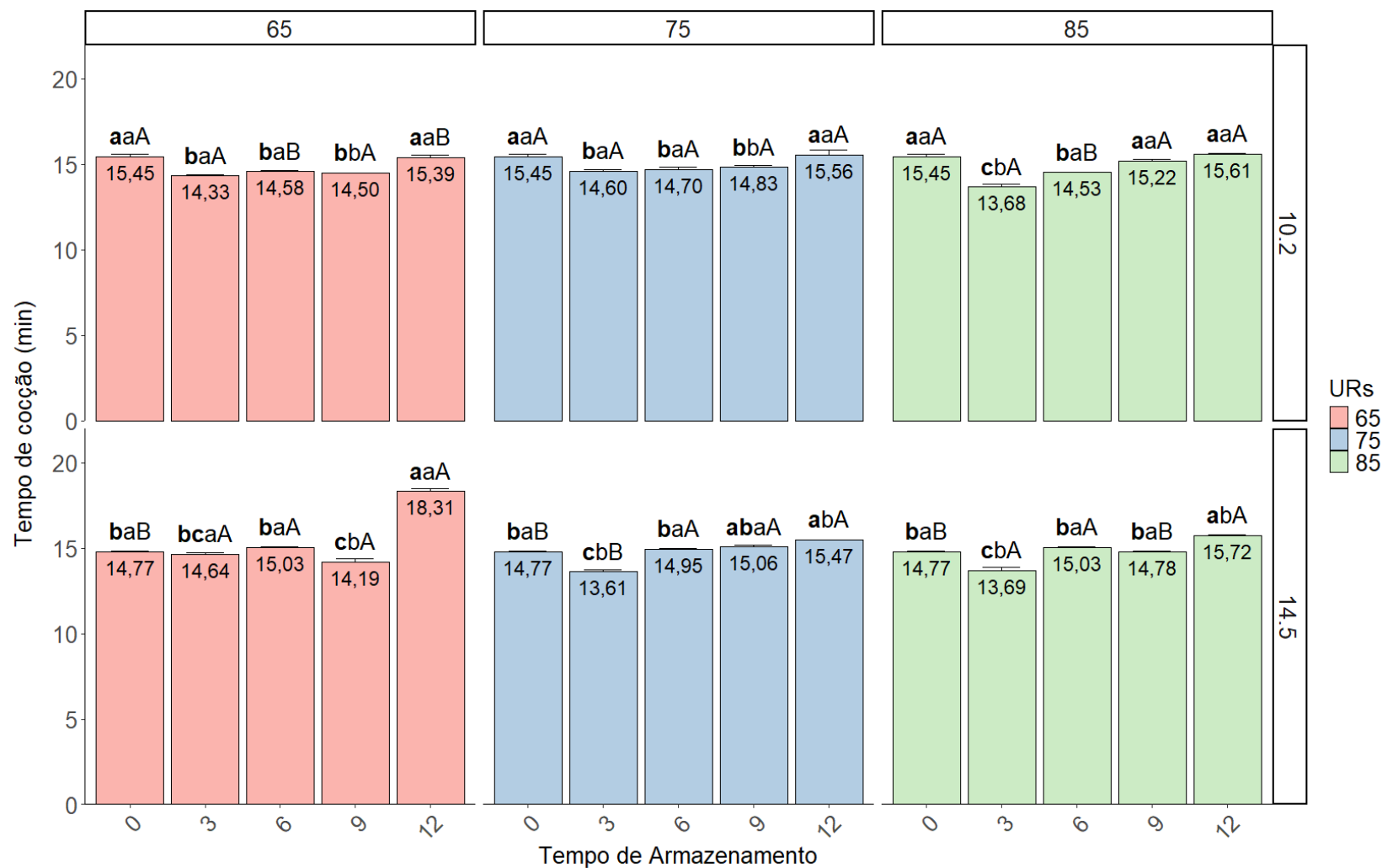
Observou-se uma redução significativa no tempo de cocção após 3 meses de, especialmente sob UR de 75%, seguida de estabilização até os 9 meses. No entanto, aos 12 meses, houve um aumento no tempo de cocção, mais acentuado em grãos com 14,5% de umidade inicial, sugerindo que o envelhecimento favorece a quebra da estrutura amilácea, facilitando o cozimento. Com o tempo, ocorre recristalização do amido, dificultando sua gelatinização (Bandara et al., 2025).

A reorganização molecular amilose, amilopectina e proteínas reduz a absorção de água e aumenta o tempo de gelatinização do amido (Ziegler *et al.*, 2018). Além disso, a preservação dos grânulos de amido, associada à maior concentração de proteínas, exige temperaturas mais elevadas para o amolecimento completo, prolongando o tempo de cocção (Zhu *et al.*, 2017).

A UR de 75% garantiu maior estabilidade ao longo dos 12 meses, especialmente para grãos com menor umidade inicial. Já sob UR de 85%, o tempo de cocção manteve-se estável até os 9 meses, aumentando significativamente no final do armazenamento, sugerindo que ambientes mais úmidos podem acelerar reações que comprometem a estrutura interna dos grãos (Shi et al., 2023).

O comportamento atípico sob UR de 65%, com aumento expressivo do tempo de cocção aos 12 meses para grãos com 14,5% de umidade inicial (18,31 minutos), pode estar relacionado à presença do nitrito de sódio ( $\text{NaNO}_2$ ) como regulador da UR. Além de higroscópico, o  $\text{NaNO}_2$  é um agente oxidante e nitrosante, promovendo reações químicas com proteínas e compostos fenólicos, afetando a textura e absorção de água dos grãos.

Figura 15 – Tempo de Cocção dos grãos inteiros ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de UR e Uia



Letras minúsculas em negrito diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas para o fator tempo, dentro dos níveis de UR e Uia. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças para o fator UR, dentro dos níveis de tempo e Uia. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças para o fator Uia, dentro dos níveis de tempo e UR. As diferenças foram determinadas pelo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ).

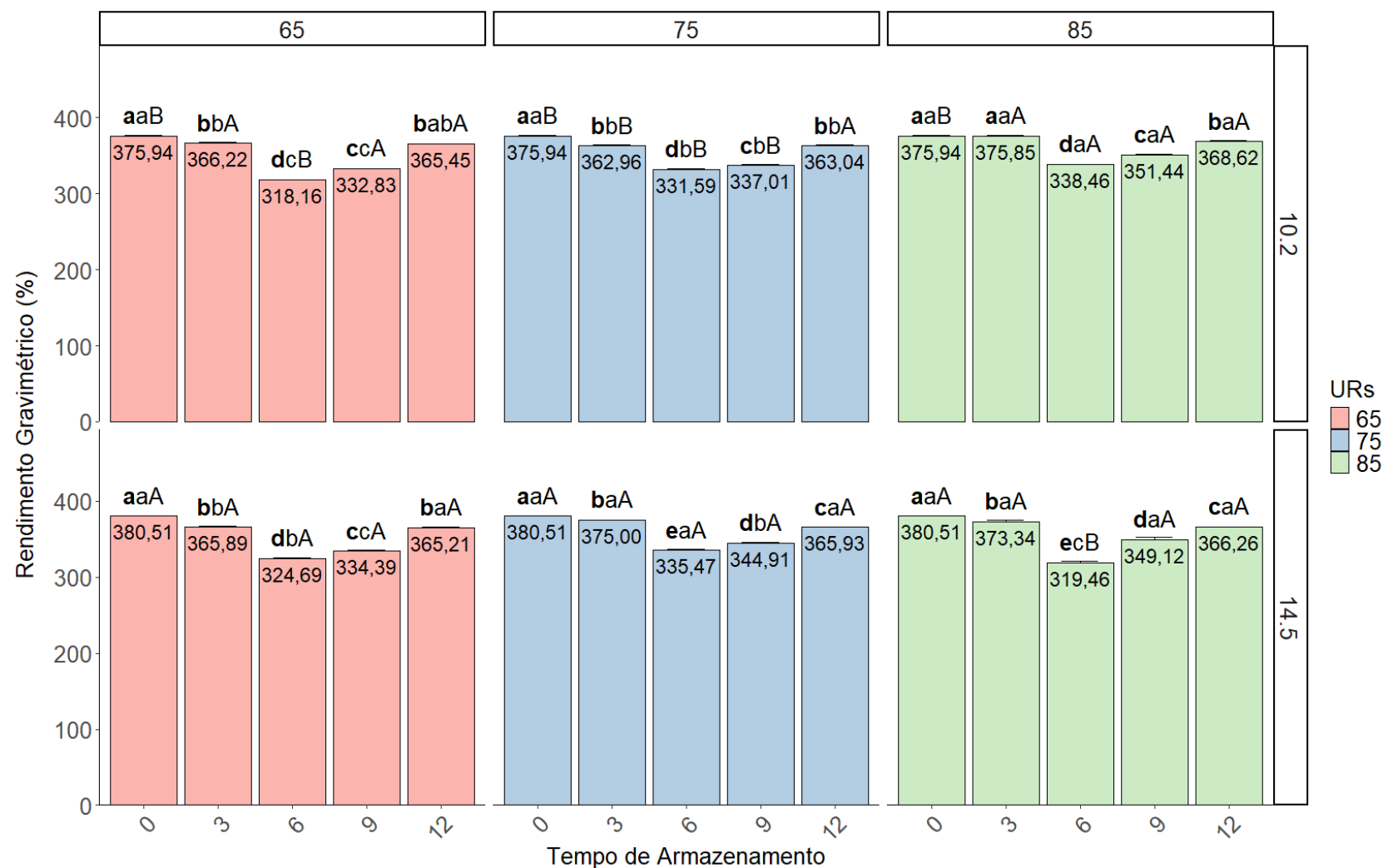
Os rendimentos gravimétrico e volumétrico (Figuras 16 e 17) foram significativamente influenciados pelas condições de armazenamento, especialmente pelo tempo e pela umidade relativa (UR) do ar. Observou-se uma queda acentuada entre 6 e 9 meses, seguida de recuperação aos 12 meses em diversos tratamentos. Essa variação está associada à capacidade dos grãos de absorver água e expandir durante a cocção, dependente da integridade celular e do estado físico-químico do amido.

