



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)  
ESCOLA DE AGRONOMIA (EA)  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

FLOR DE MARIA REYES

**Bebida funcional de arroz geneticamente melhorado, suplementada com  
extrato natural de betacaroteno da cenoura**

GOIÂNIA - GO  
2026



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE AGRONOMIA

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação     Tese

### 2. Nome completo do autor

Flor de Maria Moncada Reyes

### 3. Título do trabalho

BEBIDA FUNCIONAL DE ARROZ GENETICAMENTE MELHORADO, SUPLEMENTADA COM EXTRATO NATURAL DE BETACAROTENO DA CENOURA

### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

**[1]** Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

**a)** consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

**b)** novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Ramirez Asquieri, Professor do Magistério Superior**, em 04/05/2026, às 14:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flor De Maria Moncada Reyes, Discente**, em 04/05/2026, às 23:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **6170280** e o código CRC **432F0755**.

FLOR DE MARIA REYES

**Bebida funcional de arroz geneticamente melhorado, suplementada com extrato natural de betacaroteno da cenoura**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Escola de Agronomia (EA) da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do título de Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos

Orientador(a): Dr. Eduardo Ramirez Asquieri

Coorientador(a): Dra. Aline Gomes de Moura e Silva

GOIÂNIA  
2026

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Reyes, Flor de Maria  
Bebida funcional de arroz geneticamente melhorado, suplementada com extrato natural de betacaroteno da cenoura [Manuscrito] / Flor de Maria Reyes. - 2026.

82 f.: il. 2026

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Ramirez Asquieri; co-orientadora: Dra. Aline Gomes de Moura e Silva

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Goiânia, 2026.

Ilustrações.

Bibliografia.

Inclui: siglas, símbolos, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Bebida Funcional, Arroz Biofortificado, B-caroteno e Compostos Bioativos..

I. Asquieri, Eduardo Ramirez, orient. II. Silva, Aline Gomes de Moura e, co-orient.

III. Título.

CDU 664



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE AGRONOMIA

### ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **6/2026** da sessão de Defesa de Dissertação de **Flor de Maria Moncada Reyes**, que confere o título de Mestra em **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, na área de concentração em **Ciência e Tecnologia de Alimentos**.

Aos dezenove dias do mês de fevereiro de dois mil e vinte e seis, a partir das 09h, no Auditório da Faculdade de Farmácia/UFG, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada "BEBIDA FUNCIONAL DE ARROZ GENETICAMENTE MELHORADO, SUPLEMENTADA COM EXTRATO NATURAL DE BETACAROTENO DA CENOURA". Os trabalhos foram instalados pelo orientador, Professor Doutor Eduardo Ramirez Asquieri (FF/UFG), com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Doutora Gabriela Silva Mendes Coutinho, membro titular externo; e Doutora Ana Carolina de Jesus Oliveira, membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Eduardo Ramirez Asquieri, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos dezenove dias do mês de fevereiro de dois mil e vinte e seis.

#### TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Ramirez Asquieri, Professor do Magistério Superior**, em 04/05/2026, às 09:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gabriela Silva Mendes Coutinho, Usuário Externo**, em 04/05/2026, às 09:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Carolina De Jesus Oliveira, Usuário Externo**, em 04/05/2026, às 11:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **6168308** e o código CRC **77FA37AA**.

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	3
<b>2.1. Arroz.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Classificação taxonômica do arroz.....</b>	<b>4</b>
<b>2.3. Bebidas funcionais.....</b>	<b>5</b>
<b>2.4. Cenoura e o Composto Betacaroteno .....</b>	<b>6</b>
<b>2,5 Métodos de extração.....</b>	<b>9</b>
3. OBJETIVOS .....	10
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	11
<b>4.1. Matéria-prima .....</b>	<b>11</b>
<b>4.2. Caracterização nutricional do arroz.....</b>	<b>11</b>
<b>4.3. Extração alcoólica de betacaroteno por maceração e percolação.....</b>	<b>16</b>
<b>4.4. Análises do extrato de Betacaroteno.....</b>	<b>18</b>
<b>4.5. Elaboração das bebidas funcionais .....</b>	<b>18</b>
<b>4.6. Caracterização nutricional das bebidas funcionais.....</b>	<b>21</b>
<b>4.7. Análise estatística .....</b>	<b>23</b>
5. RESULTADOS.....	24
<b>5.1. Caracterização nutricional do grão de arroz das duas variedades (CT e FL).....</b>	<b>24</b>
<b>5.2. Determinação de viscosidade no grão de arroz .....</b>	<b>28</b>
<b>5.3. Análises da cor no grão de arroz.....</b>	<b>29</b>
<b>5.4. Análises de minerais no grão de arroz.....</b>	<b>31</b>
<b>5.5. Análises da capacidade antioxidante do arroz.....</b>	<b>33</b>
<b>5.6. Análises do extrato de betacaroteno .....</b>	<b>35</b>
<b>5.7. Análises de antioxidante no extrato de betacaroteno.....</b>	<b>36</b>
<b>5.8. Caracterização nutricional das bebidas funcionais.....</b>	<b>38</b>
<b>5.9. Análise de betacaroteno e carotenoides totais nas bebidas funcionais .....</b>	<b>41</b>
<b>5.10. Análise colorimétrica das bebidas funcionais .....</b>	<b>43</b>
<b>5.11. Análise de compostos orgânicos voláteis .....</b>	<b>44</b>
<b>5.12. Análise de minerais nas bebidas funcionais .....</b>	<b>47</b>
<b>5.13. Análise de antioxidante na bebida funcional e a bebida controle.....</b>	<b>49</b>
<b>5.14. Análise microbiológica das bebidas funcionais.....</b>	<b>52</b>
6. CONCLUSÃO .....	55
7. REFERÊNCIAS .....	57

## **Tabelas.**

<b>Tabela 1.</b> Ingredientes da formulação das bebidas funcionais .....	19
<b>Tabela 2.</b> Caracterização nutricional dos grãos de arroz das variedades CT e FL .....	24
<b>Tabela 3.</b> Determinação de viscosidade dos grãos de arroz das variedades CT e FL .....	29
<b>Tabela 4.</b> Análise colorimétrica dos grãos de arroz das variedades CT e FL.....	30
<b>Tabela 5.</b> Análises de minerais dos grãos de arroz das variedades CT e FL.....	31
<b>Tabela 6.</b> Análise da capacidade antioxidante dos grãos de arroz das variedades CT e FL expressa em $\mu\text{mol TE/g}$ . .....	33
<b>Tabela 7.</b> Análises do extrato alcoólico de betacaroteno extraído da cenoura .....	35
<b>Tabela 8.</b> Análises de antioxidante no extrato de betacaroteno.....	37
<b>Tabela 9.</b> Caracterização nutricional das bebidas funcionais .....	38
<b>Tabela 10.</b> Análise de betacaroteno e carotenoides totais das bebidas funcionais .....	41
<b>Tabela 11.</b> Análise colorimétrica das bebidas funcionais .....	43
<b>Tabela 12.</b> Análise de compostos orgânicos voláteis das bebidas funcionais .....	45
<b>Tabela 13.</b> Análise de minerais ( $\text{mg}/100\text{mL}$ ) das bebidas funcionais .....	47
<b>Tabela 14.</b> Análise da capacidade antioxidante das bebidas funcionais comparando com a bebida controle e expressa em $\mu\text{mol TE/mL}$ .....	49
<b>Tabela 15.</b> Análise microbiológica das bebidas funcionais.....	52

## **Figuras.**

<b>Figura 1.</b> Morfologia do arroz.....	3
<b>Figura 2.</b> Extração alcoólica de betacaroteno por maceração e percolação .....	17
<b>Figura 3.</b> Fluxograma de elaboração das bebidas funcionais .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 4.</b> Bebida Funcional .....	20
<b>Figura 5.</b> Determinação de viscosidade dos grãos de arroz das variedades CT e FL.....	28
<b>Figura 6.</b> Cromatograma dos compostos voláteis identificados na bebida funcional CT .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 7.</b> Cromatograma dos compostos voláteis identificados na bebida funcional FL.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## RESUMO

Este estudo desenvolveu e caracterizou bebidas funcionais elaboradas a partir de arroz geneticamente melhorado (variedade CT-BioZn35 de origem CIAT e liberada pelo Fedearroze e a linhagem FL18064-2P- 8SR-3P-SR-M-1SR-M de origem FLAR) suplementadas com extrato natural de  $\beta$ -caroteno de cenoura, com o objetivo de avaliar qualidade nutricional, teor de minerais, atividade antioxidante, propriedades físico-químicas, perfil volátil e segurança microbiológica. O processo de obtenção incluiu a utilização da água de cocção do arroz como base líquida, seguida da incorporação do extrato de  $\beta$ -caroteno de cenoura e adição de sacarose, configurando uma estratégia de aproveitamento de subprodutos e agregação de valor tecnológico à matriz vegetal. As matérias-primas apresentaram perfis complementares: a linhagem FL destacou-se pelo maior teor proteico, enquanto CT apresentou melhor perfil mineral. Essas características refletiram-se nas bebidas, que apresentaram presença de minerais como ferro, zinco, potássio, fósforo, cálcio e magnésio, demonstrando que o uso de arroz biofortificado contribuiu para elevar o aporte de micronutrientes mesmo em uma matriz líquida diluída. Esses resultados reforçam o potencial da biofortificação como ferramenta para melhorar a qualidade nutricional de alimentos de amplo consumo. A incorporação do extrato de cenoura promoveu adição significativa de  $\beta$ -caroteno e carotenoides totais, resultando em aumento da atividade antioxidante (ABTS, DPPH e FRAP) e conferindo coloração amarelo-alaranjada natural ao produto, sem necessidade de corantes sintéticos. Observou-se também contribuição dos carotenoides para o fortalecimento do perfil funcional da bebida, associando propriedades antioxidantes à melhoria do valor nutricional. As bebidas apresentaram elevada umidade (~85%), baixo teor lipídico, sólidos solúveis entre 12–14°Brix, pH ácido (~4,0) e valor energético reduzido (~60 kcal/100mL), características associadas à estabilidade físico-química, leveza sensorial e adequação a diferentes perfis de consumidores. A análise de compostos voláteis indicou presença de ésteres associados a notas frutadas, contribuindo para um perfil aromático compatível com bebidas vegetais. As análises microbiológicas atenderam aos padrões da legislação brasileira, confirmando segurança para consumo e evidenciando a eficácia das barreiras tecnológicas aplicadas. Em síntese, a bebida desenvolvida combina carotenoides, minerais essenciais, atividade antioxidante, estabilidade tecnológica e segurança microbiológica, configurando alternativa funcional, sustentável e nutricionalmente superior para o mercado de bebidas vegetais, além de evidenciar a integração entre inovação tecnológica, biofortificação e aproveitamento de recursos alimentares. Os resultados obtidos reforçam o potencial dessa abordagem como estratégia viável para o desenvolvimento de produtos com valor agregado, alinhados às demandas atuais por alimentos mais saudáveis, naturais e sustentáveis, contribuindo para a promoção da saúde e a diversificação de opções nutricionais no setor de bebidas vegetais.

**Palavras-chave:** Bebida funcional, arroz biofortificado,  $\beta$ -caroteno e compostos bioativos.

# **FUNCTIONAL BEVERAGE FROM GENETICALLY IMPROVED RICE SUPPLEMENTED WITH NATURAL CARROT BETA-CAROTENE EXTRACT**

## **ABSTRACT**

This study developed and characterized functional beverages produced from genetically improved rice (CT-BioZn35 variety, originating from CIAT and released by Fedearroz, and the FL18064-2P-8SR-3P-SR-M-1SR-M line, originating from FLAR) supplemented with natural carrot  $\beta$ -carotene extract, aiming to evaluate nutritional quality, mineral content, antioxidant activity, physicochemical properties, volatile profile, and microbiological safety. The production process included the use of rice cooking water as the liquid base, followed by the incorporation of the carotenoid extract and sucrose, representing a strategy for by-product utilization and technological value addition to a plant-based matrix. The raw materials showed complementary profiles: FL stood out for its higher protein content, whereas CT showed faster cooking, with looser grains and a uniformly firm texture. These characteristics were reflected in the beverages, which contained minerals such as iron, zinc, potassium, phosphorus, calcium, and magnesium, demonstrating that the use of biofortified rice contributes to increasing micronutrient intake even in a diluted liquid matrix. These findings reinforce the potential of biofortification as a tool to improve the nutritional quality of widely consumed foods. The incorporation of carrot extract promoted a significant addition of  $\beta$ -carotene and total carotenoids, resulting in increased antioxidant activity (ABTS, DPPH, and FRAP) and providing a natural yellow-orange color to the product without the need for synthetic colorants. Carotenoids also contributed to strengthening the functional profile of the beverage by associating antioxidant properties with improved nutritional value. The beverages presented high moisture (~85%), low lipid content, soluble solids between 12–14 °Brix, acidic pH (~4.0), and reduced energy value (~60 kcal/100 mL), characteristics associated with physicochemical stability, sensory lightness, and suitability for different consumer profiles. Volatile compound analysis indicated the presence of esters associated with fruity notes, contributing to an aromatic profile compatible with plant-based beverages. Microbiological analyses met Brazilian legislation standards, confirming safety for consumption and demonstrating the effectiveness of the applied technological barriers. In summary, the developed beverage combines carotenoids, essential minerals, antioxidant activity, technological stability, and microbiological safety, representing a functional, sustainable, and nutritionally superior alternative for the plant-based beverage market, while also highlighting the integration of technological innovation, biofortification, and food resource utilization. The results reinforce the potential of this approach as a viable strategy for developing value-added products aligned with current demands for healthier, more natural and sustainable foods, contributing to health promotion and the diversification of nutritional options in the plant-based beverage sector.

**Key words:** Functional beverage; biofortified rice;  $\beta$ -carotene; bioactive compounds.

# 1. INTRODUÇÃO

As bebidas funcionais constituem um dos segmentos de maior crescimento dentro dos alimentos funcionais, devido à sua capacidade de oferecer benefícios à saúde que vão além da nutrição básica (Jahangeer et al., 2025). Sua demanda é impulsionada pela maior conscientização dos consumidores sobre saúde, nutrição e sustentabilidade, bem como pela preferência por ingredientes naturais em vez de formulações sintéticas (Chaudhary et al., 2025). Essas bebidas combinam hidratação com a incorporação de compostos bioativos, como vitaminas, minerais, antioxidantes ou probióticos, obtidos de fontes vegetais ou microbianas (Jahangeer et al., 2025). As formulações à base de frutas, vegetais e cereais se destacam pela popularidade e pelos benefícios associados, abrangendo categorias que favorecem a digestão, a imunidade, a saúde cardiovascular e a função cognitiva (Chaudhary et al., 2025).

Entre os cereais mais utilizados no mundo, o arroz (*Oryza sativa* L.) ocupa posição de destaque devido a sua ampla disponibilidade e perfil nutricional equilibrado (FAO, 2021). No entanto, durante seu processamento industrial, apenas os grãos inteiros classificados como de primeira qualidade são destinados ao comércio direto. Isso gera subprodutos, como os grãos quebrados, que possuem essencialmente o mesmo valor nutricional, mas são frequentemente subutilizados. A valorização desse subproduto por meio de sua utilização na formulação de uma bebida representa uma estratégia inovadora, sustentável e economicamente viável para agregar valor ao processamento do arroz (Fernández et al., 2022).

Além disso, a incorporação de compostos bioativos como o  $\beta$ -caroteno amplia ainda mais o potencial funcional desse tipo de bebida. O  $\beta$ -caroteno é um dos carotenoides mais consumidos na dieta humana e atua como precursor direto da vitamina A, desempenhando papéis essenciais na visão, imunidade e proteção antioxidante (Shi et al., 2024). Assim, seu uso na formulação pode contribuir para melhorar o perfil nutricional e atender às demandas de consumidores que buscam alimentos que promovam saúde.

Para a realização deste estudo, foram selecionadas duas linhagens de arroz geneticamente melhoradas: a linhagem FL, que se distingue pelo elevado teor de proteínas, e a variedade CT, caracterizada por concentrações superiores de minerais essenciais, como zinco. Essas linhagens foram desenvolvidas por programas de melhoramento genético voltados para demandas relacionadas à qualidade culinária, ao valor nutricional e ao bem-estar humano, configurando materiais promissores para aplicações tecnológicas na indústria de alimentos. A utilização dessas variedades biofortificadas, associada ao enriquecimento com extrato natural

de  $\beta$ -caroteno, amplia o valor nutricional da formulação e evidencia o potencial da biofortificação como estratégia eficaz no enfrentamento de deficiências nutricionais em nível populacional.

Nesse contexto, o objetivo principal deste estudo foi desenvolver uma bebida funcional inovadora à base de arroz biofortificado e enriquecida com extrato natural de  $\beta$ -caroteno de cenoura. Para avaliar seu potencial como produto funcional, foram investigadas suas propriedades físico-químicas, capacidade antioxidante, qualidade microbiológica, segurança e viabilidade tecnológica. Além disso, buscou-se integrar o aproveitamento de subprodutos do arroz com a incorporação de compostos bioativos, reforçando a sustentabilidade da proposta.

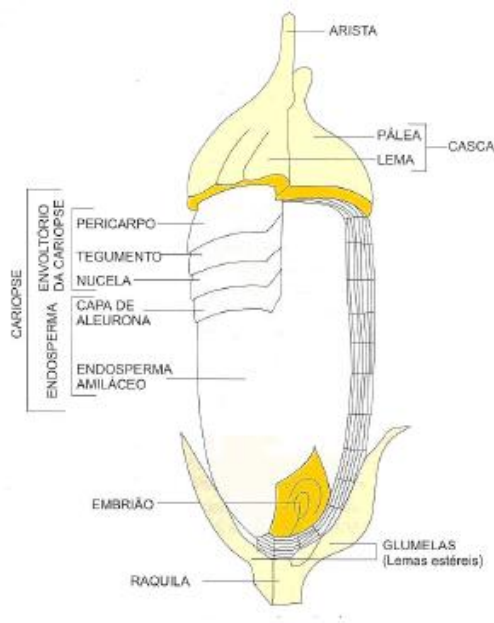
Este estudo propõe uma alternativa inovadora no campo das bebidas funcionais ao combinar arroz geneticamente melhorado, com maiores teores de proteína e minerais como ferro e zinco, com a adição de extrato natural de  $\beta$ -caroteno de cenoura, valorizando subprodutos do processamento do cereal. Ao contrário de muitas bebidas vegetais disponíveis no mercado, que apresentam baixo teor de micronutrientes e dependem de fortificação sintética, a formulação desenvolvida demonstra que é possível obter maior densidade nutricional a partir de fontes naturais, contribuindo para estratégias de combate às deficiências de ferro, zinco e vitamina A. Dessa forma, a pesquisa se insere em um contexto de segurança alimentar e nutricional, sustentabilidade e inovação tecnológica, ampliando o potencial das bebidas vegetais como veículos reais de promoção da saúde.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Arroz

O arroz (*Oryza sativa*) é uma gramínea amplamente cultivada em regiões tropicais e temperadas, constituindo a base alimentar de mais de um terço da população mundial e ocupando o segundo lugar entre os cereais mais produzidos globalmente, atrás apenas do milho (Marques et al., 2022). Seu elevado valor energético decorre do fato de que 70–80% de sua composição corresponde ao amido, formado por amilose e amilopectina (Wang et al., 2022).