Os menores rendimentos foram registrados aos 6 meses em grãos com 14,5% de umidade inicial armazenados sob UR de 65%, com valores de 324,69% (gravimétrico) e 368,65% (volumétrico). Resultados semelhantes ocorreram sob UR de 75%, indicando que a perda de massa seca e possível endurecimento celular comprometeram a hidratação dos grãos. Por outro lado, aos 12 meses, diversos tratamentos apresentaram recuperação, destacando-se os grãos com 14,5% de umidade inicial sob UR de 85%, que atingiram o maior rendimento volumétrico (437,27%).

Esse comportamento pode ser explicado pelo envelhecimento natural do arroz, que promove reorganizações estruturais favoráveis à expansão durante o cozimento. O fortalecimento da parede celular contribui para maior adsorção de água e manutenção da estrutura dos grãos, resultando em melhor desempenho tecnológico. Embora esse processo possa aumentar o tempo de cocção, como relatado por Nicholas et al. (2013) e Zhou et al. 2010), ele também pode favorecer uma expansão mais eficiente dos grãos, refletida nos rendimentos elevados ao final do período experimental.

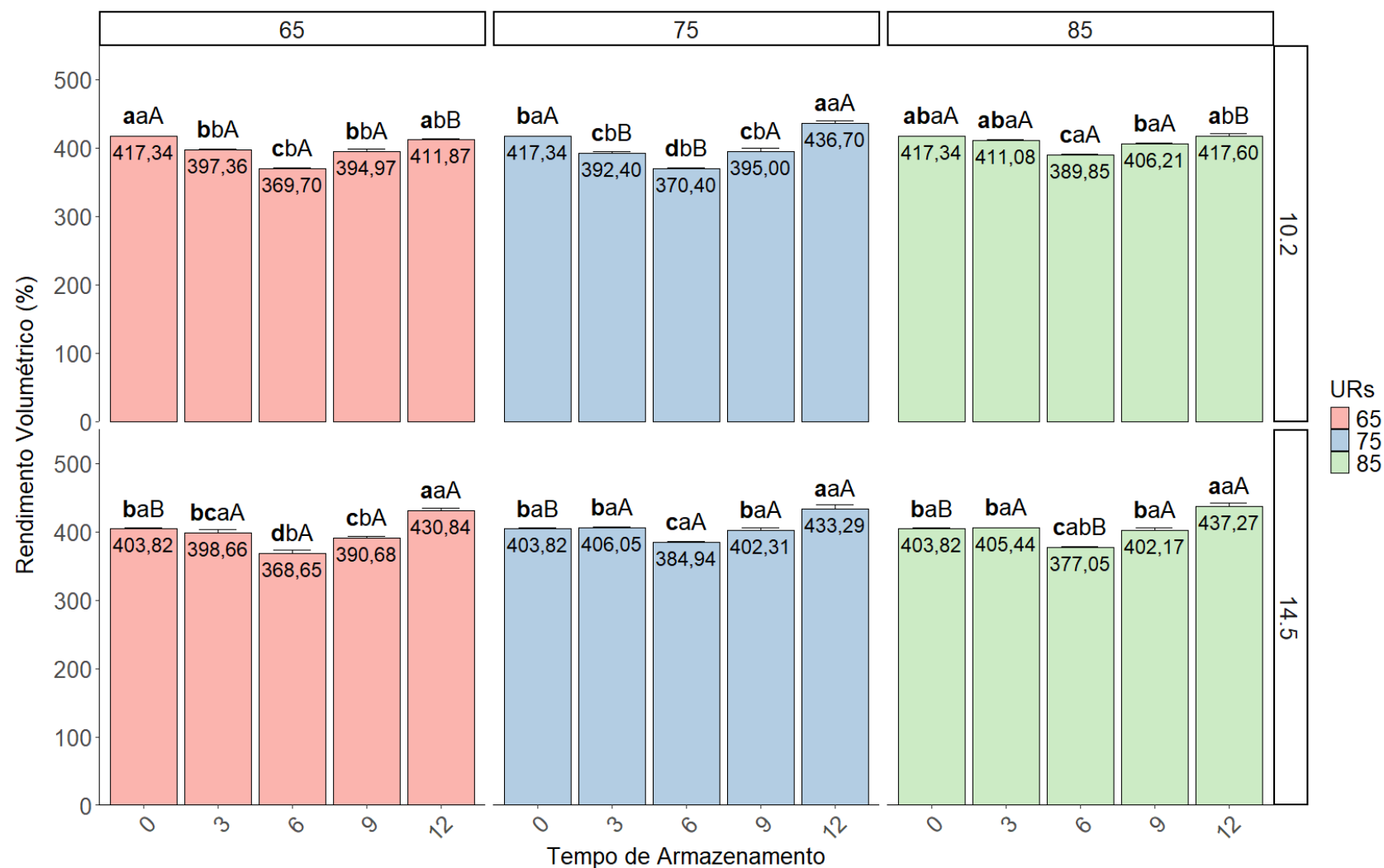
Estudos mais recentes indicam que a temperatura de armazenamento também influencia a estabilidade dos grãos. Segundo Ziegler et al. (2016), temperaturas acima de 40°C podem acelerar reações químicas e físicas, reduzindo a qualidade tecnológica do arroz e impactando diretamente os rendimentos gravimétrico e volumétrico. Além disso, pesquisas recentes indicam que altas temperaturas durante o armazenamento podem comprometer a formação de amido e proteínas essenciais para a qualidade do grão, afetando sua capacidade de absorção de água e gelatinização (Liu et al., 2021; Xing et al., 2024).

Figura 16 – Rendimento gravimétrico (%) ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de UR e Uia



Letras minúsculas em negrito diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas para o fator tempo, dentro dos níveis de UR e Uia. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças para o fator UR, dentro dos níveis de tempo e Uia. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças para o fator Uia, dentro dos níveis de tempo e UR. As diferenças foram determinadas pelo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ).