O grão de arroz (cariopse) é a estrutura reprodutiva que funciona como fruto e semente de *Oryza sativa*, sendo formado por camadas com funções de proteção, reserva e desenvolvimento, como apresentado na Figura 1. A casca (lemma e pálea) corresponde às brácteas externas que protegem o grão e constituem o arroz em casca (paddy). Abaixo localizam-se o pericarpo e o tegumento, que atuam como barreiras protetoras. A camada de aleurona, rica em proteínas, tem importância nutricional e participa da germinação por meio de enzimas que mobilizam reservas. O endosperma amiláceo é a principal porção do grão e contém amido, funcionando como reserva energética (Corke, 2016). O embrião é a parte viva que dará origem à nova planta, também conhecido como gérmen (Vieira; Rabelo, 2006).



**Figura 1.** Morfologia do arroz

Fonte: Vieira; Rabelo, (2006)

Em termos nutricionais, o arroz integral possui maior densidade por conservar o farelo e o gérmen, onde se concentram fibras, minerais e compostos bioativos, resultando em maior atividade antioxidante e melhor aporte de micronutrientes. Em contraste, o arroz branco

(polido) apresenta redução desses componentes devido à remoção das camadas externas, tornando-se predominantemente uma fonte de carboidratos. No entanto, essa característica confere vantagens importantes, como maior digestibilidade, sabor neutro, menor teor de lipídios e maior estabilidade durante o armazenamento, o que o torna uma matriz adequada para o desenvolvimento de subprodutos (Villamar et al., 2025).

Em termos de produção, o arroz representa cerca de 28% do total de cereais cultivados no mundo, estimado em 2,8 bilhões de toneladas anuais, reforçando sua importância estratégica para a segurança alimentar global (Embrapa, 2025). Além disso, é um alimento essencial em diversas regiões, incluindo Ásia, África, América Latina e Oceania (Rizwan et al., 2025). No contexto das Américas, o Brasil se destaca como principal produtor, responsável por aproximadamente 28% da produção continental e ocupando a 9ª posição no ranking mundial (Embrapa, 2025).

Dessa forma, devido à sua ampla aceitação, valor nutricional e relevância estratégica, o arroz consolidou-se como um alimento fundamental para a humanidade e como matéria-prima promissora para o desenvolvimento de produtos funcionais e o aproveitamento de subprodutos (Kamboj et al., 2024).

## 2.2. Classificação taxonômica do arroz

O gênero *Oryza* compreende duas espécies cultivadas: *Oryza sativa* L., originária da Ásia e amplamente distribuída em escala mundial, e *Oryza glaberrima* Steud., domesticada na África Ocidental. Dentro de *O. sativa*, reconhecem-se duas principais subespécies: *Indica* e *Japonica*, cuja classificação moderna se organiza em grupos genômicos. A subespécie *Japonica* inclui as categorias *temperate japonica* e *tropical japonica*, enquanto *indica* abrange principalmente os grupos *indica* e *aus*, (Ndjiondjop et al., 2023).

As diferenças entre essas subespécies estão estreitamente relacionadas à sua adaptação ecológica. As variedades *indica* predominam em regiões tropicais e subtropicais de terras baixas, sendo encontradas tanto como variedades tradicionais landraces quanto como cultivares melhoradas. Por sua vez, as variedades *Japonica* estão mais adaptadas a zonas tropicais e temperadas de terras altas. Em conjunto, essas subespécies representam a maior parte do germoplasma utilizado na produção mundial de arroz (Ndjiondjop et al., 2023).

Dentro dessas espécies, para este estudo foram selecionadas duas linhagens melhoradas pertencentes à subespécie *Oryza sativa* L. (CT23073-9-8-2-M e FL18064-2P-8SR-3P-SR-M-1SR-M) desenvolvidas pelo Fundo Latino-Americano para Arroz Irrigado. O FLAR é uma

aliança público-privada que tem como objetivo gerar e transmitir conhecimento, tecnologias e inovações para contribuir com a competitividade e a sustentabilidade do arroz, oferecendo aos 17 países membros germoplasma melhorado para rendimento, resistência ou tolerância a pragas e com adequada qualidade de grãos (Flar, 2018). A variedade CT foi geneticamente melhorada visando maior conteúdo mineral, enquanto a linhagem FL foi selecionada para apresentar maior teor proteico.

### **2.3. Bebidas funcionais á base de arroz**

As bebidas funcionais constituem uma categoria especial de bebidas não alcoólicas que contêm componentes bioativos provenientes de fontes vegetais, animais, marinhas ou microbianas, os quais contribuem para a promoção da saúde humana (Panou; Konstantino, 2025). Esses produtos são definidos como alimentos que, além de fornecerem nutrição básica, incorporam compostos ativos em quantidades suficientes para beneficiar a saúde do consumidor quando consumidos regularmente como parte de uma dieta variada (Kaur; Shekhar; Prasad, 2024).

O crescente interesse por alimentos saudáveis tem impulsionado a rápida expansão desse setor, uma vez que os consumidores buscam soluções práticas e convenientes que promovam bem-estar e qualidade de vida (Patra et al., 2023). Nesse contexto, as bebidas funcionais tornam-se uma alternativa atraente, pois servem como veículos eficientes para a incorporação de ingredientes desejáveis, como proteínas, minerais, vitaminas, antioxidantes e fibras dietéticas. Como resultado, esses produtos oferecem uma ampla gama de benefícios, incluindo reidratação do organismo, recuperação de energia, melhora da saúde cardiovascular, auxílio na digestão e fortalecimento do sistema imunológico. Dessa forma, as bebidas funcionais consolidam-se como uma categoria versátil e promissora dentro da indústria de alimentos, alinhando conveniência, nutrição e funcionalidade (Kaur; Shekhar; Prasad, 2024).

Diversos estudos recentes têm destacado o arroz como uma matéria-prima altamente promissora para o desenvolvimento de bebidas funcionais, seja pela sua composição nutricional equilibrada, baixa alergenicidade ou grande aceitação sensorial. Essa tendência é reforçada pela pesquisa de Fernández et al., (2022), que teve como objetivo desenvolver e caracterizar uma bebida funcional a partir de água de arroz pré-cozido combinada com polpa de maracujá. Ao elaborar cinco tratamentos com diferentes proporções desses ingredientes, o tratamento T5 (75% água de arroz e 25% maracujá) se destacou por apresentar melhor equilíbrio físico-químico e sensorial, com um conteúdo proteico superior ao de outras bebidas funcionais relatadas. Os resultados demonstram que a combinação de água de arroz e maracujá constitui

uma alternativa viável e inovadora para a indústria, capaz de oferecer estabilidade, bom perfil nutricional, propriedades antioxidantes e aceitação sensorial.

Complementando essa perspectiva, Hernández-Mónzon et al. (2019) buscaram desenvolver uma bebida funcional a partir da farinha de arroz como base e do gergelim torrado e moído como complemento nutricional, explorando também uma versão fermentada com cultivos probióticos. Para potencializar o valor funcional, a versão fermentada incluiu glicose como substrato energético e microrganismos probióticos (*Lactobacillus acidophilus* e *L. casei*), capazes de melhorar a biodisponibilidade de nutrientes e favorecer a saúde intestinal. Os resultados mostraram que a combinação arroz–gergelim constitui uma matriz sólida para bebidas naturais e fermentadas, garantindo equilíbrio energético, boa aceitação sensorial e aporte de compostos bioativos. Assim, a sinergia entre os dois ingredientes posiciona a bebida como alternativa promissora, nutritiva e livre de lactose, com potencial de inovação no mercado de bebidas vegetais e benefícios adicionais à saúde do consumidor.

Mendonça et al. (2021) se destacam por propor uma alternativa alimentar estratégica para pessoas com intolerância à lactose e alergia às proteínas do leite bovino e da soja, ao desenvolver uma bebida fermentada probiótica à base de extrato de arroz. O arroz branco foi utilizado como substrato e inoculado com *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium animalis* subsp. lactis, microrganismos reconhecidos por promover saúde intestinal e fortalecer o sistema imunológico. O processo de fermentação, monitorado por parâmetros físico-químicos e pela viabilidade dos probióticos, garantiu estabilidade funcional durante o armazenamento. Os resultados mostraram boa aceitação sensorial, perfil nutricional livre de lactose, colesterol e gorduras saturadas, além de aporte energético proveniente dos carboidratos do arroz. Assim, o estudo evidencia que o extrato de arroz é uma matriz eficaz para bebidas probióticas, oferecendo uma solução inovadora e sustentável para consumidores com restrições alimentares.

#### **2.4. Cenoura e o composto betacaroteno**

A cenoura (*Daucus carota* var. *sativus*), pertencente à família Apiaceae, é amplamente reconhecida por seu elevado valor nutricional e funcional. Essa característica deve-se à presença de diversos compostos bioativos, incluindo antioxidantes lipofílicos, como os carotenoides, e hidrofílicos, como os flavonoides, além de vitaminas (A, B, C, E e K), minerais essenciais (K, Ca, Fe, Mg e Zn) e compostos bioativos como os poliacetilenos, entre os quais se destaca o falcarinol (Mezeyová et al., 2024). Nos últimos anos, o consumo de cenoura tem aumentado significativamente devido ao crescente reconhecimento de seus benefícios para a

saúde. Esse vegetal destaca-se não apenas pelo seu valor nutricional, mas também por ser uma importante fonte de fibras dietéticas, antioxidantes e fitonutrientes, os quais contribuem para a promoção da saúde e prevenção de diversas doenças (Akter et al., 2024).

Além disso, a cenoura é considerada um dos vegetais mais consumidos no mundo e distingue-se por apresentar elevados teores de fibras, tanto solúveis quanto insolúveis, e carotenoides. Esses compostos desempenham um papel importante na regulação do metabolismo do colesterol e na proteção contra o estresse oxidativo, contribuindo para seus efeitos benéficos à saúde (Nicolle et al. 2003).

Ao compará-la com outros vegetais, estudos epidemiológicos têm destacado o efeito específico que o consumo de cenoura exerce na redução do câncer de pulmão, inclusive em pessoas fumantes. Além disso, seu perfil nutricional é excepcionalmente diversificado, pois fornece vitamina C, vitamina E e diversos compostos fenólicos, que atuam em conjunto para combater os radicais livres, limitar o estresse oxidativo e proteger contra doenças cardiovasculares e degenerativas. Graças a essa rica composição, seu consumo tem demonstrado ser muito importante para melhorar o estado antioxidante geral do organismo, reduzir a absorção de colesterol e diminuir significativamente os níveis de colesterol e triglicérides no fígado (Nicolle et al. 2003).

Entre os carotenoides, destaca-se o  $\beta$ -caroteno que é um precursor da vitamina A, essencial para a função epitelial, o desenvolvimento embrionário e o funcionamento do sistema imunológico (Chen; Capuano; Stieger, 2024). O betacaroteno é um composto lipossolúvel natural em muitas flores e frutas e um forte antioxidante e sequestrador de oxigênio singlete, contribuindo para a maioria das colorações amarelas, vermelhas e alaranjadas. Esse composto é sensível à degradação e especialmente à oxidação devido ao seu número significativo de ligações duplas. A perda de betacaroteno é observada principalmente durante o processamento do fruto, ou seja, durante a produção de suco ou purê por exemplo. De fato, a perda da integridade dos tecidos, o aumento da temperatura e a exposição ao oxigênio e à luz durante o tratamento térmico aumentam drasticamente as taxas de reações de degradação (Safdarian; Hashemi; Ghiasvand, 2020).

O betacaroteno é um composto amplamente reconhecido por sua capacidade antioxidante, atuando como um potente eliminador de radicais livres. Esse carotenoide contribui para a proteção do organismo contra o estresse oxidativo e está associado à redução do risco de diversas doenças crônicas, como câncer, distúrbios cardiovasculares e diabetes (Margalit et al., 2012).

Para que esses efeitos ocorram no organismo, é necessário que o  $\beta$ -caroteno seja

adequadamente absorvido, a absorção do  $\beta$ -caroteno no organismo é um processo complexo e multifatorial que depende, em primeiro lugar, de sua bioacessibilidade, entendida como a fração do composto que é liberada da matriz alimentar durante a digestão e incorporada às micelas mistas formadas no intestino delgado (Van Loo-Bouwman et al., 2014). Posteriormente, sua biodisponibilidade é determinada pela proporção que consegue atravessar a mucosa intestinal, incorporar-se aos quilomícrons e alcançar a circulação sistêmica, onde pode exercer funções biológicas como sua conversão em vitamina A e sua ação antioxidante (Molteni; Motta; Valoppi, 2022).

Como o  $\beta$ -caroteno é um composto lipofílico, sua assimilação requer a presença de lipídios dietéticos, que favoreçam a formação de micelas estáveis e, conseqüentemente, seu transporte até os enterócitos. Além disso, fatores tecnológicos como o processamento térmico ou mecânico dos vegetais aumentam sua disponibilidade potencial, uma vez que a ruptura das paredes celulares e dos complexos proteína-carotenoide facilita sua liberação da matriz estrutural do alimento (Kruger et al., 2024).

A aplicação de  $\beta$ -caroteno em bebidas tem sido investigada como estratégia de inovação alimentar. Um estudo de Gallego et al., (2024) investigou a substituição da tartrazina, corante sintético de risco alergênico, pelo  $\beta$ -caroteno como alternativa natural na produção de bebidas não alcoólicas. Foram conduzidas análises espectrofotométricas, testes de estabilidade e avaliações sensoriais, revelando que, embora a tartrazina seja mais resistente em condições extremas, ambos mantêm estabilidade em armazenamento adequado. A aceitação sensorial foi favorável ao  $\beta$ -caroteno, preferido por cerca de 64% dos participantes devido à cor mais natural, sabor e textura agradáveis. Apesar de seu custo significativamente superior, o estudo destaca que consumidores tendem a valorizar alternativas livres de aditivos artificiais. Assim os autores, concluíram que o  $\beta$ -caroteno é um substituto viável da tartrazina, capaz de agregar valor nutricional e atender à demanda por produtos mais saudáveis.

Em consonância o estudo de Muhammad et al., (2025) teve como objetivo desenvolver bebidas funcionais à base de soro de leite suplementadas com concentrados de romã, beterraba e cenoura, buscando unir valor nutricional e propriedades bioativas. A investigação destacou o papel central do  $\beta$ -caroteno, identificado como o composto mais relevante para enriquecer as formulações, o concentrado de cenoura apresentou o maior teor (10,36 mg/100mL) de betacaroteno, superando romã e beterraba, e quando incorporado ao soro de leite manteve boa retenção, alcançando 0,31 mg/100mL. Assim, o estudo evidencia que a suplementação com  $\beta$ -caroteno da cenoura potencializa o valor funcional e estético das formulações, posicionando este carotenoide como elemento-chave para o desenvolvimento de bebidas funcionais mais

saudáveis e de maior aceitação pelo consumidor.

Graças a essa combinação de benefícios funcionais e sensoriais, o  $\beta$ -caroteno tem se consolidado como um ingrediente valioso para o desenvolvimento de bebidas mais saudáveis e alinhadas com as tendências atuais do mercado.

## **2.5 Métodos de extração**

Existem diferentes métodos de extração de compostos bioativos a partir de matrizes vegetais e são classificados em convencionais e não convencionais. Os métodos convencionais, como a maceração e o Soxhlet, baseiam-se no uso de solventes e, em alguns casos, de calor para solubilizar os compostos de interesse. Apresentam vantagens como simplicidade operacional e altos rendimentos, porém requerem grandes volumes de solventes, tempos prolongados e podem causar a degradação de compostos termossensíveis, como o  $\beta$ -caroteno (Escandón, 2024).

Por outro lado, as tecnologias emergentes buscam reduzir o consumo de solventes, diminuir o tempo de extração e preservar compostos sensíveis. Entre elas, destacam-se a extração assistida por micro-ondas (MAE), a extração com fluidos supercríticos (SFE) e a extração assistida por ultrassom (UAE). Embora essas técnicas sejam mais eficientes e seletivas, sua implementação geralmente é mais custosa e exige controle rigoroso das condições operacionais para evitar a degradação térmica (Otálora; Martin, 2020; Gupta; Sreelakshmi; Sharma, 2015).

Além desses métodos destaca-se a extração alcoólica por maceração e percolação, que combina uma etapa inicial de maceração com uma percolação contínua, seguida de concentração em rotaevaporador. Esse método foi selecionado por seu baixo custo, simplicidade operacional e adequada preservação dos compostos bioativos. E utilizou-se etanol como solvente, já que é amplamente utilizado na extração de compostos bioativos devido à sua capacidade de solubilizar compostos tanto hidrofílicos quanto lipofílicos, ao seu baixo custo e à sua fácil eliminação por evaporação. Além disso, é compatível com aplicações alimentares e farmacêuticas, o que o torna um solvente versátil e seguro. No entanto, apresenta limitações como a baixa seletividade, que pode ocasionar a coextração de compostos indesejáveis, e a dependência das condições de extração, que devem ser cuidadosamente controladas para evitar a degradação de compostos sensíveis (Lee et al., 2024). Em conjunto, o etanol oferece um equilíbrio entre eficiência, segurança e viabilidade econômica, mas requer a otimização do processo para maximizar a qualidade do extrato.

### **3. OBJETIVOS**

#### 3.1. Objetivo Geral

- O presente trabalho tem como objetivo desenvolver, a partir de duas variedades de arroz geneticamente melhoradas, bebidas funcionais enriquecidas com extrato natural de betacaroteno proveniente da cenoura.