Figura 17 – Rendimento volumétrico (%) ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de UR e Uia

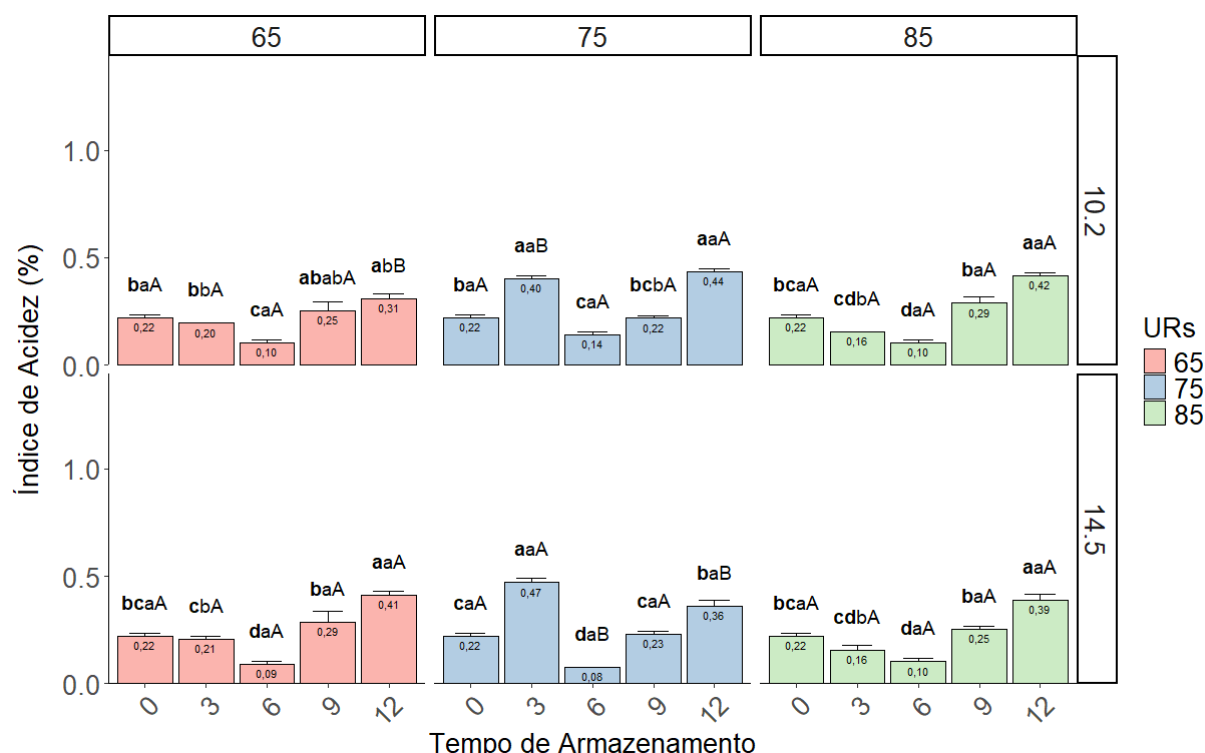


Letras minúsculas em negrito diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas para o fator tempo, dentro dos níveis de UR e Uia. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças para o fator UR, dentro dos níveis de tempo e Uia. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças para o fator Uia, dentro dos níveis de tempo e UR. As diferenças foram determinadas pelo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ).

## 6.7 Qualidade química e biológica: índice de acidez e incidência fúngica

A Figura 18 apresenta os resultados de índice de acidez (%) do arroz armazenado sob diferentes condições de UR e Uia.

Figura 18 – Índice de acidez dos grãos ao longo do tempo de armazenamento



Letras minúsculas em negrito diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas para o fator tempo, dentro dos níveis de UR e Uia. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças para o fator UR, dentro dos níveis de tempo e Uia. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças para o fator Uia, dentro dos níveis de tempo e UR. As diferenças foram determinadas pelo teste de Tukey a 5% de significância ( $p < 0,05$ ).

O índice de acidez dos grãos de arroz é um indicador da degradação lipídica, resultante da hidrólise de lipídios e da formação de ácidos graxos livres durante o armazenamento. Essas alterações estão associadas ao desenvolvimento de rancidez, perda de qualidade sensorial e redução do pH dos grãos (Cai *et al.*, 2022)

No presente estudo, observou-se um aumento significativo da acidez nos primeiros meses de armazenamento, com pico precoce aos 3 meses, especialmente em grãos com 14,5% de umidade inicial sob 75% de UR, atingindo 0,47%, o maior valor registrado. Esse resultado sugere que, nessas condições, a degradação lipídica ocorreu de forma acelerada, favorecida pela maior disponibilidade de água e pela atividade enzimática intensificada.

A partir dos 6 meses, houve uma redução nos valores de acidez em diversos tratamentos, com destaque para os grãos com 14,5% de umidade inicial sob 75% de UR, que atingiram o menor valor (0,08%). Esse ponto mínimo de acidez pode indicar uma fase de estabilidade química, possivelmente associada à limitação da atividade das lipases ou à neutralização de ácidos graxos por reações secundárias. Esse padrão de queda intermediária seguida de posterior elevação foi comum em vários tratamentos, caracterizando uma curva de oscilação ao longo do tempo.

Ao final dos 12 meses, os valores voltaram a subir, principalmente em UR elevada (75% e 85%), com médias de até 0,44% (10,2% Uia, 75% UR) e 0,42% (10,2% Uia, 85% UR). Esses resultados confirmam que ambientes mais úmidos favorecem o acúmulo de ácidos graxos livres, conforme relatado por An, Zhou e Zhang (2018), que observaram comportamento semelhante em grãos armazenados sob 80% de UR e temperaturas elevadas.

Esse padrão de degradação pode ser explicado pela atividade de lipases endógenas e pela proliferação de microrganismos sob condições higroscópicas favoráveis, intensificando a rancificação hidrolítica e oxidativa (Li *et al.*, 2022). Portanto, a acidez se mostrou sensível ao tempo, à umidade relativa e ao teor de umidade inicial, sendo um marcador relevante da deterioração dos grãos durante o armazenamento.

Os resultados de incidência fúngica estão apresentados em duas tabelas: a Tabela 4 trata-se da incidência de *Alternaria* spp., *Cladosporium* spp. e *Aspergillus* spp. em função da interação entre o tempo de armazenamento e a umidade relativa (UR); já a Tabela 5 apresenta os resultados de *Alternaria* spp., *Cladosporium* spp., *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp., em função da interação entre tempo de armazenamento e umidade inicial dos grãos

Na Tabela 4, *Aspergillus* spp. e *Cladosporium* spp. apresentaram alta incidência no tempo inicial (0 meses), desaparecendo completamente após o 6º mês, independentemente da UR, comportamento típico de fungos de campo conforme descrito por Pinciroli et al. (2013). Esses gêneros são frequentemente encontrados na casca e no farelo do arroz, sendo mais comuns em grãos recém-colhidos.

Por outro lado, *Aspergillus* spp. apresentou comportamento característico de fungo de armazenamento, com baixa incidência inicial, mas aumento expressivo aos 3 meses, especialmente sob UR de 85% (27,7%). A partir desse pico, os valores

diminuíram gradualmente, indicando que o controle da UR e da temperatura foi eficaz em restringir seu crescimento ao longo do tempo.

Tabela 4 – Incidência de *Alternaria* spp., *Cladosporium* spp. e *Aspergillus* spp.

| Tempo (meses) | <i>Alternaria</i> spp. (%) |                            |                             |
|---------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|               | UR 65%                     | UR 75%                     | UR 85%                      |
| 0             | 41,67 ± 14,6 <sup>aA</sup> | 41,67 ± 14,6 <sup>aA</sup> | 41,67 ± 14,60 <sup>aA</sup> |
| 3             | 4,67 ± 1,21 <sup>bC</sup>  | 43,33 ± 3,01 <sup>aA</sup> | 29,17 ± 7,57 <sup>bB</sup>  |
| 6             | 0,00 ± 0,00 <sup>bA</sup>  | 0,17 ± 0,41 <sup>bA</sup>  | 0,00 ± 0,00 <sup>cA</sup>   |
| 9             | 0,00 ± 0,00 <sup>bA</sup>  | 0,00 ± 0,00 <sup>bA</sup>  | 0,00 ± 0,00 <sup>cA</sup>   |
| 12            | 0,00 ± 0,00 <sup>bA</sup>  | 0,00 ± 0,00 <sup>bA</sup>  | 0,00 ± 0,00 <sup>cA</sup>   |

| Tempo (meses) | <i>Cladosporium</i> spp. (%) |                            |                            |
|---------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
|               | UR 65%                       | UR 75%                     | UR 85%                     |
| 0             | 32,83 ± 10,6 <sup>aA</sup>   | 32,83 ± 10,6 <sup>aA</sup> | 32,83 ± 10,6 <sup>aA</sup> |
| 3             | 2,67 ± 1,51 <sup>bB</sup>    | 20,5 ± 3,21 <sup>bA</sup>  | 6,33 ± 2,42 <sup>bB</sup>  |
| 6             | 1,33 ± 0,82 <sup>bA</sup>    | 1,17 ± 1,47 <sup>cA</sup>  | 0,67 ± 0,52 <sup>bA</sup>  |
| 9             | 0,50 ± 1,22 <sup>bA</sup>    | 0,00 ± 0,00 <sup>cA</sup>  | 0,83 ± 0,98 <sup>bA</sup>  |
| 12            | 0,50 ± 1,22 <sup>bA</sup>    | 0,00 ± 0,00 <sup>cA</sup>  | 0,17 ± 0,41 <sup>bA</sup>  |

| Tempo (meses) | <i>Aspergillus</i> spp. (%) |                           |                            |
|---------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|
|               | UR 65%                      | UR 75%                    | UR 85%                     |
| 0             | 6,33 ± 3,93 <sup>aA</sup>   | 6,33 ± 3,93 <sup>bA</sup> | 6,33 ± 3,93 <sup>bA</sup>  |
| 3             | 6,17 ± 1,47 <sup>aB</sup>   | 24,5 ± 4,46 <sup>aA</sup> | 27,67 ± 11,7 <sup>aA</sup> |
| 6             | 5,67 ± 1,21 <sup>aA</sup>   | 4,17 ± 0,75 <sup>bA</sup> | 6,17 ± 2,04 <sup>bA</sup>  |
| 9             | 4,00 ± 2,10 <sup>aA</sup>   | 2,33 ± 1,51 <sup>bA</sup> | 3,67 ± 1,37 <sup>bA</sup>  |
| 12            | 4,00 ± 2,10 <sup>aA</sup>   | 2,33 ± 1,51 <sup>bA</sup> | 4,33 ± 2,88 <sup>bA</sup>  |