#### 3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar a composição nutricional e físicoquímicas de duas variedades geneticamente melhoradas de arroz branco polido.
- Extrair o betacaroteno a partir da farinha de cenoura, utilizando um método combinado de maceração e percolação.
- Avaliar o extrato de betacaroteno, determinando o teor de betacaroteno, o conteúdo de carotenoides totais, o percentual de umidade e a atividade antioxidante pelos métodos: ABTS, FRAP e DPPH.
- Desenvolver duas bebidas funcionais, usando as duas variedades de arroz.
- Determinar composição nutricional e bioquímica das duas bebidas funcionais.
- Quantificar a atividade antioxidante pelos métodos: ABTS, DPPH e FRAP das duas bebidas funcionais.
- Realizar análises microbiológicas das duas bebidas funcionais.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Matéria-prima**

As amostras de arroz branco analisadas a variedade CT (CT23073-9-8-2-M) BioZn35 de origem do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), liberada pelo Fedearroz e a linhagem FL (FL18064-2P- 8SR-3P-SR-M-1SR-M) proveniente do Fundo Latino-Americano de Arroz Irrigado (FLAR), ambos localizados em Palmira, Valle del Cauca, Colômbia, entre as coordenadas 3°30'7"N e 76°21'22"W, a uma altitude de 1050 m acima do nível do mar, com uma temperatura média de 24 °C e uma umidade relativa de 70%.

A variedade de arroz CT foi melhorada para apresentar um maior teor de minerais destacando-se em zinco, enquanto a variedade FL foi aprimorada para possuir maior conteúdo proteico e, desta forma contribuir na redução de deficiências nutricionais frequentes na população.

A cenoura e a sacarose utilizadas no estudo foram adquiridas em um supermercado localizado na cidade de Goiânia, Goiás, Brasil.

### **4.2. Caracterização nutricional do arroz**

Para a realização de todas as análises exceto cor foi necessária a obtenção de farinhas de arroz. O processo consistiu inicialmente na moagem dos grãos em um micromoinho tipo Wiley (modelo TE-648, Tecnal). Em seguida, o material moído foi peneirado utilizando uma peneira de 20 mesh, a fim de obter uma granulometria mais uniforme. Posteriormente, a farinha obtida foi acondicionada em frascos de vidro devidamente identificados e armazenada sob refrigeração até o momento das análises, visando preservar suas características físico-químicas e evitar possíveis alterações.

#### **4.2.1. Umidade**

A determinação da umidade foi realizada segundo o método 925.10 da AOAC (2005), que consiste na secagem da amostra em estufa a 105 °C até atingir peso constante, sendo a perda de massa atribuída ao conteúdo de água presente no material.

#### **4.2.2. Cinzas**

A porcentagem de cinzas foi determinada segundo o método 923.03 da AOAC (2005), por meio da carbonização da amostra em placa elétrica com posterior incineração em forno mufla a 550 °C até obtenção de resíduo mineral branco ou ligeiramente cinza.

#### 4.2.3. Proteínas

O teor de proteínas foi obtido pelo método de microKjeldahl que consiste no processo de digestão seguido de destilação e titulação da amostra e a conversão de nitrogênio total em proteína, utilizando o fator 5,95 para o grão de arroz de acordo com o método 979.09, (AOAC, 2005).

#### 4.2.4. Lipídios

O conteúdo de lipídios foi determinado pelo método Bligh-Dyer conforme descrito em Bligh; Dyer, (1959). Este método baseia-se na extração com clorofórmio, metanol e água, seguida da separação das fases e determinação gravimétrica da fração lipídica após evaporação do solvente.

#### 4.2.5. Carboidratos totais

A determinação de carboidratos totais foi realizada segundo o método oficial da AOAC 986.25, por meio do cálculo da diferença entre 100 e a soma dos teores de umidade, proteínas, lipídios, cinzas.

#### 4.2.6. Açúcares Redutores, sacarose e açúcares totais

Os açúcares redutores foram determinados pelo método do ácido 3,5-Dinitrossalicílico (agente oxidante presente no reativo ADNS) descrito por Miller, (1959). Este ácido reage com o carbono carbonílico de açúcares redutores e se reduz a ácido 3-amino-5-nitrossalicílico, um composto corado cuja absorção máxima de luz se dá a 540 nm. Para o cálculo utiliza-se uma curva padrão de glicose. O teor de sacarose foi calculado pela diferença entre o teor de açúcares redutores antes e depois da hidrólise ácida, com um fator de conversão de 0,95. O teor total de açúcares é a soma dos açúcares redutores e da sacarose segundo Asquiere et al (2019).

#### 4.2.7. Valor calórico

O valor calórico de um alimento corresponde à energia total fornecida pelos macronutrientes que o compõem. Esse cálculo baseia-se nos fatores energéticos padrões: 4 kcal/g para proteínas e para carboidratos e 9 kcal/g para lipídios. Assim, multiplica-se o percentual de cada macronutriente pelo respectivo fator energético e, em seguida, soma-se os valores obtidos. O resultado representa o valor energético total (kcal/100 g) do alimento, permitindo avaliar seu aporte calórico de forma prática e objetiva, segundo Merrill; Watt (1973).

#### 4.2.8. Amilose e amilopectina

Para determinação da amilose foi utilizado o método de Juliano (1979) com modificações, que se baseia na solubilização dos grânulos de amido em etanol 95%, seguida de gelatinização por uso de solução de hidróxido de sódio 1N, com posterior acidificação com solução de ácido acético 1N, que permite a formação do complexo de cor azul por agregação do iodo dentro da estrutura helicoidal da amilose. A absorvância foi medida em espectrofotômetro a 590 nm e a quantificação foi realizada por meio de curva padrão de amilose. O conteúdo aparente de amilopectina é calculado pela diferença entre o teor de amido e de amilose.

#### 4.2.9. Temperatura de Gelatinização

A temperatura de gelatinização (TG) é um indicador fundamental da qualidade culinária do arroz, pois reflete o ponto em que os grânulos de amido absorvem água, incham e podem modificar sua estrutura. Nesta metodologia, os grãos são incubados em uma solução de KOH a 1,7% durante 23 horas a 30 °C, o que acelera o processo de gelatinização sem aplicação direta de calor. Posteriormente, as amostras são comparadas com testemunhas de TG conhecida, permitindo classificá-las como de baixa, intermediária ou alta TG. Este método é prático, reprodutível e amplamente utilizado em laboratórios de qualidade para caracterizar o comportamento térmico do arroz (Flar, 2020).

#### 4.2.10. Amido total

Foi obtido pelo método de digestão ácida em micro-ondas segundo Cereda; Daiuto; Vilpoux, (2004) e baseia-se na hidrólise acelerada pela energia de micro-ondas das cadeias polissacarídicas e na presença de ácido clorídrico concentrado. Os açúcares redutores resultantes desta hidrólise são determinados pelo método do ácido 3,5-dinitrossalicílico (ADNS), com leitura espectrofotométrica a 540nm, e os valores obtidos convertidos em teor de amido usando o fator de conversão de 0,9.

#### 4.2.11. Perfil de viscosidade

A análise de viscosidade foi conduzida utilizando o Medidor Rápido de Viscosidade (RVA) seguindo um método sugerido pela AACC (2000), com o protocolo “Rice Rapid” modificado. Para cada ensaio, pesaram-se 3,50 g de farinha, posterior foi transferida para o copo do RVA, ao qual foram adicionados 25 mL de água destilada, a mistura foi

homogeneizada com auxílio de uma espátula. O copo preparado foi acoplado ao equipamento e submetido automaticamente ao ciclo do método: aquecimento gradual até a ebulição, manutenção da temperatura e posterior resfriamento, enquanto o sistema registrava continuamente os valores de viscosidade (RVU). Ao final do ciclo, o equipamento gerou a curva de viscosidade, permitindo identificar parâmetros tecnológicos essenciais, como temperatura de pasta, viscosidade máxima, quebra (breakdown) e retrogradação (setback). Essas curvas foram então armazenadas e analisadas para comparar o comportamento das variedades de arroz avaliadas (Flar, 2020).

#### 4.2.12. Atividade Antioxidante

Para avaliação da atividade antioxidante foram preparados extratos do arroz conforme Larrauri, Rupérez, Saura-Calixto (1997), utilizaram-se 10 g de farinha de arroz, que foram acondicionados em frasco escuro com tampa ou em tubo de centrífuga protegido com papel alumínio. Adicionaram-se 40 mL de metanol a 50%, homogeneizou-se a mistura e deixou-se em repouso por 1 hora. Em seguida, centrifugou-se a 10.000 rpm por 15 minutos, e o sobrenadante foi transferido para um balão volumétrico de 100 mL envolvido com papel alumínio. Ao resíduo remanescente adicionaram-se 40 mL de acetona a 70%, homogeneizou-se novamente e deixou-se em repouso por mais 1 hora. Após nova centrifugação a 10.000 rpm durante 15 minutos, o sobrenadante foi reunido ao mesmo balão volumétrico, completando-se o volume com água destilada. Por fim, o extrato foi filtrado para posterior análise.

O método ABTS baseia-se em uma reação SET (transferência de elétrons) que avalia a capacidade do antioxidante de capturar o cátion radical ABTS, produzido quimicamente com o persulfato de potássio, resultando em um decréscimo na absorvância e descoloração do reagente. Uma curva padrão foi preparada utilizando soluções de Trolox variando de 100 a 2000  $\mu\text{M}$ . A reação ocorreu quando 30  $\mu\text{L}$  do extrato foram misturados a 3,0 mL da solução de radical  $\text{ABTS}^{\bullet+}$ . Após 6 minutos de reação no escuro, a absorvância foi medida a 734 nm. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol Trolox/g}$  (Rufino et al., 2010).

O método FRAP é um método de transferência de elétrons baseado na capacidade de um extrato ou substância isolada, de reduzir o ferro. Em meio ácido (pH 3,6), o complexo férrico tripiridiltriazina é reduzido ao ferroso, na presença de um antioxidante, mudando sua coloração para azul (Benzie; Strain, 1996). Uma curva padrão foi preparada utilizando soluções de Trolox variando de 104 a 800  $\mu\text{M}$ . A reação ocorreu com a mistura de 90  $\mu\text{L}$  de extrato, 270  $\mu\text{L}$  de água e 2,7 mL de FRAP. Após 30 minutos de reação em banho-maria a 37 °C, a

absorbância foi medida a 595 nm. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol Trolox/g}$  (Rufino et al., 2010; Pulido et al, 2000).

O método de DPPH consiste em avaliar a capacidade antioxidante via atividade sequestradora do radical DPPH que possui coloração púrpura. Por ação de um antioxidante (AH) ou uma espécie radicalar (R.), o DPPH é reduzido formando difenil-picril-hidrazina, de coloração amarela, com conseqüente decréscimo da absorbância. Em ambiente escuro, 0,1 mL do extrato em diferentes diluições foi adicionado a 3,9 mL da solução de DPPH 0,06 mM, homogeneizado e mantido em repouso por 120 min. A absorbância foi medida a 517 nm. Uma curva padrão foi preparada a partir de soluções de trolox variando de 200 a 1000  $\mu\text{M}$ . Os resultados foram expressos  $\mu\text{mol Trolox/g}$  (Rufino et al., 2010).

#### 4.2.13. Minerais

Os minerais analisados foram: ferro, manganês, zinco, cálcio e magnésio usando um espectrofotômetro de absorção atômica Perkinelmer modelo Pinaacle 500 & 900F; enxofre pelo método de turbimetria de sulfato de bário; fósforo pelo método de colorimetria do metavanadato; nitrogênio pelo método semi-micro Kjeldahl utilizando um destilador de nitrogênio TE-0364; potássio e sódio usando um fotômetro emissão de chama modelo 400, segundo Malavolta; Vitti; Oliveira, (1997).

#### 4.2.14. Cor

Foi determinada por colorimetria refletiva utilizando um colorímetro portátil Minolta CR-400 (Konica Minolta, Japão), calibrado com padrão branco ( $L=97,79$ ;  $a=-0,38$ ;  $b^*=+2,05$ ) antes de cada leitura, seguindo a metodologia descrita por Cabral et al. (2025).

#### 4.2.15. Atividade da Água ( $A_w$ )

A atividade de água das amostras foi determinada segundo o procedimento descrito por Morais et al. (2021), utilizando um analisador portátil Novasina Labswift-aw. Para a análise, uma porção da farinha de arroz foi colocada na câmara do equipamento, que mede o equilíbrio entre o vapor de água liberado pela amostra e o ambiente interno do dispositivo. Esse procedimento permite obter de forma rápida e precisa o valor de  $A_w$ , indicando a disponibilidade de água livre no alimento.

### **4.3. Extração alcoólica de betacaroteno por maceração e percolação**

Para realizar a extração de betacaroteno, foi necessário desidratar a cenoura para obtenção de sua farinha. O processo iniciou-se com a remoção das extremidades e a lavagem completa das cenouras, garantindo adequada higienização. Em seguida, as cenouras foram fatiadas em rodela finas e distribuídas em bandejas para secagem em estufa (Nova ética, modelo 402-3D) a 60 °C, permanecendo até atingir completa desidratação após aproximadamente 24 horas. Após esse período, o material seco foi triturado em um multiprocessador (marca Arno) até a obtenção de uma farinha homogênea, logo, foi peneirada utilizando uma peneira de 20 mesh, a fim de obter uma granulometria mais uniforme.

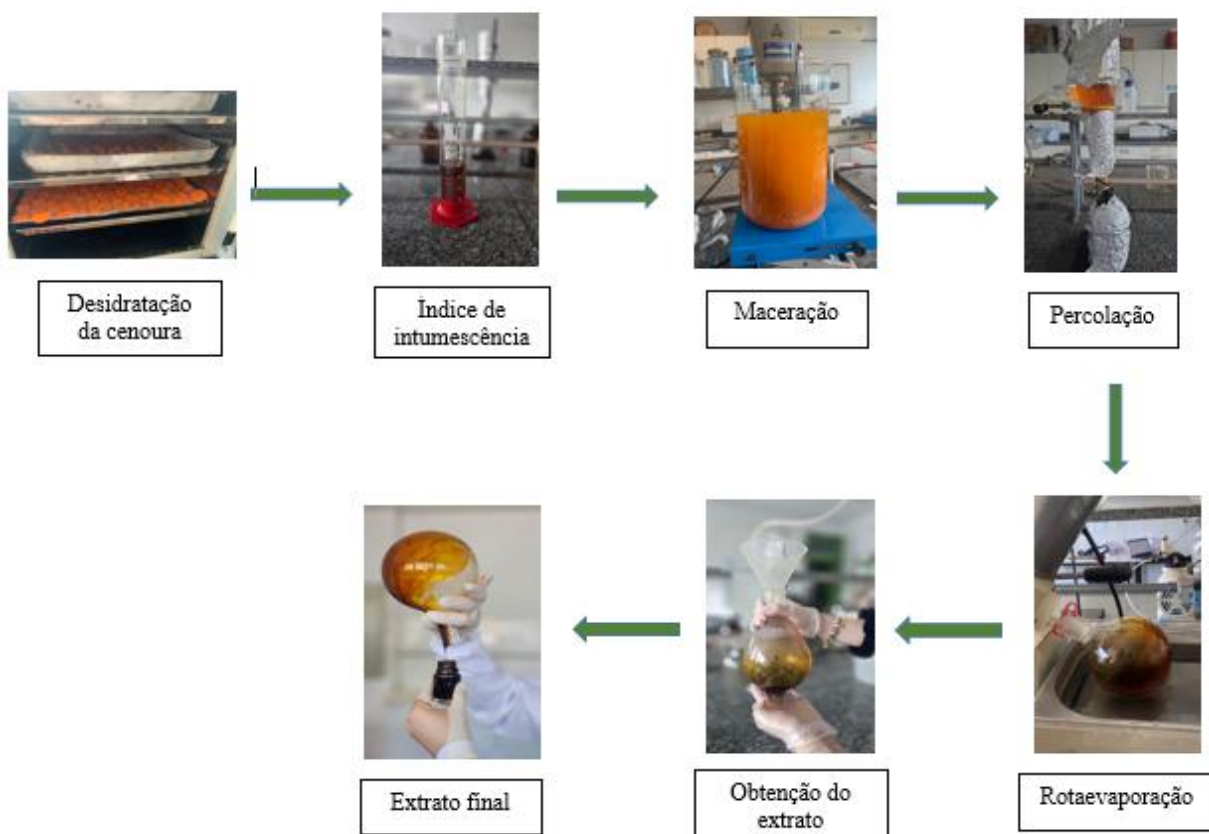
Antes da etapa de extração, realizou-se a determinação do índice de intumescência segundo a Farmacopeia brasileira (Brasil, 2019), a determinação desse parâmetro é essencial para antecipar o comportamento de expansão do material no percolador durante o contato com o solvente, prevenindo transbordamentos ou falhas no processo de extração. Para isso, 1,0 g da amostra foi colocada em um cilindro graduado de 25 mL e completou-se o volume com etanol a 95%. A mistura permaneceu sob agitação por 30 minutos, garantindo a hidratação uniforme do material. Em seguida, o sistema foi deixado em repouso por aproximadamente 4 horas, período no qual ocorreu o intumescimento máximo. O volume ocupado ao final desse processo corresponde ao índice de intumescência, expresso em m<sup>3</sup>/kg, obtido pela diferença entre o volume final hidratado e o volume inicial da amostra seca.

A extração foi realizada de acordo com Mendes et al. (2021) com modificações. Após a determinação do índice de intumescência, iniciou-se o processo de maceração da farinha de cenoura. Para isso, 200 g da amostra foram previamente umedecidas com 2 L de etanol 95%, sendo mantidas em um béquer com agitação em um agitador vertical protegido da luz. Após 4 horas foram acrescentados mais 2 L de etanol 95%. A mistura permaneceu sob agitação por 20 horas, garantindo a completa impregnação do solvente na matriz vegetal.

Concluída essa etapa, o material macerado foi transferido cuidadosamente para um percolador montado com três camadas alternadas de algodão e papel filtro (porosidade de 14 µm). A primeira camada recebeu o primeiro litro do extrato. Em seguida, após a lixiviação do material, uma nova camada de algodão e filtro foi posicionada sobre o resíduo e o segundo litro de extrato foi adicionado cuidadosamente, evitando formação de redemoinhos. Esse procedimento foi repetido sucessivamente até que todo o volume de 4 L fosse percolado. A percolação foi conduzida por 72 horas, com velocidade constante de aproximadamente 30 gotas por minuto, assegurando contato adequado entre o solvente e o material sólido.

Para garantir rendimento máximo, acrescentou-se 1L adicional de etanol 95% no resíduo que foi levado para banho-maria a 50 °C por 2 horas, promovendo a extração residual dos compostos bioativos. Tanto o percolador quanto o frasco coletor foram revestidos com papel alumínio para impedir a exposição à luz, uma vez que o  $\beta$ -caroteno apresenta elevada sensibilidade à degradação fotoquímica.

Os extratos obtidos foram submetidos à concentração em rotaevaporador a 45 °C, até a eliminação de aproximadamente 95% do solvente. O concentrado final foi transferido para frascos de vidro âmbar, devidamente identificados e novamente protegidos com papel alumínio para reduzir riscos de oxidação. Por fim, os resíduos aderidos ao balão do rotaevaporador foram recuperados com pequena quantidade de etanol, permitindo um melhor aproveitamento do extrato total. O processo de maceração e percolação para obtenção do extrato foi repetido duas vezes para obter uma quantidade significativa do extrato e está ilustrado na Figura 2.



**Figura 2.** Extração alcoólica de betacaroteno por maceração e percolação

#### **4.4. Análises do extrato de Betacaroteno**

##### **4.4.1. Teor de Betacaroteno**

A concentração de  $\beta$ -caroteno foi determinada por análise espectrofotométrica. Para cada amostra, adicionou-se acetona e solução de BHT 0,05% deixando em agitação por 15 min. A solução obtida foi transferida para um funil de separação, mantendo todo o material protegido com papel alumínio para evitar a foto oxidação do pigmento. Em seguida, adicionou-se éter de petróleo ao funil para promover a transferência do  $\beta$ -caroteno para a fase orgânica. Para eliminar completamente a acetona e garantir a migração do  $\beta$ -caroteno para o éter de petróleo, realizaram-se lavagens sucessivas com água destilada, descartando a fase inferior. A fração contendo o pigmento foi então filtrada com algodão e sulfato de sódio anidro e transferida para um balão volumétrico, ajustando-se o volume final com éter de petróleo. A concentração de  $\beta$ -caroteno foi determinada por meio da leitura de absorvância a 450nm (Rodriguez-Amaya, 2001; Rodriguez-Amaya; Kimura, 2004).

##### **4.4.2. Carotenoides totais**

O teor de carotenoides totais foi determinado por meio de análise espectrofotométrica. Após a pesagem da amostra, adicionaram-se álcool isopropílico e hexano para promover a extração dos pigmentos. A mistura foi agitada e posteriormente transferida para um funil de separação. Todas as etapas foram conduzidas com proteção contra a luz para evitar a degradação dos compostos. Realizaram-se lavagens sucessivas com água destilada, descartando-se a fase inferior após cada separação. Em seguida, a fase contendo os carotenoides foi filtrada com algodão e sulfato de sódio anidro e transferida para um balão volumétrico. O volume final foi ajustado com hexano. Por fim, a absorvância do extrato foi medida a 450nm, (Higby, 1962).

A determinação da umidade do extrato foi realizada pelo método 925.10 (AOAC, 2005), enquanto a atividade antioxidante foi avaliada pelos métodos de ABTS, FRAP e DPPH segundo Rufino et al. (2010) sendo procedimentos já descritos no item 4.2.

#### **4.5. Elaboração das bebidas funcionais**

Para estabelecer o procedimento mais adequado para a obtenção da água de arroz destinada às formulações, foram conduzidos pré-testes visando determinar a proporção ideal entre os ingredientes (água/arroz e sacarose). Esses ensaios preliminares tiveram como objetivo

identificar o método capaz de preservar as propriedades físico-químicas da bebida, assegurando sua estabilidade e prevenindo alterações indesejáveis, como a gelatinização do amido, que pode comprometer a textura final do produto.

A quantidade de  $\beta$ -caroteno acrescentada nas bebidas foi determinada com base na recomendação de ingestão de vitamina A, expressos como equivalentes de atividade de retinol (RAE), reportados de acordo com as recomendações do International Life Sciences Institute Brasil (Cominetti; Cozzolino, 2023), para homens e mulheres adultos. A partir dessas recomendações, foi calculado um valor médio de 8,75 g por 100 mL, o qual foi utilizado como referência para assegurar um aporte representativo da ingestão recomendada para ambos os sexos.

Para a preparação das bebidas, o primeiro passo consistiu na seleção da matéria-prima, utilizando-se duas variedades de arroz: CT e FL. Para cada amostra, foram pesados 26,75 g de arroz cru e adicionados 187,5 mL de água filtrada, com o objetivo de obter um rendimento final de 100 mL de bebida como apresentado na Tabela 1.

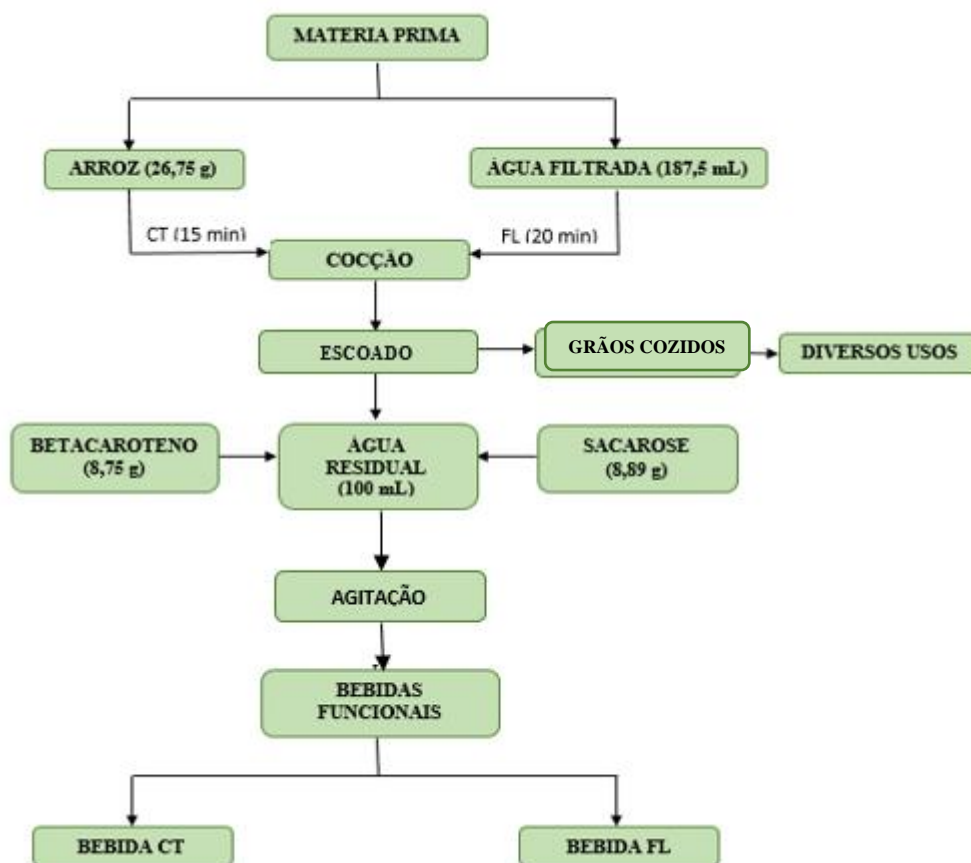
**Tabela 1.** Ingredientes da formulação das bebidas funcionais

Variedade	Arroz cru (g)	Água filtrada (mL)	Sacarose (g)	Extrato de Betacaroteno (g)	Tempo de cocção
CT	26,75	187,5	8,89	8,75	15 min
FL	26,75	187,5	8,89	8,75	20 min

No processo de cocção, conforme ilustrado na Figura 3, os 187,5 mL de água foram colocados em um recipiente de alumínio e levados para um fogão industrial até atingir o ponto de ebulição. Após o início da fervura, foram adicionados 26,75 g de arroz. O tempo de cocção variou conforme a variedade: 15 minutos para a amostra CT e 20 minutos para a amostra FL.

Concluída a cocção, a água de arroz foi escoada dos grãos por meio de uma peneira e o arroz cozido reservado para usos secundários. O volume obtido para as bebidas foi de 100 mL por amostra, e foram deixadas em resfriamento até atingirem 40 °C. Nessa etapa, foram adicionados 8,75 g de extrato de betacaroteno, mantendo-se a mistura sob agitação constante até completa solubilização em um tempo aproximado de 10 min.

O recipiente foi protegido com papel alumínio para evitar degradação pela luz. Após dos 10 min em agitação, foram adicionados 8,89 g de sacarose e se deixou por 10 min mais agitando, resultando em bebidas com teor de sólidos solúveis entre 12 e 14 °Brix.



**Figura 3.** Elaboração das bebidas funcionais



**Figura 4.** Bebida Funcional

#### **4.6. Caracterização nutricional e físico-químico das bebidas funcionais**

Foram realizadas as seguintes análises: teor de cinzas e umidade, de acordo com os métodos AOAC 925.10 e 923.03, respectivamente (AOAC, 2005); proteína pelo método AOAC 979.09 (AOAC, 2005); lipídios pelo método de Bligh-Dyer (1979); carboidratos determinados pela diferença de 100 e o somatório dos constituintes da composição proximal (umidade, cinzas, lipídios e proteínas); valor calórico calculado segundo Merrill e Watt (1973); açúcares redutores pelo método do ácido 3,5-dinitrossalicílico (Miller, 1959); amilose pelo método de Juliano (1979); amido pelo método de digestão ácida em micro-ondas (Cereda, Daiuto, Vilpoux; 2004); e amilopectina calculada pela diferença entre os teores de amido e amilose. A cor foi avaliada por colorimetria de refletância (Cabral et al, 2025), o conteúdo de minerais conforme Malavolta; Vitti; Oliveira, (1997) e a capacidade antioxidante avaliada pelos métodos ABTS, DPPH e FRAP segundo Rufino et al. (2010). Os procedimentos estão descritos no item 4.2.

##### **4.6.1. Acidez total e pH**

A acidez total titulável fundamenta-se na diluição da amostra em água, seguida da reação de neutralização dos ácidos com solução de hidróxido de sódio 0,1N usando fenolftaleína como indicador. Os resultados expressos em % de ácido láctico. Com relação a medição de pH foi empregado um potenciômetro (Tecinal, TEC-5), que permitiu uma determinação direta, simples e precisa (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

##### **4.6.2. Sólidos solúveis**

A determinação de sólidos solúveis na amostra foi realizada por leitura direta na escala de °Brix em um refratômetro de bancada (Shimadzu). É um método físico que determina a quantidade de sólidos solúveis totais expressos em porcentagem (% p/p). Geralmente se refere aos açúcares solúveis, mas também estão presentes ácidos orgânicos, sais minerais e vitaminas hidrossolúveis (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

##### **4.6.3. Densidade**

A metodologia baseia-se no uso do picnômetro como um recipiente de volume fixo, permitindo determinar a densidade de uma amostra por meio da comparação entre sua massa e

a massa da água a 20 °C, sob condições controladas de temperatura e manipulação (Brasil, 1986).

#### 4.6.4. Compostos orgânicos voláteis

A análise foi realizada por cromatografia gasosa com amostragem por headspace (HS-GC). O método de headspace permite a extração e injeção da fração volátil, sendo especialmente adequado para a determinação de compostos orgânicos voláteis. Essa abordagem minimiza interferências da matriz líquida ou sólida, melhora a reprodutibilidade e protege o sistema cromatográfico contra contaminações não voláteis. Para a análise de compostos orgânicos voláteis, foram incubados 4–5 mL de cada amostra das bebidas funcionais em frascos (vials) para análise por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), utilizando um Nexis GC 2030 (Shimadzu, Kyoto, Japão), acoplado a um Shimadzu QP2020 Nexis (Shimadzu, Kyoto, Japão), operando em modo Scan, com uma coluna SH-Stabilwax-MS (30 m × 0,25 mm × 0,25 µm). A amostra foi aquecida utilizando o método de headspace, com temperatura de incubação de 60 °C e temperatura da seringa de 70 °C. A velocidade de agitação foi ajustada para 300 rpm, o tempo de pré-purga para 5 segundos, a vazão de injeção foi de 10 mL/min e o tempo total de análise foi de 60 minutos (Cabral et al., 2025).

#### 4.6.5. Betacaroteno e carotenoides totais

Nas bebidas funcionais também foram determinados, por meio de espectrofotometria, o teor de betacaroteno (Rodriguez-Amaya, 2001; Rodriguez-Amaya, Kimura; 2004) e o teor de carotenoides totais (Higby, 1962), conduzidas conforme descrito no item 4.4.

#### 4.6.6. Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos (LCQA/FF/UFG), de acordo com metodologias padronizadas descritas no Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods (Apha, 2015). As amostras foram homogeneizadas, submetidas a diluições decimais em diluente apropriado e analisadas conforme os microrganismos de interesse.

A determinação de *Escherichia coli* foi realizada pelo método de contagem em placas prontas Petrifilm™ E. coli/Coliformes, com incubação a 35 ± 1 °C por 24 horas e resultados expressos em UFC/g. A pesquisa de *Salmonella* sp. foi conduzida pelo método de presença/ausência em 25 g de amostra, envolvendo etapas de enriquecimento seletivo em caldos

Tetracionato e Rappaport-Vassiliadis, seguidas de isolamento em meios seletivos Ágar XLD e Ágar HE, com incubação a  $35 \pm 1$  °C por 24 horas. A contagem de *Bacillus cereus* foi realizada por contagem em placa em Ágar MYP, após diluições seriadas, com incubação a  $30 \pm 1$  °C por 24 a 48 horas, expressando-se os resultados em UFC/g. A determinação de bolores e leveduras foi realizada por contagem em placa em Ágar DG-18, com incubação a  $25 \pm 1$  °C por período adequado, e os resultados expressos em UFC/g. Os coliformes totais a 35 °C foram quantificados pelo método do Número Mais Provável (NMP), utilizando caldo Lauril Sulfato Triptose (LST), com leitura baseada na produção de gás após incubação a  $35 \pm 1$  °C. A interpretação dos resultados foi realizada conforme os limites microbiológicos estabelecidos pela Instrução Normativa nº 161/2022 (Brasil, 2022a).

#### **4.7. Análise estatística**

As análises de caracterização nutricional do arroz, do extrato de betacaroteno e das bebidas funcionais foram realizadas em triplicata. As diferenças significativas entre as médias foram avaliadas utilizando o programa *Statistica* versão 12, por meio do teste t de Student, com um nível de significância de  $p \leq 0,05$  para todas as comparações.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Caracterização nutricional e físico-químico do grão de arroz das duas variedades (CT e FL)

Os valores de umidade apresentados na Tabela 2 situaram-se dentro da faixa segura recomendada para armazenamento, permanecendo abaixo do limite de 14% valor estabelecido pela legislação brasileira vigente para o arroz sem casca, conforme a Instrução Normativa nº 6 de 2009 do MAPA, para evitar o desenvolvimento microbiano e a atividade enzimática indesejada (Polesi et al., 2014; Brasil, 2009). Esses resultados são coerentes com os valores observados em variedades comerciais, como BRS Primavera (13,04%) e Irga 417 (13,60%), analisadas por Pagnan; Bassinello; Prudencio (2015), indicando que ambas as amostras apresentam estabilidade pós-colheita satisfatória.

**Tabela 2.** Caracterização nutricional dos grãos de arroz das variedades CT e FL

Parâmetro b.s.	CT	FL	Febina et al. (2023)	Qadir; Wani, (2022)
Umidade (%)	13,25 ± 0,23 <sup>a</sup>	13,62 ± 0,24 <sup>a</sup>	10,7 - 11,7	11,49 - 11,88
Cinzas (%)	0,35 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,43 ± 0,12 <sup>a</sup>	0,7 - 1,3	1,00 - 1,14
Lipídeos (%)	0,53 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,67 ± 0,14 <sup>a</sup>	0,5 - 2,0	1,16 - 2,00
Proteínas (%)	6,09 ± 0,32 <sup>b</sup>	9,35 ± 0,39 <sup>a</sup>	7,3 - 11,7	6,34 - 6,70
Carboidratos totais (%)	79,77 ± 0,23 <sup>a</sup>	75,93 ± 0,44 <sup>b</sup>	74,6 - 79,8	--
Valor Calórico (kcal/100g)	348,0 ± 1,94 <sup>a</sup>	346,52 ± 1,75 <sup>b</sup>	--	--
Açúcares Redutores (%)	0,22 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,25 ± 0,01 <sup>a</sup>	--	--
Sacarose (%)	0,37 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,07 ± 0,08 <sup>b</sup>	--	--
Açúcar Total (%)	0,59 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,32 ± 0,06 <sup>b</sup>	--	--
Amido (%)	73,98 ± 1,29 <sup>a</sup>	72,55 ± 2,23 <sup>a</sup>	72,7 - 78,9	--
Amilose (%)	22,41 ± 1,88 <sup>a</sup>	24,83 ± 2,79 <sup>a</sup>	22,9 - 29,1	19,16 - 21,83
Amilopectina (%)	51,57 ± 3,17 <sup>a</sup>	47,72 ± 5,01 <sup>a</sup>	--	--
Temperatura de Gelatinização (°C)	64,36 ± 1,70 <sup>b</sup>	71,01 ± 2,10 <sup>a</sup>	70 - 80	77,5 - 79,6
Atividade da água	0,49 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,60 ± 0,00 <sup>a</sup>	--	--

Resultados expressos como média e desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa pelo teste t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

A baixa concentração de cinzas e lipídios confirma um alto grau de polimento, considerando que esses componentes se concentram principalmente nas camadas de aleurona e no gérmen, as quais são removidas durante o processo de moagem, (Vascones, 2023). Ao

comparar com os dados de Paiva et al., (2016), que relataram para arroz polido valores de lipídios próximos de 0,4%, e com os valores superiores informados por Qadir; Wani (2022) para a variedade SR-4 (1,50% de lipídios), observa-se que as amostras CT e FL apresentam uma vantagem tecnológica relevante: o que pode reduzir a suscetibilidade à oxidação lipídica e à rancificação durante o armazenamento. A menor suscetibilidade à oxidação lipídica observada nas amostras também reflete condições adequadas de beneficiamento, em consonância com os critérios de identidade e qualidade previstos na legislação brasileira para o arroz beneficiado (Brasil, 2009).

Apesar de apresentarem um grau de polimento semelhante, surgiram diferenças nutricionais importantes. A amostra CT registrou 6,09% de proteína, valor característico de muitas variedades comerciais de arroz polido e próximo ao limite inferior relatado para a variedade IAC 202 (6,6%), segundo Polesi et al., (2014), assim como para SR-4 (6,53%) de acordo com Qadir; Wani (2022). Em contraste, a amostra FL apresentou um teor proteico significativamente maior (9,35%), alcançando conteúdos comparáveis aos de variedades geneticamente melhoradas, como Irga 417 (9,89%) descrita por Pagnan; Bassinello; Prudencio (2015). Essa diferença está associada ao melhoramento genético da linhagem FL, desenvolvida com o objetivo de elevar o teor proteico do grão. Esse resultado confirma a efetividade da estratégia de seleção adotada, refletindo em maior valor funcional e nutricional quando comparado ao CT.