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas para o fator tempo dentro de cada nível de UR. Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas para o fator UR dentro de cada tempo de armazenamento, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A Tabela 5 complementa esses achados ao considerar o efeito da umidade inicial dos grãos. De maneira geral, observou-se que os fungos de campo (*Alternaria*, *Cladosporium* e *Fusarium*) apresentaram maior incidência nos primeiros meses, com destaque para os grãos de menor umidade inicial (10,2%), que mostraram valores mais elevados no tempo 0. Essa diferença sugere que grãos mais secos conservaram melhor a contaminação residual da lavoura, enquanto os de maior umidade (14,5%) podem ter sofrido inativação parcial ou menor retenção de esporos. Após o terceiro

mês, a incidência desses fungos caiu drasticamente em ambos os teores de umidade, desaparecendo por completo até o 9º mês, comportamento típico de fungos de campo que não sobrevivem a longo prazo em condições controladas (Mohammadi Shad, Venkitasamy e Atungulu, 2022; Pincioli *et al.*, 2013).

Em contraste, os fungos de armazenamento apresentaram padrão inverso. *Aspergillus spp.* teve um aumento acentuado aos três meses, especialmente nos grãos com 10,2% de umidade inicial (24,0%), indicando maior sensibilidade desse grupo à variação da umidade interna dos grãos. *Penicillium spp.* atingiu rapidamente 100% de incidência em ambos os teores de umidade, mantendo-se constante até o final do armazenamento, o que reforça sua alta adaptabilidade a condições de estocagem, como relatado por Ezzouggari *et al.* (2024).

De forma integrada, os resultados das Tabelas 4 e 5 evidenciam que a dinâmica de ocorrência fúngica nos grãos de arroz é fortemente influenciada pelo tempo de armazenamento, umidade relativa do ar e grau de umidade inicial dos grãos. Os fungos de campo (*Alternaria*, *Cladosporium* e *Fusarium*) apresentaram alta incidência inicial e desaparecimento progressivo ao longo do tempo, independentemente das condições higroscópicas, reforçando seu caráter transitório pós-colheita. Já os fungos de armazenamento (*Aspergillus* e *Penicillium*) mostraram baixa incidência inicial seguida de rápida proliferação, especialmente sob maiores URs e umidade de grão. *Penicillium spp.* destacou-se por sua alta persistência, atingindo 100% de incidência em quase todos os tratamentos a partir do terceiro mês.

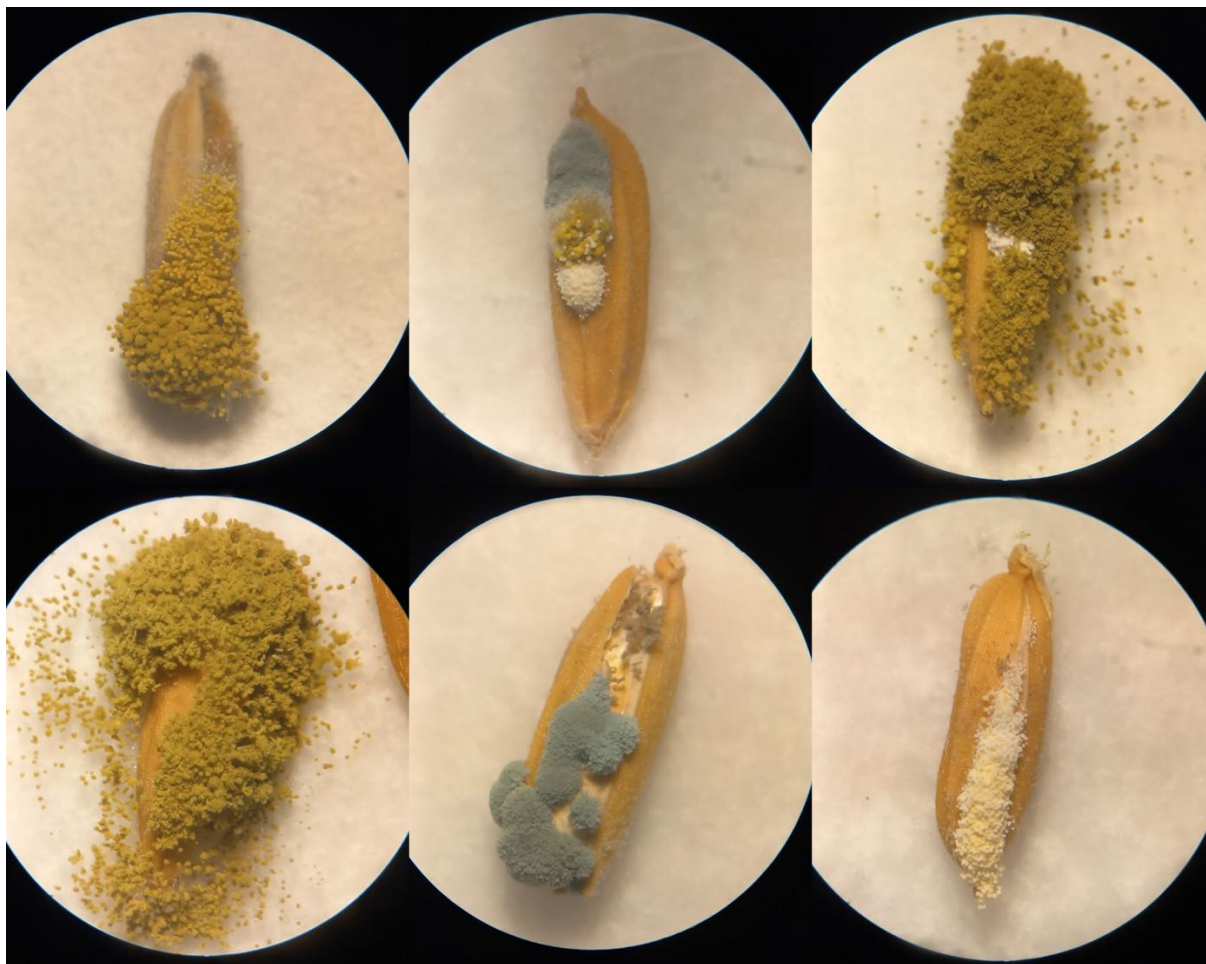
Esses padrões reforçam a importância do controle rigoroso da umidade, tanto do ambiente quanto dos grãos, como estratégia fundamental para preservar a qualidade microbiológica do arroz durante o armazenamento.

Tabela 5 – Incidência de *Alternaria* spp., *Cladosporium* spp., *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp.

| Tempo (meses) | <i>Alternaria</i> spp. (%)   |                             |
|---------------|------------------------------|-----------------------------|
|               | 10,2%                        | 14,5%                       |
| 0             | 53,67 ± 6,50 <sup>aA</sup>   | 29,67 ± 5,77 <sup>aB</sup>  |
| 3             | 28,44 ± 18,30 <sup>bA</sup>  | 23,00 ± 16,3 <sup>aA</sup>  |
| 6             | 0,11 ± 0,33 <sup>cA</sup>    | 0,00 ± 0,00 <sup>bA</sup>   |
| 9             | 0,00 ± 0,00 <sup>cA</sup>    | 0,00 ± 0,00 <sup>bA</sup>   |
| 12            | 0,00 ± 0,00 <sup>cA</sup>    | 0,00 ± 0,00 <sup>bA</sup>   |
| Tempo (meses) | <i>Cladosporium</i> spp. (%) |                             |
|               | 10,2%                        | 14,5%                       |
| 0             | 24,67 ± 5,77 <sup>aB</sup>   | 41,00 ± 5,27 <sup>aA</sup>  |
| 3             | 9,89 ± 6,86 <sup>bA</sup>    | 9,78 ± 9,87 <sup>bA</sup>   |
| 6             | 1,11 ± 1,17 <sup>cA</sup>    | 1,00 ± 0,87 <sup>cA</sup>   |
| 9             | 0,56 ± 0,88 <sup>cA</sup>    | 0,33 ± 1,00 <sup>cA</sup>   |
| 12            | 0,11 ± 0,33 <sup>cA</sup>    | 0,33 ± 1,00 <sup>cA</sup>   |
| Tempo (meses) | <i>Fusarium</i> spp. (%)     |                             |
|               | 10,2%                        | 14,5%                       |
| 0             | 18,00 ± 8,26 <sup>aB</sup>   | 25,67 ± 1,32 <sup>aA</sup>  |
| 3             | 5,00 ± 2,24 <sup>bA</sup>    | 5,00 ± 2,78 <sup>bA</sup>   |
| 6             | 2,78 ± 1,3b <sup>cA</sup>    | 1,00 ± 1,32 <sup>bA</sup>   |
| 9             | 0,67 ± 1,00 <sup>cA</sup>    | 2,11 ± 1,54 <sup>bA</sup>   |
| 12            | 0,22 ± 0,44 <sup>cB</sup>    | 3,44 ± 3,17 <sup>bA</sup>   |
| Tempo (meses) | <i>Aspergillus</i> spp. (%)  |                             |
|               | 10,2%                        | 14,5%                       |
| 0             | 5,00 ± 3,77 <sup>bA</sup>    | 7,67 ± 3,28 <sup>abA</sup>  |
| 3             | 24,00 ± 14,3 <sup>aA</sup>   | 14,89 ± 7,06 <sup>aB</sup>  |
| 6             | 5,89 ± 1,62 <sup>bA</sup>    | 4,78 ± 1,48 <sup>bA</sup>   |
| 9             | 2,78 ± 2,17 <sup>bA</sup>    | 3,89 ± 1,05 <sup>bA</sup>   |
| 12            | 4,00 ± 3,04 <sup>bA</sup>    | 3,11 ± 1,17 <sup>bA</sup>   |
| Tempo (meses) | <i>Penicillium</i> spp. (%)  |                             |
|               | 10,2%                        | 14,5%                       |
| 0             | 78,00 ± 3,97 <sup>bA</sup>   | 43,67 ± 6,61 <sup>bB</sup>  |
| 3             | 98,22 ± 1,86 <sup>aA</sup>   | 99,00 ± 1,41 <sup>aA</sup>  |
| 6             | 99,89 ± 0,33 <sup>aA</sup>   | 100,00 ± 0,00 <sup>aA</sup> |
| 9             | 100,00 ± 0,00 <sup>aA</sup>  | 100,00 ± 0,00 <sup>aA</sup> |
| 12            | 100,00 ± 0,00 <sup>aA</sup>  | 100,00 ± 0,00 <sup>aA</sup> |

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas para o fator tempo dentro de cada nível de umidade inicial do arroz (Uia). Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas para o fator Uia dentro de cada tempo de armazenamento, pelo teste de Tukey a 5% de significância

Figura 19 – Colonização de grãos de arroz por fungos de armazenamento (*Penicillium* spp. e *Aspergillus* spp.) em diferentes estágios de armazenamento



Fonte: Autor

### 6.8 Perfil viscoamilográfico (RVA)

A análise de RVA (Figura 20) foi conduzida com amostras dos tempos 0 e 12 meses para avaliar as propriedades de gelatinização e retrogradação do amido nos grãos de arroz durante o armazenamento. Os parâmetros analisados foram: viscosidade mínima (A), pico de viscosidade (B), viscosidade final (C), quebra de viscosidade (D), retrogradação (E) e tempo de pico (F).

O Rapid Visco Analyzer (RVA) é uma ferramenta fundamental para caracterizar as propriedades viscoamilográficas, auxiliando na compreensão das mudanças estruturais do amido e sua interação com componentes como proteínas e lipídios.

Os resultados indicam que o armazenamento influenciou significativamente os parâmetros de viscosidade, com destaque para o aumento da viscosidade mínima (A) e final (C) após 12 meses, especialmente sob UR de 85% em grãos com 14,5% de umidade inicial (2976 cP e 6181 cP, respectivamente). Esse comportamento sugere maior resistência térmica dos grânulos, possivelmente associada à reorganização do amido e à formação de ligações dissulfeto entre proteínas, limitando o inchaço e a desintegração (Shi, Wu e Quan, 2017).

Além disso, conforme Shi, Wu e Quan (2017), a oxidação da glutelina durante o envelhecimento do arroz promove alterações na viscosidade máxima, quebra de viscosidade, viscosidade final e retrogradação, modificando a capacidade do amido de ligar-se à água durante a gelatinização. Essa mudança estrutural pode reduzir a solubilidade dos grânulos, intensificando os efeitos observados em grãos armazenados sob UR elevada.

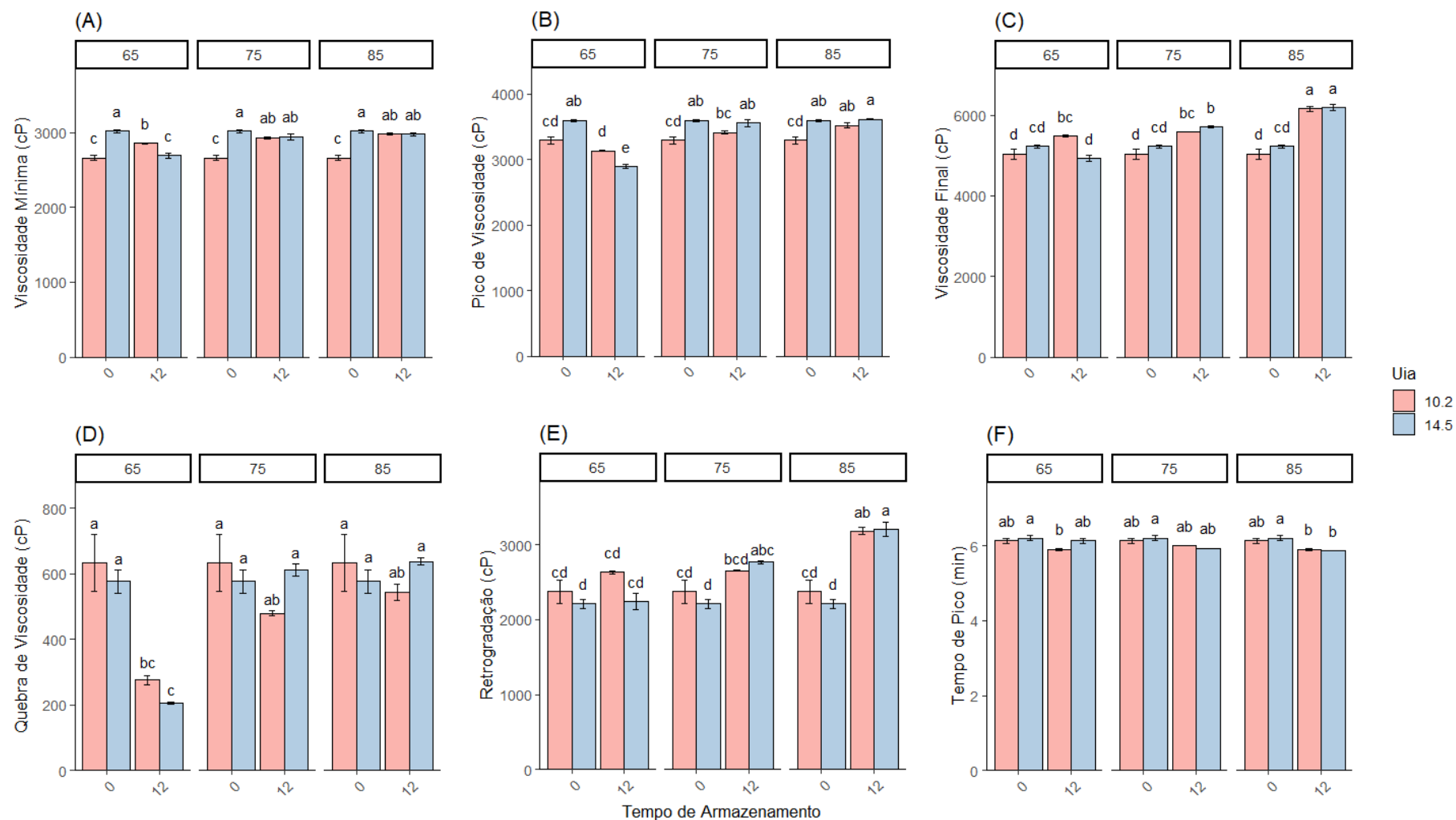
O pico de viscosidade (B) foi reduzido após 12 meses, principalmente sob UR de 65% e 10,2% de umidade inicial, indicando maior degradação estrutural dos grânulos. Esse parâmetro reflete a máxima absorção de água, sendo fortemente influenciado pela amilose e pelas interações com lipídeos (Kong *et al.*, 2015)

A quebra de viscosidade (D) apresentou queda acentuada ao longo do armazenamento, chegando ao mínimo de 205 cP (65% UR / 14,5% Uia), o que sugere maior estabilidade térmica. Esse comportamento reforça a hipótese de que ambientes mais secos reduzem a degradação do amido, preservando sua estrutura molecular por mais tempo (Wang *et al.*, 2022; Ziegler *et al.*, 2016).