Os carboidratos o valor observado para CT está plenamente de acordo com o perfil típico de arrozes polidos descrito na literatura, aproximando-se dos 80,3% relatados por Polesi et al. (2014) para a variedade IRGA 417 e dos 80,4% apresentados por Pagnan; Bassinello; Castro (2004) para arroz branco comercial. Esses resultados reforçam que a amostra CT se enquadra no padrão composicional esperado para grãos submetidos a um polimento eficiente. Por sua vez, o teor de carboidratos da amostra FL (75,93%) encontra respaldo em estudos conduzidos com variedades índicas, como os valores reportados por Qadir; Wani (2022) para Mushq Budij (75,4%) e K-39 (77,9%). Essa proximidade sugere que FL apresenta um perfil nutricional comparável ao de genótipos que, embora igualmente polidos, podem apresentar diferenças estruturais ou varietais que influenciam a proporção de amido e outros carboidratos presentes no grão.

Os valores energéticos da tabela 2 se aproximam da média de 352,39 kcal/100 g reportada por Guimarães et al., (2012) para arroz branco polido analisado sob condições controladas, evidenciando que ambas as amostras apresentam densidade energética típica deste tipo de cereal. Dentro desses parâmetros observa-se que CT e FL ocupam uma faixa

intermediária dentro do espectro descrito na literatura. Por um lado, seus valores energéticos são superiores aos registrados para variedades autóctones de Bornéu, que variam entre 309 e 342 kcal/100 g, conforme descrito por Saragih et al., (2019). Por outro, situam-se ligeiramente abaixo dos cultivares tradicionais de Karnataka, os quais apresentam valores entre 353 e 366 kcal/100 g, segundo Muttagi; Ravindra (2020). Essa posição intermediária reforça que, embora as amostras estudadas sigam o padrão energético do arroz polido convencional, ainda refletem diferenças intrínsecas relacionadas à origem varietal e às características específicas de cada genótipo.

Quanto ao perfil de açúcares, foram detectados baixos teores, porém presentes, de açúcares redutores (0,22% para CT e 0,25% para FL) e sacarose (0,37% para CT e 0,07% para FL). Embora o arroz seja constituído majoritariamente por amido, principal carboidrato complexo do endosperma, a presença de pequenas quantidades de açúcares livres é consistente com o descrito por Bravo (2023), que afirma que o endosperma contém uma matriz proteica que abriga proporções menores de açúcares e lipídios.

O amido correspondeu a 72,55% na amostra FL e 73,98% na amostra CT, valores compatíveis com o intervalo geral de 70%–80% em base seca descrito por Vascones (2023). A funcionalidade desse componente depende principalmente da proporção entre amilose e amilopectina (Gavica, 2019). Os resultados coincidem com as faixas descritas por Muttagi; Ravindra (2020) (68,31%–76,14%) em variedades tradicionais e com os valores reportados por Saragih; Naibaho; Saragih (2019) para arrozes indígenas de Bornéu (71,75%–78,49%). Da mesma forma, se aproximam dos dados de Martens et al., (2023), que registraram 70,42%–71,51% em arroz polido submetido à secagem intermitente. No conjunto, essa concordância com a literatura indica que, apesar de variações no teor de amilose ou proteína, a matriz de amido se mantém como a principal e mais estável reserva energética.

Os teores de amilose encontrados 22,41% para CT e 24,83% para FL enquadram ambas as amostras na categoria de conteúdo intermediário a alto, segundo a classificação de Juliano (citado por Fonseca, 2015). A amostra FL apresenta valores próximos aos observados nas variedades Jaya (25,3%) e IAC 202 (26,4%) (Febina; John; Raman, 2023; Polesi et al., 2014), indicando que, após a cocção, tende a produzir grãos mais firmes, secos e soltos, padrão típico de arrozes com maior retrogradação (Dhakal, 2025). Já a amostra CT, com teor um pouco menor, aproxima-se de variedades como Matta (22,9%) (Febina; John; Raman, 2023), que apresentam textura mais macia sem serem pegajosas. Essa diferença é coerente com o que apontam Aparecida et al. (2024), que destacam que arrozes com amilose acima de 20–25% geralmente resultam em grãos mais íntegros e menos coesivos, diferindo das variedades cerasas

(<10% de amilose), conhecidas pela alta pegajosidade.

O teor de amilopectina determinado foi de 51,57% para a amostra CT e 47,72% para a amostra FL. Ambos os valores se encontram dentro do intervalo de 46,82% a 60,98% reportado por Muttagi; Ravindra (2020) para vinte variedades de arroz tradicional, sendo particularmente relevante o fato de a amostra FL apresentar um valor muito próximo ao da variedade Jeerige sanna (46,82%) descrita no mesmo estudo. A menor concentração de amilopectina observada na amostra FL é coerente com seu maior teor de amilose, já discutido anteriormente, uma vez que existe uma relação inversa entre essas duas frações do amido. Segundo Polesi et al., (2014), o aumento no teor de amilose ocorre à custa da redução proporcional da amilopectina, o que explica de forma consistente o comportamento observado entre os genótipos avaliados.

As diferenças funcionais entre as amostras também se refletiram em seu comportamento térmico. A temperatura de gelatinização de CT (64,36°C) foi classificada como baixa, valor comparável aos relatados por Fonseca (2015) para AcreFino (62,08°C) e BGA4243 (61,01°C). Esse comportamento implica que os grânulos de amido requerem menos energia para se desorganizar, favorecendo uma cocção mais rápida, característica apreciada em produtos de preparo acelerado (Dhakal, 2025). Em contraste, a amostra FL apresentou uma temperatura de gelatinização intermediária (71,01°C), semelhante à observada em BGA6030 (71,14°C), segundo Fonseca (2015), e próxima aos valores relatados para variedades como Jaya (74,5-80°C), consideradas de textura firme (Febina; John; Raman, 2023). Essa maior resistência térmica pode estar associada a estruturas cristalinas mais compactas ou a uma maior proporção de cadeias longas de amilopectina, conforme observado por Martens et al., (2023). Em função dessas características, a CT demandou menor tempo de cocção (15min) em comparação com a FL (20 min) durante o processo de elaboração da bebida.

Além disso, de forma indireta, a maior proporção de proteína no FL pode ter contribuído para o elevado valor da temperatura de gelatinização. Estudos realizados com amido e proteína de arroz demonstram que o aumento do teor proteico em sistemas amido–proteína tende a elevar a temperatura de gelatinização e a reduzir a entalpia associada a esse processo. Esse comportamento é atribuído à capacidade das proteínas de competir pela água disponível e de limitar sua difusão para o interior dos grânulos de amido, retardando a gelatinização. Esses efeitos têm sido observados em sistemas modelo de arroz e estão relacionados às interações proteína–amido e à capacidade de retenção de água das proteínas (Zhang et al., 2024).

Os valores de atividade de água obtidos foram de 0,49 para a amostra CT e 0,60 para a amostra FL. Esses resultados situam-se dentro do espectro característico para arroz comercial relatado por Ozbekova e Kulmyrzaev (2019), que observaram variação de 0,428 a 0,607 em

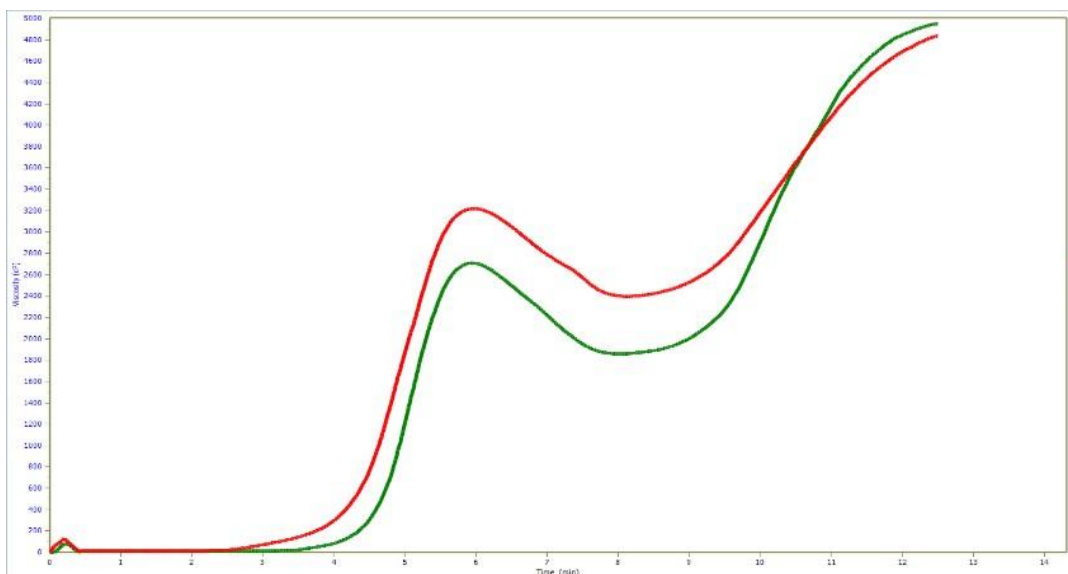
quinze variedades de diferentes origens geográficas. Especificamente, a amostra CT (0,49) apresenta comportamento típico de grãos com teor de umidade médio, situando-se próxima à média de 0,495 observada por Ozbekova e Kulmyrzaev (2019) para essa categoria. Por outro lado, a amostra FL atingiu um valor de 0,60, posicionando-se no limite superior do intervalo estudado, comparável à variedade KZ03 (0,607) relatada pelos mesmos autores.

Além disso, valores de atividade de água entre aproximadamente 0,49 e 0,60 indicam baixa disponibilidade de água livre no grão, condição que contribui para maior estabilidade durante o armazenamento, uma vez que limita o crescimento de microrganismos e reduz a ocorrência de reações deteriorativas. Dessa forma, os valores observados sugerem que ambas as amostras apresentam condições adequadas de conservação, favorecendo a manutenção da qualidade físico-química do arroz durante o armazenamento (Rahman, 2009).

A análise da caracterização nutricional evidenciou que tanto a amostra CT quanto a FL apresentam características próprias de arroz submetidos a um processo de polimento eficiente.

## 5.2. Determinação de viscosidade no grão de arroz

O perfil viscoamilográfico mostrou diferenças marcantes entre as amostras como apresentado na Figura 5. A quebra de viscosidade reflete a estabilidade térmica dos grânulos, enquanto a retrogradação expressa o reagrupamento de amido no resfriamento (Mendoza, 2015).



**Figura 5.** Determinação de viscosidade dos grãos de arroz das variedades CT e FL. Linha vermelha indica arroz CT e Linha verde indica arroz FL. Eixo X indica o tempo (min) e o eixo Y indica a viscosidade (cP).

A retrogradação foi o parâmetro que melhor distinguiu os genótipos como observado na Tabela 3. A FL apresentou um valor extremamente elevado (2241cP), muito superior ao do arroz CT (1618cP) e bem acima da média de 1200,51cP relatada por Rithesh et al., (2018), comportamento semelhante ao de variedades de alto teor de amilose, como IR 20. Esse resultado indica forte reassociação de amilose no resfriamento, associada a maior firmeza e menor pegajosidade (Polesi et al., 2014; Nakamura et al., 2021). De acordo com Aparecida et al., (2024), esse valor posiciona a FL no grupo de arroz de textura firme e grãos soltos após esfriar.

Segundo a literatura de Cardoso; Ascheri; Carvalho, (2014) a variedade CT com valores de quebra de viscosidade de 821cP, apresenta maior estabilidade dos grânulos durante o aquecimento, resultando em menor liberação de sólidos e, portanto, menor pegajosidade quando quente. Sua retrogradação (1618cP) indica firmeza moderada após o resfriamento (Ascheri et al., 2006). Já a FL apresenta uma quebra de viscosidade ligeiramente maior (852cP), o que indica maior desestruturação dos grânulos durante o aquecimento e tendência a maior pegajosidade enquanto o arroz está quente (Villalba et al., 2021).

**Tabela 3.** Determinação de viscosidade dos grãos de arroz das variedades CT e FL

	Quebra da Viscosidade		Retrogradação		Descrição do perfil de viscosidade
CT	821	Baixo	1618	Alto	Está associado a um perfil de viscosidade de grãos soltos e com textura firme.
FL	852	Intermediário	2241	Alto	Está associado a um perfil de viscosidade de grãos parcialmente aderidos e que apresentam uma textura firme.

Do ponto de vista culinário, isso significa que a CT produz grãos mais soltos e uniformemente firmes, enquanto a FL apresenta comportamento dual: mais pegajosa quando quente devido à maior quebra de viscosidade e mais rígida ao esfriar por causa da retrogradação intensa (Ascheri et al., 2009)

Ambas exibem quebras de viscosidade baixas a intermediárias em comparação com farinhas de arroz cru, onde a quebra costuma ser maior devido à ruptura intensa dos grânulos (Cardoso; Ascheri; Carvalho, 2014), reforçando o comportamento esperado para arroz polido.

### 5.3. Análises da cor no grão de arroz

A cor é um atributo fundamental para avaliar a qualidade física e sensorial do arroz,

especialmente em sua forma polida, que constitui a matéria-prima utilizada na elaboração da bebida funcional. Nessa condição, espera-se que o grão apresente tonalidades brancas, creme ou ligeiramente acinzentadas (Gavica, 2019).

Nesse sistema, o parâmetro  $L^*$  indica a luminosidade, sendo valores elevados característicos de grãos mais brancos e, portanto, mais polidos. Um maior nível de polimento implica a remoção eficiente das camadas externas farelo e gérmen, conferindo ao grão uma aparência mais brilhante e translúcida (Gavica, 2019). Por outro lado, os parâmetros cromáticos  $a^*$  e  $b^*$  descrevem a tendência às tonalidades avermelhadas ou esverdeadas ( $a^*$ ) e amareladas ou azuladas ( $b^*$ ). No arroz branco polido, esperam-se valores de  $a^*$  próximos de zero e valores  $b^*$  levemente positivos, refletindo uma coloração creme suave (Gálvez; Cano; González, 2018).

Na presente análise e como demonstrado na Tabela 4, a amostra CT apresentou maior luminosidade ( $L^*$ ), evidenciando um grão mais claro em comparação com a amostra FL. Esta última, por sua vez, exibiu valores de  $b^*$  mais elevados, indicando uma tonalidade amarela mais pronunciada. Quanto ao parâmetro  $a^*$ , a amostra CT apresentou valores ligeiramente negativos, sugerindo uma leve tendência ao verde, enquanto FL apresentou valores positivos, associados a um componente avermelhado discreto. Essas diferenças refletem variações inerentes ao perfil colorimétrico de cada variedade, influenciadas por fatores genéticos, condições de armazenamento e pelo próprio processo de polimento (Gavica, 2019).

**Tabela 4.** Análise colorimétrica dos grãos de arroz das variedades CT e FL

<b>Amostra</b>	<b><math>L^*</math></b>	<b><math>a^*</math></b>	<b><math>b^*</math></b>
<b>CT</b>	$77,22 \pm 0,01^a$	$-0,42 \pm 0,01^a$	$11,25 \pm 0,01^b$
<b>FL</b>	$74,52 \pm 0,00^b$	$0,09 \pm 0,01^b$	$13,36 \pm 0,04^a$

Resultados expressos como média e desvio padrão. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

Apesar dessas variações, ambos os materiais (CT e FL) apresentam valores elevados de  $L^*$  e baixos de  $a^*$  e  $b^*$ , características típicas do arroz polido e desejáveis para produtos que requerem um “colorido neutro”. Isso confirma sua adequação como matrizes para a fortificação com betacaroteno, garantindo que a coloração final da bebida funcional provenha principalmente do aditivo carotenoide, e não do pigmento natural do grão.

#### 5.4. Análises de minerais no grão de arroz

O valor de nitrogênio a linhagem FL apresentou maior conteúdo em comparação com CT, como se muestra na tabela 5. Como o teor proteico é calculado a partir do nitrogênio total, isso indica que FL possui um perfil proteico superior. Ademais, Verma; Srivastav (2017) destacam que o nível de proteínas é um atributo essencial de qualidade, influenciando na digestibilidade e no valor nutricional.

Os teores de fósforo apresentados na Tabela 5 para CT e FL são consistentes com Samarin et al., (2025), que relatam uma faixa de 0,07–0,20 g/100 g, e com Mohammed (2022), que encontrou valores entre 0,047 e 0,199 g/100g em dez genótipos de arroz moído. Considerando as recomendações de ingestão diária para o fósforo que é de 0,7g/dia, uma porção de 100g das variedades CT (0,10 g) e FL (0,08 g) forneceria aproximadamente 14,3% e 11,4% da ingestão diária recomendada, respectivamente (Cominetti; Cozzolino 2023).

**Tabela 5.** Análises de minerais dos grãos de arroz das variedades CT e FL (mg/100g)

Minerais	CT	FL	Samarin et al., (2025)	Verma; Srivastav, (2017)	Cominetti; Cristiane; Cozzolino (2023)
Nitrôgeno	850 ± 0,21 <sup>a</sup>	1250 ± 0,07 <sup>b</sup>	--	--	--
Fósforo	100 ± 0, 00 <sup>a</sup>	100 ± 0,03 <sup>a</sup>	70 - 200	--	700 mg/dia
Potássio	190 ± 0,01 <sup>a</sup>	180 ± 0,03 <sup>a</sup>	200	30 - 50	2300 – 3400 mg/dia (AI)
Magnésio	40 ± 0,03 <sup>a</sup>	40 ± 0,02 <sup>a</sup>	16,8 - 59,2	--	--
Cobre	0,75 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,55 ± 0,07 <sup>a</sup>	0.09 - 0.38	0,41 - 1,60	0.9 mg/día
Ferro	7,9 ± 0,8 <sup>a</sup>	10,3 ± 4,2 <sup>a</sup>	0.12 - 0.88	0,08 - 3,15	8 - 18 mg/día
Manganês	0,65 ± 0,49	0,65 ± 0,35	0,48 - 1,75	--	1,9 - 2,3 mg/dia
Zinco	1,8 ± 0,4 <sup>a</sup>	1,9 ± 0,9 <sup>a</sup>	0,75 - 1,93	0,93 - 1,7	8-11 mg/día

\*RDA: Ingestão dietética recomendada para adultos; AI: Ingestão adequada

<sup>1</sup>Cominetti; Cristiane; Cozzolino (2023)

Resultados expressos como média e desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa pelo teste t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

Os grãos de arroz das linhagens apresentam teores elevados de potássio em comparação com Verma; Srivastav, (2017) e situam-se no limite superior descrito por Samarin et al., (2025) (0,2 g/100 g). Em relação ao potássio, cuja ingestão adequada (AI) varia de 2,3 a 3,4 g/dia, as concentrações de FL e CT contribuem com cerca de 4,7–8,7% das necessidades diárias, demonstrando participação moderada, porém relevante na dieta (Cominetti; Cozzolino 2023).

Por outro lado, ambas as variedades apresentam baixos valores de magnésio (40 mg/100 g), maiores ao valor mínimo internacional reportado por Samarin et al., (2025) (16,8 mg/100 g). Esse resultado indica que, apesar do processo de polimento, o grão ainda conserva

quantidades de Mg, sugerindo que parte desse mineral permanece mesmo após a remoção das camadas externas.

Com respeito ao cobre, CT e FL apresentam concentrações superiores às relatadas no Brasil (0,18 mg/100g; Monteiro et al., 2020) e na Europa (0,099 mg/100g; Samarin et al., 2025). No entanto, encontram-se dentro da faixa de variedades aromáticas indianas (0,41–1,60 mg/100 g; Verma; Srivastav, 2017), o que sugere uma possível similaridade genética com essas variedades ou um cultivo em solos com alta disponibilidade de Cu. Segundo Cominetti; Cozzolino (2023), o teor de cobre (RDA = 0,9 mg/dia) indica que 100 g de CT (0,75 mg) pode suprir cerca de 83% da recomendação diária, enquanto FL (0,55 mg) alcança aproximadamente 61%.

Os teores de ferro observados nas linhagens destacam-se de maneira excepcional, posicionando ambas muito acima dos valores normalmente reportados para arroz polido. Esses teores superam amplamente os valores europeias descrito por Samarin et al., (2025), que é de apenas 0,12-0,88 mg/100 g. Esse desempenho notavelmente superior indica que as variedades avaliadas possuem um forte potencial genético para acumulação de ferro, característica raramente observada em cultivares convencionais. Segundo Senguttuvel et al., (2023), algumas linhagens apresentam capacidade aumentada de reter Fe no endosperma, comportamento que pode se aproximar ao de linhas transgênicas que superexpressam ferritina o que reforça ainda mais a relevância dos resultados obtidos neste estudo. Além disso, Wellen et al., (2024) relataram teores elevados em arroz cru comercial (7,93 mg/100 g), demonstrando que, sob determinadas condições edafoclimáticas como solos enriquecidos com óxidos de ferro algumas variedades podem alcançar concentrações muito superiores à média. Esse fenômeno também foi discutido por Monteiro et al., (2020). No caso do ferro (RDA = 8–18 mg/dia), a variedade CT (10,15 mg/100 g) pode fornecer entre 56% e 127% das necessidades diárias, dependendo do sexo e condição fisiológica, enquanto FL (10,2 mg/100 g) pode atingir 57% a 128%, caracterizando-se como uma fonte nutricionalmente muito relevante desse mineral (Cominetti; Cozzolino 2023).

Além disso, os valores de manganês observados (0,65 mg/100 g) estão de acordo com o esperado para arroz polido. Chen et al., (2025) destacam que o Mn se concentra predominantemente na casca e no pericarpo, resultando em perdas aproximadas de 32,43% durante o polimento. Dessa forma, os teores encontrados neste estudo coincidem com os níveis residuais presentes no endosperma descritos por Samarin et al., (2025), que variam entre 0,48 e 1,75 mg/100 g.

Os valores de zinco observados nas variedades CT (2,95 mg/100 g) e FL (2,85 mg/100

g) demonstram um desempenho expressivo. Esses resultados superam os valores máximos europeus reportados por Samarin et al., (2025), que descrevem teores de zinco 1,93 mg/100 g, e coincidem com a faixa típica para variedades índicas discutida por Verma; Srivastav (2017), cujo intervalo varia entre 0,93 e 1,70 mg/100 g.

Segundo Senguttuvel et al., (2023), o zinco se localiza principalmente no embrião e na camada de aleurona, o que faz com que o polimento do arroz remova até 16,97% desse mineral. Diante disso, o alto teor de zinco encontrado nas duas variedades reforça sua vantagem nutricional, pois mesmo com possíveis perdas no beneficiamento, ainda tende a manter teores superiores aos de muitas variedades comerciais. Considerando as recomendações de ingestão diária estabelecidas pelo International Life Sciences Institute Brasil (ILSI) para adultos, os teores minerais observados nas variedades analisadas reforçam ainda mais sua relevância nutricional. Quanto ao zinco (RDA = 8–11 mg/dia), CT (2,95 mg) e FL (2,85 mg) contribuem com cerca de 26–37% das recomendações, valor considerável para um alimento de base vegetal (Cominetti; Cozzolino 2023).

### **5.5. Análises da capacidade antioxidante do arroz**

A capacidade antioxidante de matrizes alimentares como o arroz é comumente avaliada por meio de ensaios como FRAP, DPPH e ABTS, os quais quantificam a habilidade de compostos bioativos em reduzir espécies oxidantes em comparação com um padrão de Trolox. Embora esses métodos se baseiem em mecanismos ligeiramente distintos (redução de  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$  no FRAP e neutralização de radicais livres nos ensaios DPPH e ABTS), o uso conjunto permite uma caracterização mais abrangente da atividade antioxidante total (Kaur; Subramanian; Singh, 2022).

Nos resultados obtidos para arroz branco apresentados na Tabela 6, a variedade CT apresentou baixos valores de DPPH (0,23  $\mu\text{mol TE/g}$ ) e ABTS (0,87  $\mu\text{mol TE/g}$ ), enquanto sua atividade FRAP foi não detectável (ND). Por outro lado, a variedade FL apresentou valores consistentemente mais elevados nos três ensaios (FRAP: 0,92  $\mu\text{mol TE/g}$ ; DPPH: 0,69  $\mu\text{mol TE/g}$ ; ABTS: 1,35  $\mu\text{mol TE/g}$ ), evidenciando maior potencial antioxidante.

**Tabela 6.** Análise da capacidade antioxidante dos grãos de arroz das variedades CT e FL

expressa em  $\mu\text{mol TE/g}$ .

	CT	FL	Alotaibi et al. (2024)	Apea-bah et al. (2021)	Yuraporn et al. (2023)
FRAP	ND	$0,92 \pm 0,01$	--		2,00 - 2,69
DPPH	$0,23 \pm 0,16^b$	$0,69 \pm 0,02^a$	--	0,4-0,6	0,0013 - 0,0017
ABTS	$0,87 \pm 0,03^b$	$1,35 \pm 0,25^a$	1,41–1,97	--	--

Resultados expressos como média e desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa pelo teste t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

Os valores de ABTS obtidos neste estudo situam-se dentro ou ligeiramente abaixo das faixas reportadas para outros arroz brancos processados ( $1,41\text{--}1,97 \mu\text{mol TE/g}$ ), conforme Alotaibi et al., (2024).

Em relação ao método DPPH, alguns estudos relatam atividade não detectável em arroz polido, atribuída à remoção quase total de antocianinas e ácidos fenólicos localizados nas camadas externas do grão (Tanimoto et al., 2020). No entanto, as variedades avaliadas neste trabalho apresentaram atividade mensurável ( $0,23\text{--}0,69 \mu\text{mol TE/g}$ ), indicando que certos antioxidantes permanecem mesmo após o refinamento. Esses valores superam os relatados para variedades como KDML105 ( $0,0013\text{--}0,0017 \mu\text{mol TE/g}$ ), demonstrando que a composição genética influencia significativamente a retenção de compostos antioxidantes após o polimento (Yuraporn et al., 2023). Ainda assim, os resultados observados mostram concordância com os dados de Apea; Li; Beta (2021), situando-se no intervalo de  $0,4\text{--}0,6 \mu\text{mol TE/g}$ .

A variedade CT não apresentou valor detectável para o ensaio de FRAP, podendo indicar que os antioxidantes presentes não favorecem a redução férrica característica deste método. Isso está de acordo com Tiwari et al., (2019), que destacam que certos antioxidantes são mais eficientes em mecanismos de transferência de hidrogênio (HAT), detectados principalmente por DPPH e ABTS, do que em mecanismos de transferência eletrônica pura (SET), avaliados pelo FRAP. Além disso, os valores obtidos acompanham a tendência geral observada em arroz branco, que apresenta capacidades FRAP significativamente menores ( $1,69\text{--}1,90 \mu\text{mol TE/g}$ ) em comparação com o arroz integral, devido forte remoção da camada de aleurona durante o polimento (Alotaibi et al., 2024). Da mesma forma, esses valores são inferiores aos relatados por Yuraporn et al., (2023), que encontraram faixas de  $2,00\text{--}2,69 \mu\text{mol TE/g}$  em outras variedades.

A literatura documenta amplamente que o processo de polimento reduz substancialmente o conteúdo de antioxidantes em comparação com o arroz integral ou com

frações que incluem as camadas externas do grão. O farelo e a camada de aleurona, removidos durante esse processo, concentram a maior parte dos compostos fenólicos, tocotrienóis, tocoferóis e  $\gamma$ -orizanol, todos associados a elevada atividade antioxidante (Goufo; Trindade, 2014). Nesse contexto, os valores baixos observados na variedade CT e moderados na FL refletem, como demonstrado em outros estudos comparativos, tanto a perda de antioxidantes induzida pelo polimento quanto a relevância do fator genético na conservação desses compostos mesmo após o processamento.

## 5.6. Análises do extrato de betacaroteno

O valor de betacaroteno obtido no extrato, apresentado na Tabela 7, foi de 46,90 mg/100 g em base seca, resultado que se encontra dentro do intervalo amplamente reportado na literatura para métodos convencionais de extração. Segundo a revisão de Otálora; Martín (2020), o teor de betacaroteno na cenoura pode variar entre 6,5 e 80,0 mg/100 g, dependendo da técnica empregada, da matriz vegetal e das condições de processamento.

**Tabela 7.** Análises do extrato alcoólico de betacaroteno extraído da cenoura

Parâmetros (mg/100g) b.s.	Extracto de betacaroteno (Percolação alcoólica)	(Otálora; Martín, 2020) CSE	(Escandón, 2024) Soxhlet	(Gupta; Sreelakshmi; Sharma, 2015) Fluidos supercríticos
Teor Betacaroteno	46,90 $\pm$ 0,06	38,05	23,34	18,57
Carotenoides Totais	53,30 $\pm$ 0,02	--	--	--
Umidade (%)	28,75 $\pm$ 0,21	--	--	--

b.s: base seca. Resultados expressos como média e desvio padrão.

Assim, o rendimento obtido neste estudo mostra-se acima da média registrada para a Extração Convencional (CSE) com solventes, em torno de 38,05 mg/100g (Otálora; Martín 2020). Esse alinhamento indica que o método de percolação alcoólica utilizado é eficaz e competitivo em relação a técnicas tradicionais, apresentando boa recuperação do composto bioativo sem a necessidade de equipamentos de alta pressão.

Em complemento a esse resultado, observa-se que o rendimento encontrado também é coerente com valores reportados em estudos que utilizaram subprodutos vegetais secos ou métodos térmicos controlados. Por exemplo, Escandón (2024) obteve 23,34 mg/100g de betacaroteno a partir de bagaço seco de cenoura utilizando extração Soxhlet com hexano, enquanto Gupta; Sreelakshmi; Sharma (2015) relataram 18,57 mg/100 g por meio de extração

com fluidos supercríticos a 80°C. Embora exista ampla variabilidade entre estudos (fator influenciado pela variedade da cenoura, grau de maturação, condições de cultivo e manejo pós-colheita) os valores aqui alcançados situam-se claramente dentro do intervalo esperado para métodos com controle térmico, reforçando a consistência e eficiência da técnica aplicada.

Além disso, a relação entre o betacaroteno e o total de carotenoides extraídos foi de aproximadamente 88% (46,9/53,3). Essa proporção está em plena concordância com o observado por Vasconcelos et al., (2020), que relatam que o betacaroteno geralmente representa entre 60% e 80% dos carotenoides totais presentes na cenoura. Portanto, esse achado confirma a seletividade do processo para recuperar o principal carotenoide de interesse nutricional.

Segundo Otálora; Martin (2020), esse comportamento também é relevante porque evidencia que a técnica utilizada não apenas concentrou o betacaroteno, mas possibilitou a coextração de outros carotenoides presentes em menores quantidades, como  $\alpha$ -caroteno, luteína e traços de zeaxantina. A presença conjunta desses compostos é esperada, dada sua natureza lipofílica e sua distribuição nos cromoplastos vegetais, favorecendo a obtenção de um extrato nutracêutico mais completo. Embora minoritários, esses carotenoides adicionais contribuem para a atividade antioxidante global, podem apresentar estabilidade diferenciada e exercer efeitos sinérgicos em matrizes alimentares enriquecidas com carotenoides, ampliando o valor funcional do extrato.

O extrato apresentou 28,75% de umidade, percentual que, embora represente água residual, desempenha papel importante na preservação do pigmento. Gallego et al., (2024) destacam que o betacaroteno é altamente sensível à degradação por luz e calor devido à sua estrutura de duplas ligações conjugadas. Assim, a manutenção de certa umidade, associada ao processo de concentração em baixa temperatura (45°C no rotaevaporador), pode ter contribuído para preservar sua integridade química, evitando oxidações que comumente ocorrem em secagens mais agressivas. Além disso, essa umidade moderada favorece a solubilização do extrato na matriz líquida da bebida funcional.

### **5.7. Antioxidante no extrato de betacaroteno**

Os dados apresentados na Tabela 8 evidenciam que a capacidade antioxidante é maior quando avaliada pelos métodos ABTS e FRAP, em comparação com o método DPPH. Essa tendência está de acordo com o relatado na literatura científica, que indica que os carotenoides apresentam capacidade relativamente baixa de neutralizar o radical DPPH em relação a outros sistemas de avaliação antioxidante (Kaur; Subramanian; Singh, 2022). Isso se deve, em parte, à natureza lipofílica dos carotenoides e às limitações estéricas que dificultam sua interação com

o radical DPPH.

**Tabela 8.** Análises de antioxidante no extrato de betacaroteno (base úmida)

<b>FRAP</b> <b>(<math>\mu\text{mol TE/g}</math>)</b>	<b>ABTS</b> <b>(<math>\mu\text{mol TE/g}</math>)</b>	<b>DPPH</b> <b>(<math>\mu\text{mol TE/g}</math>)</b>
11,78 $\pm$ 1,55	13,49 $\pm$ 1,82	7,08 $\pm$ 1,43

Resultados expressos como média e desvio padrão.

O ensaio ABTS permite avaliar tanto compostos individuais quanto misturas complexas e baseia-se em um mecanismo de transferência de elétrons, enquanto o método FRAP determina a capacidade redutora total do sistema, medindo o potencial redox dos compostos antioxidantes (Kaur; Subramanian; Singh, 2022). A maior resposta observada nesses dois ensaios sugere que o extrato rico em  $\beta$ -caroteno possui elevada capacidade de doar elétrons, o que se traduz em alta eficácia redutora (Pérez et al., 2023).

O valor obtido de 11,78  $\mu\text{mol TE/g}$  no ensaio FRAP indica notável eficiência na redução de  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$ , refletindo elevado potencial de transferência eletrônica (Tiwari et al., 2019), sendo próximo ao reportado por Tiveron et al. (2012), que observaram 13,2  $\mu\text{mol TE/g}$  em betacaroteno da cenoura em um estudo de verduras brasileiras. De forma complementar, o resultado de 13,49  $\mu\text{mol TE/g}$  no método ABTS confirma forte atividade antioxidante baseada no mecanismo de transferência de um único elétron (SET), dependente do potencial de ionização dos carotenoides em solventes específicos (Tiwari et al., 2019). Esse valor mostra-se superior ao descrito por Tiveron et al. (2012), de 0,9  $\mu\text{mol TE/g}$  em betacaroteno da cenoura.

Da mesma maneira, ao comparar esses achados com os dados de cenouras frescas, verifica-se diferença de magnitude expressiva. Singh et al. (2018) relataram aproximadamente 1,22  $\mu\text{mol TE/g}$  para FRAP e 3,07  $\mu\text{mol TE/g}$  para ABTS em cenouras alaranjadas *in natura*, sugerindo que a concentração, a biodisponibilidade dos carotenoides e as interações com outros constituintes da matriz influenciam significativamente a atividade antioxidante.

No caso do DPPH, o valor observado (7,08  $\mu\text{mol TE/g}$ ) também superou aquele reportado por Tiveron et al. (2012) em betacaroteno da cenoura, que foi de 3,5  $\mu\text{mol TE/g}$ , reforçando o maior desempenho antioxidante do sistema avaliado.

Em conjunto, esses resultados reforçam a importância do uso de múltiplos métodos para uma avaliação mais abrangente da capacidade antioxidante, visto que cada ensaio responde a diferentes mecanismos de ação e pode subestimar ou superestimar a atividade de determinados compostos bioativos.

## 5.8. Caracterização nutricional e físico-químico das bebidas funcionais

Os valores de umidade para as bebidas funcionais apresentados na Tabela 9 foram elevados e muito próximos entre si (CT: 85,0% – FL: 85,50%), refletindo a natureza aquosa dessas bebidas. Esses percentuais são similares aos observados por Fernández et al., (2022) em uma bebida de água de arroz-maracujá (83,80%), reforçando que extratos de arroz tendem a formar bebidas pouco concentradas, altamente hidratadas e com baixa densidade nutricional direta.