Já a retrogradação (E) aumentou significativamente sob UR de 85%, atingindo 3296 cP, evidenciando maior recristalização do amido após o resfriamento, fenômeno característico do arroz envelhecido. Segundo Tian et al. (2025), esse comportamento pode estar relacionado à reorganização estrutural da amilose, tornando os grânulos mais rígidos e menos suscetíveis à solubilização.

O tempo de pico (F) variou entre 5,87 e 6,27 minutos, sem uma tendência clara entre os tratamentos, indicando que o tempo necessário para atingir o máximo de viscosidade não foi significativamente afetado pelo armazenamento.

Figura 20 – Perfil viscoamilográfico (RVA) da farinha de arroz polido ao longo do tempo de armazenamento em diferentes condições de UR e Uia



Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças estatísticas significativas entre si, conforme o teste de Tukey a 5% de significância.

## 6.9 Análise multivariada das variáveis de qualidade do arroz armazenado

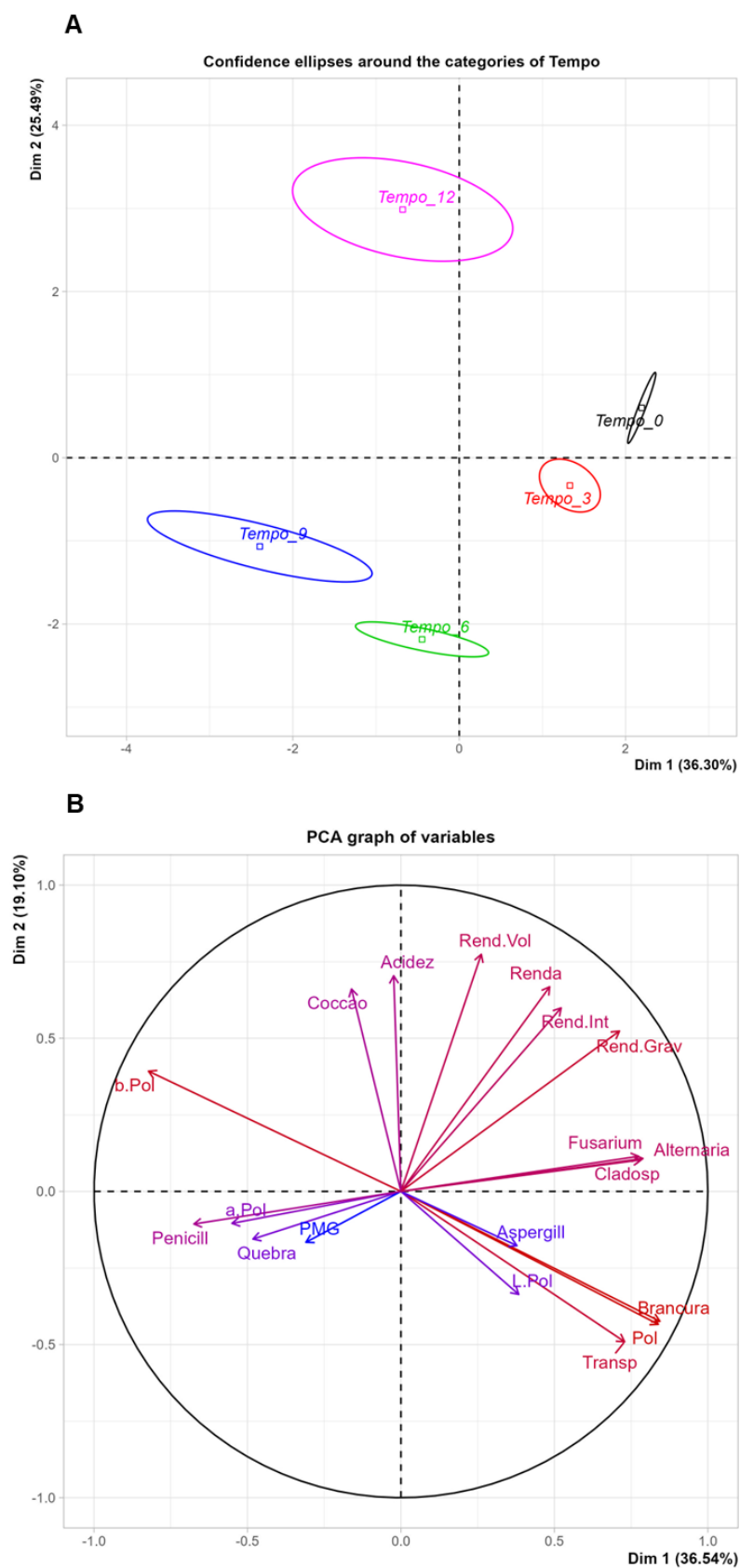
A Figura 21 apresenta a análise de componentes principais (PCA), que permite visualizar a distribuição das amostras e a relação entre as variáveis de qualidade dos grãos ao longo do armazenamento. Já a Figura 22 mostra a matriz de correlação de Pearson entre as variáveis avaliadas, destacando associações positivas e negativas relevantes entre os parâmetros físico-químicos, tecnológicos e microbiológicos.

No Gráfico A, observa-se uma clara distinção entre as amostras dos tempos 0 e 12 meses, indicando mudanças químicas, físicas e microbiológicas nos grãos ao longo do armazenamento. A separação dos grupos por tempo mostra um padrão progressivo de transformação das amostras, com os tempos intermediários (3, 6 e 9 meses) posicionados entre os extremos, reforçando a influência crescente das condições de armazenamento sobre a qualidade dos grãos.

No Gráfico B, os fungos de campo (*Fusarium*, *Cladosporium* e *Alternaria*) estão dispostos em direção oposta ao *Penicillium*, indicando o comportamento antagônico desses grupos: os primeiros predominam nos estágios iniciais, enquanto o segundo se intensifica ao longo do tempo. Variáveis relacionadas à aparência dos grãos, como brancura, transparência e polimento, apresentam correlação positiva entre si e estão associadas ao tempo inicial, enquanto o parâmetro  $b^*$  de cor ( $b.Pol$ ), indicador de amarelecimento, aparece em sentido oposto, sugerindo que o armazenamento tende a intensificar essa coloração.

Além disso, observa-se que variáveis associadas ao desempenho industrial, como rendimento de inteiros, renda de benefício e rendimento volumétrico, estão agrupadas em uma mesma direção, reforçando a relação entre essas variáveis. A acidez também se alinha com essas variáveis, sugerindo possível influência do tempo e das condições de armazenamento na sua elevação. A variável quebra técnica aparece mais isolada e levemente oposta ao rendimento de inteiros, indicando uma relação negativa, como esperado.