**Tabela 9.** Caracterização nutricional das bebidas funcionais

Parâmetros (b.u.)	CT	FL	Fernández et al., (2022) <sup>1</sup>	Silva et al., (2015) <sup>2</sup>
Umidade (%)	85,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	85,50 ± 0,71 <sup>a</sup>	83,80 ± 2,65	74,80 ± 1,95
Cinzas (%)	0,15 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,16 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,57 ± 0,02	1,16 ± 0,04
Lipídeos (%)	0,25 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,35 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,12 ± 0,01	0,05 ± 0,01
Proteínas (%)	0,15 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,21 ± 0,00 <sup>a</sup>	2,50 ± 0,04	0,45 ± 0,02
Carboidratos totais (%)	14,46 ± 0,06 <sup>a</sup>	13,78 ± 0,64 <sup>a</sup>	12,81 ± 0,24	20,07 ± 0,31
Valor Calórico (kcal/100mL)	60,67 ± 0,38 <sup>a</sup>	59,11 ± 3,18 <sup>a</sup>	--	79,85 ± 2,36
Açúcar Redutor (%)	2,91 ± 0,08 <sup>a</sup>	2,73 ± 0,06 <sup>a</sup>	--	11,99 ± 1,14
Sacarose (%)	10,53 ± 0,83 <sup>a</sup>	10,91 ± 0,43 <sup>a</sup>	--	--
Sólidos Solúveis (%)	13,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	13,50 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,95 ± 0,25	22,80 ± 0,74
Açúcar Total (%)	13,47 ± 0,93 <sup>a</sup>	13,66 ± 0,36 <sup>a</sup>	--	--
Amido (%)	0,76 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,65 ± 0,01 <sup>b</sup>	--	--
Amilose (%)	0,23 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,56 ± 0,02 <sup>a</sup>	--	--
Amilopectina (%)	0,53 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,09 ± 0,01 <sup>b</sup>	--	--
Densidade (g/mL)	1,04 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,06 ± 0,00 <sup>a</sup>	--	--
Acidez (% ácido láctico)	0,14 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,15 ± 0,02 <sup>a</sup>	--	--
pH	4,00 ± 0,02 <sup>a</sup>	4,00 ± 0,03 <sup>a</sup>	3,40 ± 0,30	3,00 ± 0,04

<sup>1</sup> Bebida de água de arroz e maracujá; <sup>2</sup> Extrato de arroz com maracujá e mamão

Resultados expressos como média e desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa pelo teste t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

Da mesma forma, bebidas fermentadas de arroz descritas por Mendonça et al., (2021) apresentaram umidade de aproximadamente 85,2%, em coerência com os achados do presente estudo. Além disso, estudos mostram que, mesmo quando o processo inclui moagem enzimática, cozimento ou filtragem, a retenção hídrica permanece alta devido à baixa solubilidade de sólidos do arroz. Esse comportamento também foi evidenciado em bebidas industriais avaliadas por Najman et al., (2024), cuja formulação padrão contém grandes

volumes de água combinados a baixos teores de sólidos de arroz.

Os parâmetros avaliados do teor de cinzas foram reduzidos em ambas as formulações (CT: 0,15% – FL: 0,16%), refletindo a limitada presença de minerais no produto. Em comparação, Fernández et al. (2022) relataram teor de cinzas superior (0,57%), enquanto Silva et al., (2015) reportaram conteúdo ainda mais elevado (1,16%), sugerindo que bebidas elaboradas exclusivamente com extratos aquosos de arroz tendem a apresentar menor teor de cinzas que aquelas que incluem polpas de frutas ou cereais integrais devido que ficam retidos nos grãos, os quais naturalmente concentram maior quantidade de minerais.

No que se refere ao conteúdo lipídico, as bebidas CT (0,25%) e FL (0,35%) são estatisticamente iguais, apresentando valores baixos, em concordância com sua composição diluída. Ao comparar estes resultados com os valores reportados por Silva et al. (2015), que observaram apenas 0,05% de lipídeos, e por Fernández et al., (2022), que registraram 0,12%, fica evidente que existem formulações com teores ainda inferiores aos obtidos neste estudo. Dessa forma, as variações entre pesquisas indicam que o teor lipídico em bebidas funcionais pode oscilar amplamente conforme o grau de diluição, o tipo de matéria-prima e a presença de componentes oleosos (Najman et al., 2024)

Da mesma maneira, os valores de proteína foram baixos em ambas as formulações (CT: 0,15%; FL: 0,21%), resultado esperado diante da elevada diluição, já que somente a água de cocção foi utilizada, enquanto os sólidos pré-cozidos do arroz foram destinados a reutilização. A maior parte da proteína do arroz permanece no farelo e no endosperma, componentes que não se transferem completamente para a água durante o processo de cocção (Bravo, 2023). Ao comparar com a literatura, nota-se que Fernández et al., (2022) relataram valores muito superiores (2,50%), devido ao uso de frutas na formulação, enquanto Silva et al., (2015) observaram 0,45%, valor moderadamente maior que o encontrado no presente estudo, porém ainda dentro do esperado para bebidas diluídas. Além disso, dados de mercado corroboram essa tendência: bebidas de arroz raramente ultrapassam 0,5 g/100mL de proteínas, conforme descrito por Najman et al., (2024).

Os teores de carboidratos (13,78% – 14,46%) foram ligeiramente superiores aos de bebidas comerciais de arroz (8,0% – 11,0%) reportadas por Najman et al., (2024), e comparáveis aos valores da bebida funcional de arroz e maracujá (12,81%) de Fernández et al., (2022). No entanto, tais teores foram inferiores aos observados em bebidas mistas com polpa de fruta (18,93% – 24,06%) descritas por Silva et al., (2015). Essa concentração nas bebidas CT e FL se atribui principalmente à sacarose adicionada (que representa a maior parte dos sólidos solúveis) e à solubilização parcial do amido durante a cocção (Bravo, 2023).

Da mesma forma, a densidade energética das formulações (59,11–60,67 kcal/100mL) é resultado da diluição da matriz de amido, do reduzido teor de lipídios e da adição de açúcar. Esses valores são superiores aos reportados para bebidas de arroz fermentadas (34–40 kcal/100mL) por Mendonça et al., (2021) e superiores também aos valores das bebidas de arroz comerciais (37–55 kcal/100mL) analisadas por Najman et al., (2024) e por Lamothe et al., (2020), que relataram valores próximos de 50 kcal/100mL. Contudo, são inferiores às formulações com maior densidade de ingredientes, como as misturas de arroz e frutas descritas por Silva et al., (2015) (79–103 kcal/100mL) e às bebidas de arroz fermentado e não fermentado estudadas por Rajendran; Ramesh (2024) (72–81 kcal/100mL). Assim, observa-se que as bebidas CT e FL se posicionam como alternativas leves, adequadas a consumidores que buscam produtos de baixo aporte calórico.

Os valores de °Brix obtidos (CT:13 e FL: 13.5) superam os relatados para bebidas de arroz-maracujá (1,95°Brix) por Fernández et al., (2022) e situam-se próximos aos observados em bebidas fermentadas de arroz (12°Brix) descritas por Mendonça et al., (2021) e em bebidas comerciais de arroz (12,7°Brix) analisadas por Najman et al., (2024). Além disso, a presença dos açúcares redutores (FL: 2,73% e CT: 2,91%) indica hidrólise parcial do amido durante a cocção, coincidindo com os achados de Chaparro et al. (2014) e Silva et al., (2015), que demonstraram que processos térmicos favorecem a liberação de glicose e maltose a partir do amido. Em sistemas comerciais, Najman et al., (2024) destacam que maiores concentrações de açúcares tendem a melhorar a aceitação sensorial, o que sugere que as concentrações observadas nas bebidas CT e FL podem contribuir positivamente para sua aceitação pelo consumidor.

Com respeito aos componentes amiláceos, os valores de amido residual foram baixos (CT: 0,76%; FL: 0,65%), confirmando a eficiência do processo de obtenção do extrato, que utiliza apenas a água de cocção e descarta o grão pré-cozido. Considerando que o amido representa 70% a 80% do arroz em base seca (Vascones, 2023), é esperado que a maior parte permaneça retida no grão. A pequena fração solubilizada pode, entretanto, influenciar de forma sutil as propriedades reológicas da bebida (Bravo, 2023). A distribuição entre amilose e amilopectina reforça essa interpretação: CT apresentou maior proporção residual de amilopectina (0,53%), enquanto FL mostrou maior amilose (0,56%). Essas diferenças refletem a estrutura intrínseca do amido de cada variedade e sua susceptibilidade à hidrólise e gelatinização durante a cocção (Loaiza; Larrahondo, 2017).

Os valores de pH em ambas as formulações, são estatisticamente iguais, registrando pH 4,0. Este parâmetro é especialmente relevante para a estabilidade físico-química e a segurança microbiológica das bebidas. Um pH igual ou inferior a 4,5 inibe de forma eficaz o crescimento

de microrganismos patógenos e deterioradores, reduzindo o risco de alterações durante o armazenamento (López-Reynoso et al., 2025). Nesse sentido, a acidez natural observada constitui um benefício tecnológico, pois minimiza a possibilidade de fermentações indesejadas, um dos defeitos mais comuns em bebidas à base de extratos vegetais (Azeredo et al., 2016).

Por fim, a densidade registrada foi de 1,04 g/mL para CT e 1,06 g/mL para FL, valores ligeiramente superiores à densidade da água. Esse aumento está diretamente relacionado ao teor de sólidos solúveis sobretudo carboidratos que aumentam a massa por unidade de volume (Instituto Adolfo Lutz, 2008). Dado que as bebidas possuem entre 13% e 13,5% de sólidos solúveis, uma densidade acima de 1,00g/mL é consequência esperada. Ainda assim, esses valores permanecem abaixo dos observados em bebidas que contêm farinhas ou partículas suspensas, como a bebida fermentada de farinha de arroz e gergelim, cuja densidade média foi de 1,14 g/mL (Hernández-Mónzon et al., 2019). Isso demonstra que as formulações CT e FL resultaram com baixa carga de sólidos suspensos e perfil compatível com bebidas diluídas.

### 5.9. Análise de betacaroteno e carotenoides totais nas bebidas funcionais

As bebidas CT e FL apresentaram teores de betacaroteno de 1,8 mg/100mL e 2,2 mg/100mL, respectivamente, enquanto os carotenoides totais foram de 3,1 mg/100mL (CT) e 4,1 mg/100mL (FL) como apresentado na Tabela 10.

**Tabela 10.** Análise de betacaroteno e carotenoides totais das bebidas funcionais (b.s.)

<b>Bebidas</b>	<b>Betacaroteno (mg/100mL)</b>	<b>Carotenoides Totais (mg/100mL)</b>
CT	1,8 ± 0,12 <sup>b</sup>	3,1 ± 0,34 <sup>a</sup>
FL	2,2 ± 0,16 <sup>a</sup>	4,1 ± 0,41 <sup>b</sup>

Resultados expressos como média e desvio padrão. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

Os resultados demonstram que ambas as formulações incorporaram teores significativos de compostos bioativos, destacando-se particularmente a eficiência superior da matriz da variedade FL.

Ao comparar esses valores com a literatura, observa-se que as concentrações obtidas se encontram dentro do intervalo relatado para bebidas funcionais que incorporam carotenoides. Meroni et al., (2018), ao formular bebidas emulsionadas enriquecidas com betacaroteno, encontraram valores aproximados de 2,0 a 3,5 mg/100mL; esses teores situam-se muito

próximos aos obtidos nas bebidas CT e FL, mesmo que estas não utilizem emulsões, o que sugere boa extração e estabilidade do pigmento durante a formulação.

De maneira semelhante, Sakaew et al., (2018) avaliaram sucos de frutas contendo carotenoides e relataram teores de carotenoides totais entre 0,24 e 6,50 mg/100mL, com frações de betacaroteno variando de 0,04 a 4,68 mg/100mL. Observa-se que as bebidas CT e FL se enquadram no nível esperado desses compostos bioativos para matrizes vegetais aquosas.

Os resultados também são consistentes com as observações de Donhowe et al., (2014), que demonstraram que a estabilidade e a concentração final de betacaroteno em bebidas dependem fortemente da presença de emulsões lipídicas e sistemas de encapsulação. Na ausência desses sistemas, as concentrações tendem a situar-se entre 1 e 3 mg/100mL, faixa na qual se alinham as formulações deste estudo.

Em conjunto, as comparações mostram que as bebidas CT e FL apresentam concentrações de betacaroteno e carotenoides semelhantes aos relatados para bebidas funcionais naturais. A superioridade da FL em relação à CT confirma a influência varietal, e os valores obtidos sugerem que ambas as formulações podem ser consideradas fontes moderadas de compostos bioativos, mesmo sem o uso de técnicas de enriquecimento, emulsificação ou encapsulação.

De acordo com a Instrução Normativa nº75/2020 da ANVISA, para uma bebida ser declarada como fonte de vitamina A deve conter no mínimo 15% do Valor Diário de Referência (VDR) que é de 800 µg RAE (Brasil, 2020).

De acordo com o fator de conversão adotado pela ANVISA (1µg de equivalente de atividade de retinol (RAE) = 12 µg de β-caroteno), portanto para uma porção de referência de 200mL, a bebida deve conter no mínimo 1,44 mg de β-caroteno.

O teor de β-caroteno determinado analiticamente na bebida foi de 3,6mg (CT) e 4,4mg (FL) por porção de referência de 200 mL, confirmando que a quantidade de β-caroteno presente em ambas as formulações atende aos critérios estabelecidos para a bebida ser declarada como fonte de vitamina A.

De acordo com as recomendações do International Life Sciences Institute Brasil (Cominetti; Cozzolino, 2023), a ingestão diária recomendada de vitamina A é de 900 µg ERA para homens e 700 µg RAE para mulheres. Considerando o teor de β-caroteno determinado (3,6mg/200mL em CT e 4,4mg/200mL em FL) e o fator de conversão de 12 µg de β-caroteno = 1 µg RAE, as bebidas fornecem aproximadamente 300 µg RAE (CT) e 366 µg RAE (FL) por 200mL. Assim, o consumo de cerca de 2 a 3 porções de 200mL das bebidas é suficiente para atingir a ingestão diária recomendada, demonstrando o elevado potencial das formulações como

fontes naturais de pró-vitamina A.

### 5.10. Análise colorimétrica das bebidas funcionais

A análise colorimétrica confirma a adequada incorporação do corante natural betacaroteno em ambas as formulações, evidenciando uma cor atrativa e característica de bebidas fortificadas com carotenoides, compatível com a presença de  $\beta$ -caroteno. Os parâmetros de cromaticidade ( $a^*$  e  $b^*$ ) desempenham um papel fundamental na definição do tom final do produto e, neste estudo, permitem validar de maneira objetiva a ação do aditivo carotenoidal (Gálvez; Cano; González, 2018).

De acordo com a Tabela 11, no eixo  $b^*$ , associado à tendência ao amarelo, ambas as formulações apresentaram valores altamente positivos (70,83 para CT e 81,24 para FL). Isso confirma uma coloração intensamente amarela, coerente com a presença do betacaroteno, um pigmento naturalmente amarelo-alaranjado. A formulação FL apresentou a maior saturação amarela (81,24), indicando uma tonalidade mais vibrante e marcante em comparação com CT.

**Tabela 11.** Análise colorimétrica das bebidas funcionais

Bebidas	L*	a*	b*
CT	64,22 ± 0,20 <sup>a</sup>	10,15 ± 0,07 <sup>b</sup>	70,83 ± 0,15 <sup>b</sup>
FL	51,44 ± 0,02 <sup>b</sup>	14,84 ± 0,01 <sup>a</sup>	81,24 ± 0,06 <sup>a</sup>

Resultados expressos como média e desvio padrão. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

O eixo  $a^*$ , responsável pelo componente avermelhado da cor, também apresentou valores significativamente positivos (10,15 para CT e 14,84 para FL). Um valor positivo de  $a^*$  desloca o tom para o vermelho e, quando combinado com valores elevados de  $b^*$ , resulta na típica tonalidade amarelo-alaranjada dos carotenoides (Gálvez; Cano; González, 2018). Assim, a formulação FL novamente se destaca, revelando uma cromaticidade mais intensa e profunda.

A maior intensidade cromática observada em FL refletida pelos seus valores superiores de  $a^*$  e  $b^*$  está alinhada com os resultados apresentados na Tabela 4, em que essa variedade apresentou maior concentração de carotenoides totais (4,1 mg/100mL), em comparação com CT (3,1 mg/100mL). Isso confirma a coerência entre a composição pigmentária e os atributos visuais do produto.

Quanto à luminosidade, que indica a claridade do produto (100 = branco; 0 = preto), observaram-se diferenças significativas entre as formulações. A variedade CT apresentou um valor de L de 64,22, sendo notavelmente mais clara que FL (51,44). A menor luminosidade de

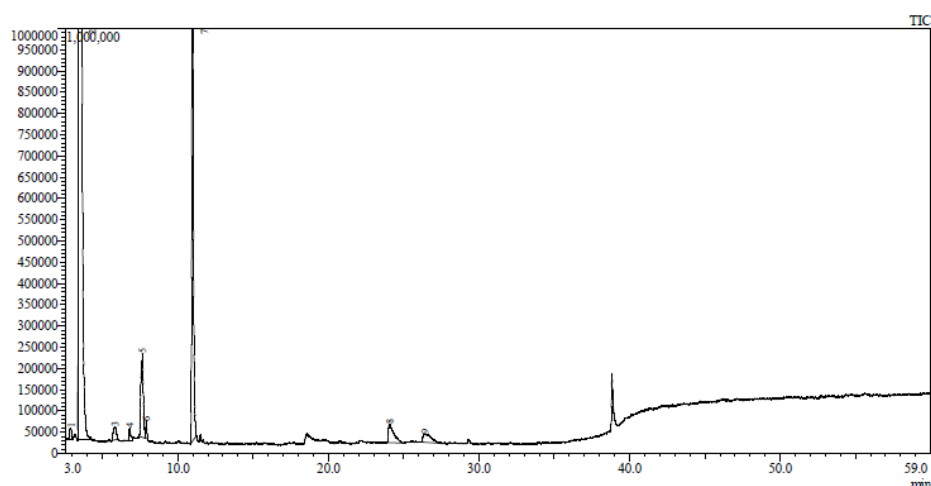
FL é explicada por sua maior concentração de pigmentos, já que uma cor mais saturada tende a reduzir a percepção de claridade. Além disso, em bebidas à base de arroz, é comum que a luminosidade aumente ao longo da vida útil devido a processos físicos e físico-químicos próprios do armazenamento (Gálvez; Cano; González, 2018).

Conjuntamente, os resultados de cor confirmam a eficácia do betacaroteno como agente corante natural, cumprindo sua função de substituir aditivos sintéticos e proporcionando uma aparência mais atrativa ao produto. A tonalidade amarelo-alaranjada obtida é altamente favorável, uma vez que estudos sensoriais indicam que os consumidores associam esse tipo de coloração a produtos mais naturais e com melhor percepção de sabor e textura (Gallego et al., 2024).