Figura 21 – Gráfico dos indivíduos (A) e gráfico das variáveis (B)

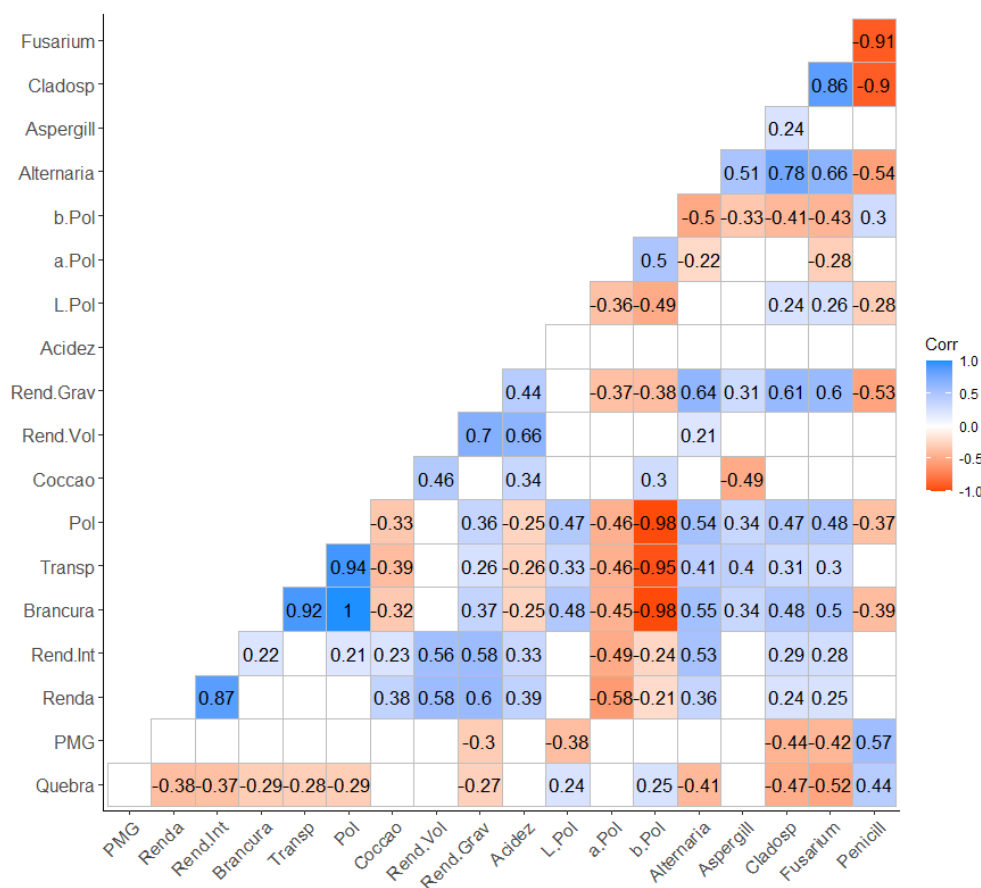


A matriz de correlação de Pearson (Figura 22) revelou relações importantes entre os parâmetros físico-químicos de qualidade do arroz. Destacaram-se correlações positivas elevadas entre brancura, transparência e polimento ( $r > 0,92$ ), sugerindo que grãos mais polidos tendem a ser mais claros e translúcidos, o que está associado à remoção das camadas externas pigmentadas.

Entre os microrganismos, os fungos de campo *Alternaria spp.*, *Cladosporium spp.* e *Fusarium spp.* apresentaram correlações positivas entre si ( $r = 0,78$  a  $0,86$ ), indicando padrões semelhantes de ocorrência nos estágios iniciais do armazenamento. Esses resultados refletem a presença predominante desses fungos logo após a colheita, antes de serem suprimidos pelas condições ambientais mais estáveis impostas durante o período de estocagem.

Por outro lado, *Penicillium spp.* apresentou forte correlação negativa com os fungos de campo, especialmente com *Fusarium spp.* ( $-0,91$ ) e *Cladosporium spp.* ( $-0,90$ ), evidenciando uma substituição da microbiota ao longo do tempo.

Figura 22 – Análise de correlação de Pearson



## 7 Considerações finais e conclusões

O presente estudo permitiu avaliar os efeitos do tempo, da umidade relativa do ar e do grau de umidade inicial sobre a qualidade de grãos de arroz armazenados, com base em atributos físicos, químicos e microbiológicos. A análise integrada dos dados revelou que o armazenamento promove transformações significativas na estrutura e composição dos grãos, com impacto direto sobre o rendimento industrial, a aparência visual, as propriedades de cocção e a estabilidade microbiológica.

Observou-se que condições inadequadas de armazenamento, especialmente sob alta umidade relativa e por períodos prolongados, resultaram em maior perda de massa e redução dos rendimentos, além de alterações nos parâmetros visuais, como brancura, transparência e grau de polimento. Esses atributos apresentaram correlações positivas entre si, indicando que a preservação da aparência dos grãos está diretamente relacionada à sua qualidade visual e ao desempenho industrial. A análise viscoamilográfica demonstrou modificações nas propriedades térmicas do amido com o envelhecimento, evidenciando alterações no processo de gelatinização e retrogradação, que afetam a textura final do arroz cozido.

As análises multivariadas reforçaram esses resultados. A correlação de Pearson evidenciou relações significativas entre os atributos avaliados, como a associação positiva entre rendimento e qualidade visual, e a correlação negativa entre perda de massa (quebra técnica) e desempenho industrial. Além disso, observou-se uma transição no perfil fúngico ao longo do armazenamento, com redução de fungos de campo e aumento da incidência de fungos de armazenamento. Essa dinâmica foi confirmada pela análise de componentes principais (PCA), que evidenciou separações claras entre os tratamentos e destacou alterações significativas no perfil dos grãos após 12 meses.

Conclui-se que o controle adequado da umidade dos grãos e das condições ambientais durante o armazenamento é essencial para preservar a qualidade do arroz ao longo do tempo. Estratégias que promovam a redução da umidade relativa e limitem o tempo de armazenagem em condições críticas são fundamentais para minimizar perdas quantitativas e qualitativas.

## 8 Referências

ABIARROZ. **Balança Comercial do Arroz**, 2024.

AMATO, G. W.; ELIAS, M. C. **A Parboilização do Arroz**. 1. ed. Porto Alegre: Ricardo Lenz, 2005.

AN, Y.; ZHOU, X.; ZHANG, Y. Changes in Physicochemical, Cooking and Sensory Characteristics of Rice Shifted from Low-temperature Storage. **Grain & Oil Science and Technology**, v. 1, n. 1, p. 8–14, 1 jan. 2018.

ATUNGULU, G. G.; THOTE, S.; WILSON, S. Dry matter loss for hybrid rough rice stored under reduced-oxygen conditions. **Cereal Chemistry**, v. 94, n. 3, p. 497–501, 1 maio 2017.

BANDARA, A. G. A.; BATUGAHAGE, B. D. U. R.; PRASANTHA, B. D. R.; SENANAYAKE, D. M. J. B. Impact of Amylose Content on Physical Properties, Cooking Qualities, and Water Absorption of Long-Grain Basmati-Type Rice (*Oryza sativa* L.) Varieties. **Ceylon Journal of Science**, v. 54, n. 1, p. 213–222, 1 mar. 2025.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**, 2009.

BUTARDO, V. M.; SREENIVASULU, N. Improving head rice yield and milling quality: State-of-the-art and future prospects. *Em: Methods in Molecular Biology*. [s.l.] Humana Press Inc., 2019. v. 1892p. 1–18.

CAI, C.; ZHAO, Z.; ZHANG, Y.; LI, M.; LI, L.; CHENG, P.; SHEN, W. Molecular Hydrogen Improves Rice Storage Quality via Alleviating Lipid Deterioration and Maintaining Nutritional Values. **Plants**, v. 11, n. 19, 1 out. 2022.

CHOI, B. M.; LANNING, S. B.; SIEBENMORGEN, T. J. A Review of Hygroscopic Equilibrium Studies Applied to Rice. **Transactions of the ASABE**, v. 53, n. 6, p. 1859–1872, 2010.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Safra 2023/24 - 12º Levantamento** Brasília, DF, set. 2024. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 21 jan. 2025

DILLAHUNTY, A. L.; SIEBENMORGEN, T. J.; BUESCHER, R. W.; SMITH, D. E.; MAUROMOUSTAKOS, A. **Effect of Moisture Content and Temperature on Respiration Rate of Rice 1**.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. DE; VANIER, N. L.; GULARTE, M. A.; MONCKES, J. L. F.; POHNDORF, R. S.; AMATO, G. W. Protocolo Tecnológico-Operacional para Armazenamento e Qualidade de Arroz para Indústria. *Em: Perdas em transporte e armazenagem de grãos: Panorama atual e perspectivas*. [s.l.] Conab, 2021. p. 159–178.

EMBRAPA. **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**. 1. ed. Brasília, DF.

EZZOUGGARI, R.; TAOUSSI, M.; RADI, M.; KHADIRI, M.; LAASLI, S.-E.; LAHLALI, R. **New Alternatives to Preserve Fresh Vegetables and Fruits from Postharvest Fungal Spoilage**. [s.l.] Springer International Publishing, 2024. v. 1

FONTES, L. S.; ALMEIDA FILHO, A. J. DE; ARTHUR, V. Danos causados por *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) e *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) em cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 70, n. 3, p. 303–307, jul. 2003.

GONELI, A. L. D. Perdas de Grãos no Brasil: Abordagens e Iniciativas Mitigatórias. *Em*: Brasília, DF: Conab, 2021. p. 75–86.

HAYDON, K. N. **Effects of Delayed Drying and Storage Conditions on Milling, Color, and Viscosity Properties of Rice Part of the Agronomy and Crop Sciences Commons, Food Biotechnology Commons, and the Food Processing Commons**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://scholarworks.uark.edu/etdhttp://scholarworks.uark.edu/etd/1575>>.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo.

IRGA. **Boletim de Resultados da Safra 2023/24 em Terras Baixas: Arroz Irrigado e Soja em Rotação**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://irga.rs.gov.br/boletim-de-resultados>>. Acesso em: 21 jan. 2025.

KONG, X.; ZHU, P.; SUI, Z.; BAO, J. Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinisation temperature combinations. **Food Chemistry**, v. 172, p. 433–440, 1 abr. 2015.

LAMARK, C. I.; BARBOSA, E. G.; JORDÃO, A. K. Sodium Nitrite (NaNO<sub>2</sub>): An Impressive and Efficient Nitrating/Nitrosating Reagent in Organic Synthesis. **SynOpen**, v. 09, n. 01, p. 84–104, 13 mar. 2025.

LI, X.; HE, Y.; XIE, Y.; ZHU, D.; YANG, L.; WANG, S.; LIU, H. Effect of catalase on lipid oxidation and flavor substances of  $\alpha$ - instant rice during storage. **Food Science and Technology (Brazil)**, v. 42, 2022.

LIU, W.; YIN, T.; ZHAO, Y.; WANG, X.; WANG, K.; SHEN, Y.; DING, Y.; TANG, S. Effects of High Temperature on Rice Grain Development and Quality Formation Based on Proteomics Comparative Analysis Under Field Warming. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 21 out. 2021.

MAPA. **Instrução Normativa nº6**, fev. 2009. Disponível em: <<https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=1687046295>>

MAPA. **Instrução Normativa nº2**, fev. 2012. Disponível em: <<https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=918108049>>

MINOLTA, K. **Controle de cor da indústria de cuidados pessoais: Medição e Análise de cor da pele**.

MOHAMMADI SHAD, Z.; VENKITASAMY, C.; ATUNGULU, G. **Fungi and Mycotoxin in Rice: Concerns, Causes, and Prevention Strategies**. Springer, 2022.

MOHAPATRA, D.; BAL, S. Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions. **Journal of Food Engineering**, v. 73, n. 3, p. 253–259, abr. 2006.

NICHOLAS, D.; CHUA, H. P.; ROSNIYANA, A.; HAZILA, K. K. Effects of aging on physico-chemical properties, nutritional compositions and cooking characteristics of Bario rice. **Journal of Tropical Agriculture and Food Science**, v. 41, p. 239–248, 2013.

OLIVEIRA, A. C.; PEGORARO, C.; VIANA, V. E. **The Future of Rice Demand: Quality Beyond Productivity**. Cham: Springer International Publishing, 2020.

PINCIROLI, M.; GRIBALDO, A.; VIDAL, A.; BEZUS, R.; SISTERNA, M. **Mycobiota evolution during storage of paddy, brown and milled rice in different genotypes** *Summa Phytopathol.*

PRAKASH, B.; SIEBENMORGEN, T. J.; GIBSON, K. E.; KUMARI, S. Effect of storage moisture content on milling characteristics of rough rice. **Transactions of the ASABE**, v. 62, n. 4, p. 1011–1019, 2019.

SHAD, Z. M.; STEEN, E.; ATUNGULU, G. G. **Multivariate analysis of rice discoloration and biochemical changes associated with rice storage** 2019 ASABE Annual International Meeting. **Anais...** American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2019

SHAH, F.; KHAN, Z.; IQBAL, A.; TURAN, M.; OLGUN, M. **Recent Advances in Grain Crops Research**. London, United Kingdom.

SHI, J.; WU, M.; QUAN, M. Effects of protein oxidation on gelatinization characteristics during rice storage. **Journal of Cereal Science**, v. 75, p. 228–233, 1 maio 2017.

SHI, S.; ZHANG, G.; ZHAO, D.; MA, J.; WANG, X.; CHEN, D.; LIU, J.; WANG, J.; LI, L.; CAO, C.; JIANG, Y. Changes in water absorption and morphology of rice with different eating quality during soaking. **European Food Research and Technology**, v. 249, n. 3, p. 759–766, 1 mar. 2023.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. **Arroz. Importância econômica e social**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/socioeconomia/importancia-economica-e-social>>. Acesso em: 21 jan. 2025.

SINDARROZ-RS. **Acompanhamento das exportações brasileiras de arroz**.

SMIDERLE, O. J.; DIAS, C. T. DOS S. Época de colheita e armazenamento de sementes de arroz produzidas no cerrado de Roraima. **Revista Agro@mbiente on-line**, v. 5, n. 1, p. 12, 30 abr. 2011.

SOSBAI. **Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. 33. ed. Restinga Seca: Sociedade Sul-brasileira de Arroz Irrigado, 2022.

TIAN, J.; JI, G.; ZHANG, J.; LUO, D.; ZHANG, F.; LI, L.; JIANG, M.; ZHU, D.; LI, M. Evaluation of Rice Quality Storage Stability: From Variety Screening to Trait Identification. **Plants**, v. 14, n. 3, 1 fev. 2025.

VANIER, N. L. **Parâmetros da qualidade do arroz para a indústria**. Disponível em: <<https://planetaarroz.com.br/parametros-da-qualidade-do-arroz-para-a-industria/>>. Acesso em: 22 jan. 2025.

WANG, K.; WAMBUGU, P. W.; ZHANG, B.; WU, A. C.; HENRY, R. J.; GILBERT, R. G. The biosynthesis, structure and gelatinization properties of starches from wild and cultivated African rice species (*Oryza barthii* and *Oryza glaberrima*). **Carbohydrate Polymers**, v. 129, p. 92–100, 4 maio 2015.

WANG, Q.; ZHANG, D.; ZHAO, L.; LIU, J.; SHANG, B.; YANG, W.; DUAN, X.; SUN, H. Metabolomic Analysis Reveals Insights into Deterioration of Rice Quality during Storage. **Foods**, v. 11, n. 12, 1 jun. 2022.

WENDT, M. **Termometria e Aeração - Guia Prático para Armazenagem de Grãos**. 2. ed. Panambi - RS: Revista e Ampliada, 2021.

XING, Y. H.; LU, H.; ZHU, X.; DENG, Y.; XIE, Y.; LUO, Q.; YU, J. **How Rice Responds to Temperature Changes and Defeats Heat Stress** RiceSpringer, , 1 dez. 2024.

YADAV, B. K.; JINDAL, V. K. Dimensional changes in milled rice (*Oryza sativa* L.) kernel during cooking in relation to its physicochemical properties by image analysis. **Journal of Food Engineering**, v. 81, n. 4, p. 710–720, ago. 2007.

ZEYMER, J. S. **Equilíbrio Higroscópico e Análise Termodinâmica da Sorção de Água em Grãos de Arroz em Casca**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2017.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Effect of storage temperature on rice thermal properties. **Food Research International**, v. 43, n. 3, p. 709–715, abr. 2010.

ZHU, D.; ZHANG, H.; GUO, B.; XU, K.; DAI, Q.; WEI, C.; ZHOU, G.; HUO, Z. Effects of nitrogen level on structure and physicochemical properties of rice starch. **Food Hydrocolloids**, v. 63, p. 525–532, 1 fev. 2017.

ZIEGLER, V.; DIETRICH FERREIRA, C.; TIAGO SCHWANZ GOEBEL, J.; BATISTA, A.; CARDOSO ELIAS, M. **Efeitos da temperatura de armazenamento sobre as propriedades tecnológicas e sensoriais de arroz integral de pericarpo pardo, preto e vermelho** RESUMO Brazilian Journal of Food Research. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa>>.

ZIEGLER, V.; FERREIRA, C. D.; HOFFMANN, J. F.; CHAVES, F. C.; VANIER, N. L.; OLIVEIRA, M. DE; ELIAS, M. C. Cooking quality properties and free and bound phenolics content of brown, black, and red rice grains stored at different temperatures for six months. **Food Chemistry**, v. 242, p. 427–434, 1 mar. 2018.

ZIEGLER, V.; PARAGINSKI, R. T.; FERREIRA, C. D. **Grain storage systems and effects of moisture, temperature and time on grain quality - A review** *Journal of Stored Products Research* Elsevier Ltd, 1 mar. 2021.