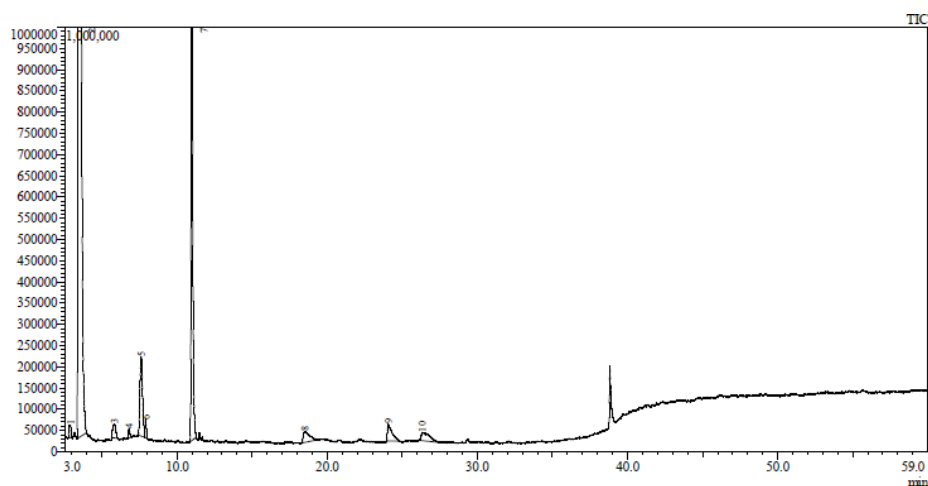
### 5.11. Análise de compostos orgânicos voláteis

A análise por GC-MS revelou um perfil de compostos orgânicos voláteis (COVs) dominado por álcoois, ésteres e aldeídos. Esses compostos não atuam de forma isolada; sua percepção e volatilidade são influenciadas por interações complexas entre si e com a matriz da bebida (Chamber; koppel 2013).

Os cromatogramas das bebidas obtidas dos grãos das variedades CT e FL como apresentados nas Figuras 6 e 7 indicam semelhança dos perfis dos compostos voláteis nas bebidas.



**Figura 6.** Cromatograma dos compostos voláteis identificados na bebida funcional CT



**Figura 7.** Cromatograma dos compostos voláteis identificados na bebida funcional FL.

O etanol foi o composto majoritário ( $\approx 86\%$  da área total dos voláteis como mostrado na Tabela 12), estando sua presença associada ao uso desse solvente na extração do  $\beta$ -caroteno, procedimento comum na recuperação de carotenoides devido à sua eficiência na solubilização de compostos lipofílicos e compatibilidade com aplicações alimentares (Li et al., 2017). Além de origem tecnológica, o etanol influencia o comportamento sensorial da bebida, pois pode modificar a volatilidade de outros compostos aromáticos, afetando sua liberação e percepção. Em sistemas hidroalcoólicos, interações com ésteres frutados podem contribuir para um perfil aromático mais equilibrado, atenuando a percepção pungente do álcool residual (Le et al., 2007).

**Tabela 12.** Análise de compostos orgânicos voláteis das bebidas funcionais

Compostos orgânicos voláteis	RT (min)	CT (Área %)	FL (Área %)	Fórmula química	Grupo funcional	Contribuição
Acetato de etila	2,9	0,20	0,19	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	Éster	Frutado e doce
Etanol	3,5	86,25	86,46	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	Álcool	Acre
1,3-Pentanodiol, 2-metil	5,8	0,36	0,35	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	Diol	Corpo aromático
Hexanal	6,8	0,19	0,11	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	Aldeído	Verdes/herbáceas
1-Propanol, 2-metil	7,6	1,78	1,73	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	Álcool	Frutado e doce
1-Butanol, 3-metil-, acetato	7,9	0,16	0,17	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	Éster	Banana/fruta madura
1-Butanol, 3-metil	11,0	9,70	9,28	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	Álcool	Corpo aromático
Octanoato de etila	24,08	--	0,54	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	Éster	Frutado e doce
Ácido decanoico, éster etílico	24,1	0,85	0,61	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	Éster	Frutados e florais
(E)-1-metil-4-(6-metilhept-5-en-2-ilideno)ciclohexeno	26,33	0,60	0,56	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	Alqueno	Amadeirado

\*RT: tempo de retenção; Área (%): área relativa do pico cromatográfico.

Vários ésteres foram identificados: Acetato de etila, Acetato de isoamila (1-Butanol, 3-metil, acetato), Éster etílico do ácido decanoico. Ésteres são frequentemente associados a notas frutadas e doces em alimentos e bebidas. Em bebidas à base de arroz, esses compostos podem formar-se por reações químicas entre álcoois e ácidos presentes durante o processamento térmico (como aquecimento e mistura), ou pela interação com os próprios açúcares e ácidos do grão de arroz. A literatura sobre bebidas de cereais descreve que ésteres de baixo peso molecular, podem conferir aromas frutados naturais, favorecendo a aceitabilidade sensorial (Puerari; Magalhães; Schwan 2015). O acetato de etila em particular está associado a aromas frutados e doces que podem melhorar a percepção aromática da bebida (Chamber; Koppel 2013). O octanoato de etila composto caracterizado por conferir notas aromáticas doces e frutadas, desempenhando um papel importante na definição das propriedades sensoriais do produto. Além disso, sua formação está associada a processos metabólicos e bioquímicos que ocorrem durante o desenvolvimento ou processamento do alimento, podendo influenciar a intensidade e a complexidade do aroma final (El Hadi, 2013).

Outros álcoois detectados incluem: 1-Propanol, 2-metil, 1-Butanol, 3-metil, 1,3-Pentanodiol, 2-metil. Estes compostos podem surgir de reações térmicas durante o processamento (por exemplo hidrólise térmica) ou da própria composição dos açúcares e aminoácidos do arroz. Embora esses compostos sejam menos voláteis que ésteres de baixo peso, atuam como precursores para a síntese de ésteres e contribuem para o “corpo” e a base aromática da bebida. Sua presença é consistente com perfis de bebidas nos quais se busca maior complexidade sensorial, além das notas doces simples (Lilly et al., 2006).

O hexanal foi detectado em baixas proporções e é comumente associado a notas verdes e herbáceas em produtos à base de cereais. Em bebidas não fermentadas, sua presença provavelmente decorre de oxidação lipídica leve ou de reações entre lípidios e oxigênio durante processamento (Ma et al., 2024). Em concentrações controladas, esse aldeído pode adicionar nuances aromáticas percebidas como frescor ou vegetal leve, complementando o perfil de aroma global.

A função principal do (E)-1-metil-4-(6-metilhept-5-en-2-ilideno)ciclohexeno como composto aromático é proporcionar notas olfativas frescas, cítricas e levemente herbais, as quais contribuem para o perfil sensorial característico de frutas, sucos e outros produtos naturais. Devido à sua volatilidade, esse composto participa ativamente na formação do bouquet

aromático, influenciando a percepção do aroma e a aceitação sensorial do alimento (Belitz; Grosch; Schieberle, 2009).

O perfil de VOCs da bebida de arroz indica um aroma complexo e equilibrado, resultante da combinação de ésteres frutados e doces, álcoois superiores que contribuem para o corpo da bebida, e leves notas herbáceas que conferem frescor. Esse conjunto é consistente com perfis aromáticos desejáveis em bebidas vegetais e funcionais, associados à maior aceitabilidade sensorial e percepção de qualidade (Papp et al., 2024).

Além disso, a matriz rica em carboidratos influencia a dinâmica dos aromas. O amido, especialmente a amilose, pode formar complexos de inclusão capazes de reter compostos voláteis, permitindo sua liberação gradual durante o consumo. Assim, a bebida de arroz pode atuar como um reservatório de aromas, favorecendo a persistência sensorial e prolongando o *aftertaste*, ou seja, o sabor residual (Li et al., 2017).

## 5.12. Análise de minerais nas bebidas funcionais

A análise do perfil mineral das amostras apresentada na Tabela 13 revelou que a bebida FL (195 mg/100mL) possui um teor de nitrogênio significativamente superior ao da bebida CT (145 mg/100mL). Considerando que o nitrogênio é o principal marcador químico para estimar proteínas, esses valores confirmam que a formulação FL retém uma fração maior de compostos nitrogenados.

**Tabela 13.** Análise de minerais (mg/100mL) das bebidas funcionais

Minerais	CT	FL	Walther et al., (2022) <sup>1</sup>	Cámara et al., (2024) <sup>2</sup>	Soares et al., (2004) <sup>3</sup>	Antunes et al., (2025) <sup>4</sup>
Nitrogênio	145 ± 7,07 <sup>b</sup>	195 ± 7,07 <sup>a</sup>	--	--	--	--
Fósforo	90 ± 0,00 <sup>a</sup>	20 ± 0,00 <sup>b</sup>	71	--	--	54
Potássio	115 ± 7,07 <sup>a</sup>	125 ± 7,07 <sup>a</sup>	30,7	167 – 223	70 - 246	--
Magnésio	30 ± 0,00 <sup>a</sup>	20 ± 0,00 <sup>a</sup>	--	8,9 – 12,3	4,9 – 20,8	1,9
Cobre	0,20 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,30 ± 0,00 <sup>a</sup>	ND	--	0,04–0,08	0,03
Ferro	12,45 ± 0,07 <sup>a</sup>	3,95 ± 0,07 <sup>b</sup>	0,14	--	0,18 – 1,60	--
Manganês	0,20 ± 0,35 <sup>a</sup>	0,30 ± 0,00 <sup>a</sup>	--	0,018 - 0,055	0,03 – 0,60	--
Zinco	0,35 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,20 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,053	--	0,07 – 0,26	--

<sup>1</sup> bebida suíça de arroz; <sup>2</sup> sucos de laranja europeus; <sup>3</sup> sucos concentrados de frutas brasileiras; <sup>4</sup> bebida de arroz portuguesa

Resultados expressos como média e desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa pelo teste t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

Em relação ao fósforo, a amostra CT apresentou valor elevado de 90 mg/100mL, enquanto a FL apresentou 20 mg/100mL. No contexto das bebidas vegetais comerciais, o teor de fósforo em bebidas de arroz apresenta 54 mg/100mL (Antunes et al., 2025). Isso posiciona a amostra CT acima da média de mercado, o que é relevante considerando que o fósforo é um mineral essencial. Já a amostra FL apresenta perfil mais baixo, semelhante ao observado em alguns sucos de frutas que não são fontes primárias desse mineral.

Quanto ao potássio, as amostras apresentaram 115 mg/100mL (CT) e 125 mg/100mL (FL). Embora esses valores sejam nutricionalmente adequados, situam-se em uma faixa moderada quando comparados a outras bebidas. Por exemplo, sucos de laranja do Reino Unido são muito ricos em potássio, alcançando entre 167 e 223 mg/100mL (Cámara et al., 2024), e algumas bebidas comerciais de soja ou coco podem ultrapassar 150 mg/100mL (Walther et al., 2022). No entanto, o teor nas amostras CT e FL é superior ao de muitas bebidas comerciais de arroz padrão, que frequentemente apresentam valores próximos de 30–45 mg/100mL, dependendo do processamento (Marquès et al., 2021).

O magnésio apresentou valores de 30 mg/100mL (CT) e 20 mg/100mL (FL). Essas concentrações são superiores aos comumente relatados em bebidas comerciais de arroz, que geralmente apresentam concentrações muito baixas, em torno de 1,9 mg/100 g (Antunes et al., 2025), e superam o suco de laranja europeu, que apresenta média entre 8,9 e 12,3 mg/100mL (Cámara et al., 2024). Portanto, as bebidas desenvolvidas representam uma fonte de magnésio mais concentrada do que muitas alternativas vegetais padrões.

Recentes estudos suíços sobre o perfil mineral de alternativas vegetais indicam que as bebidas comerciais de arroz contêm teores extremamente baixos de cobre, (Walther et al., 2022). Estudos portugueses reportaram valor de 0,03 mg/100mL (Antunes et al., 2025). Mesmo as bebidas de soja, que geralmente são as mais ricas nesse mineral entre as opções vegetais, apresentam média em torno de 0,13 mg/100mL (Walther et al., 2022). Isso significa que a bebida FL contém quase o triplo de cobre em comparação a uma bebida de soja e é amplamente superior à bebida de arroz comercial padrão. As amostras também superam sucos de frutas populares. Por exemplo, sucos de frutas tropicais como manga ou abacaxi variam entre 0,03 e 0,08 mg/100mL (Soares et al., 2004).

Enquanto ao ferro a amostra CT atingiu 12,45 mg/100mL e a FL 3,95 mg/100mL. Os valores de CT são altos quando comparados às referências de mercado e, embora a FL apresente

diferença significativa em relação à CT, ainda se encontra acima dos valores relatados na literatura. Bebidas comerciais de arroz geralmente contêm apenas traços de ferro, com média de 0,14mg/100mL (Walther et al., 2022). Até mesmo sucos de frutas tropicais, como o de abacaxi, considerados fontes razoáveis de minerais, atingem no máximo 2,57 mg/100mL (Soares et al., 2004). A maior concentração de ferro é explicada pelo uso de variedades de arroz biofortificadas, especialmente CT, superior a FL. Além disso, o extrato rico em  $\beta$ -caroteno favoreceu sua preservação, aumentando o valor nutricional da bebida em comparação com alternativas vegetais convencionais.

Por fim, quanto ao zinco e ao manganês, as amostras apresentaram valores moderados (Zn: 0,20–0,35 mg/100mL; Mn: 0,20–0,30 mg/100mL). Essas concentrações são competitivas e, os valores do zinco, superiores aos encontrados tipicamente em bebidas comerciais de arroz (aprox. 0,05mg/100mL) (Walther et al., 2022) e em sucos de frutas como maçã ou laranja, nos quais os teores de zinco geralmente são inferiores a 0,1 mg/100mL (Farid; Enani, 2010). No caso do manganês, cuja ingestão adequada (AI) citada por ILSI Brasil situa-se entre 1,8 e 2,3 mg/dia, a bebida pode fornecer entre 11% e 16,7% da AI por 100mL, posicionando-a como fonte complementar significativa desse micronutriente (Cominetti; Cozzolino 2023).

As bebidas demonstram densidade mineral superior à maioria das bebidas comerciais de arroz não fortificadas e a diversos sucos de frutas, destacando-se especialmente na maioria dos minerais analisados. Assim, posicionam-se como uma alternativa vegetal de alto valor nutricional dentro do segmento de bebidas funcionais.

### 5.13. Análise de antioxidante na bebida funcional e a bebida controle

Para avaliar a capacidade antioxidante das bebidas foi formulada uma bebida controle de cada variedade de grão de arroz sem adição de extrato de betacaroteno da cenoura e os dados estão apresentados na Tabela 14.

**Tabela 14.** Análise da capacidade antioxidante das bebidas funcionais comparando com a bebida controle e expressa em  $\mu\text{mol TE/mL}$

	FRAP		ABTS		DPPH	
	Funcional	Controle	Funcional	Controle	Funcional	Controle
CT	1,05 $\pm$ 0,04 <sup>aA</sup>	0,16 $\pm$ 0,03 <sup>bA</sup>	1,33 $\pm$ 0,1 <sup>aA</sup>	0,09 $\pm$ 0,03 <sup>bA</sup>	0,66 $\pm$ 0,01 <sup>A</sup>	ND
FL	1,13 $\pm$ 0,02 <sup>aA</sup>	0,22 $\pm$ 0,02 <sup>bA</sup>	1,22 $\pm$ 0,06 <sup>aA</sup>	0,18 $\pm$ 0,01 <sup>bA</sup>	0,75 $\pm$ 0,07 <sup>A</sup>	ND

ND: não detectado

Resultados expressos como média e desvio padrão. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença

estatística significativa pelo teste t de Student ( $p \leq 0,05$ ). Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste t de Student ( $p \leq 0,05$ ).

Conforme o teste de Student ( $p \leq 0,05$ ), não foram observadas diferenças significativas entre as bebidas funcionais avaliadas pelos métodos FRAP, ABTS e DPPH. Da mesma forma, as amostras controle também não diferiram entre si. Em conjunto, os resultados demonstram que as formulações apresentam comportamento antioxidante semelhante, independentemente do ensaio aplicado.

As bebidas funcionais enriquecidas apresentaram atividade antioxidante substancialmente superior às bebidas controle (água de arroz) em todos os métodos avaliados, evidenciando o impacto direto da incorporação do extrato natural de  $\beta$ -caroteno de cenoura na resposta antioxidante da matriz.

No ensaio FRAP, que avalia o poder redutor férrico, observou-se um aumento expressivo com o enriquecimento: a bebida funcional CT apresentou 1,05  $\mu\text{mol TE/mL}$ , comparado a apenas 0,16  $\mu\text{mol TE/mL}$  no controle, enquanto FL atingiu 1,13  $\mu\text{mol TE/mL}$  frente a 0,22  $\mu\text{mol TE/mL}$  na respectiva bebida controle. Esse incremento indica maior presença de compostos com capacidade de transferência eletrônica (Nwachukwu et al., 2021), refletindo o aporte de antioxidantes do extrato vegetal.

Tendência semelhante foi observada no ensaio ABTS, no qual as bebidas funcionais (CT: 1,33; FL: 1,22  $\mu\text{mol TE/mL}$ ) superaram amplamente os controles (0,09 e 0,18  $\mu\text{mol TE/mL}$ , respectivamente). Como o ABTS detecta antioxidantes hidrofílicos e lipofílicos (Sadowska; Bartosz, 2022) esses resultados sugerem que o extrato de cenoura contribuiu com compostos bioativos capazes de atuar em diferentes mecanismos antioxidantes.

O efeito do enriquecimento é ainda mais evidente no DPPH, onde as bebidas controles não apresentaram atividade detectável, enquanto as funcionais exibiram valores de 0,66 (CT) e 0,75  $\mu\text{mol TE/mL}$  (FL). Segundo Kedare; Singh, (2011), demonstra que o extrato vegetal forneceu moléculas com capacidade de doação de hidrogênio e neutralização de radicais livres ausentes ou em concentrações insuficientes na água de arroz isoladamente.

De forma geral, os dados indicam que a matriz de arroz polido possui baixo potencial antioxidante intrínseco, mas atua como veículo adequado para compostos bioativos adicionados. O enriquecimento promoveu aumentos de várias vezes na atividade antioxidante em todos os métodos, evidenciando que a formulação funcional não apenas adiciona valor nutricional, mas também melhora significativamente o potencial bioativo da bebida. Esses resultados confirmam a eficácia tecnológica do uso de extratos vegetais como estratégia de

fortificação antioxidante em bebidas à base de cereais.

As bebidas enriquecidas apresentaram atividade antioxidante quantificável nos três ensaios. Em conjunto, esse perfil confirma que, embora a matriz base (arroz polido) tenda a ser pobre em compostos fenólicos devido à remoção do farelo e da camada de aleurona, a incorporação do extrato vegetal de cenoura fornece capacidade redutora e antirradical mensurável.

Em bebidas comerciais de arroz ou leite de arroz, foram reportados valores de atividade antioxidante por ABTS entre 3,28 e 5,57  $\mu\text{mol TE/mL}$  (Najman et al., 2024), superiores aos observados neste estudo. Essa diferença pode ser atribuída ao fato de que, no presente trabalho, foi utilizada apenas a água de arroz, o que implica menor extração de compostos bioativos. Estudos anteriores, como o de Da Silva et al. (2023), mostram que bebidas vegetais elaboradas com arroz branco apresentam menor capacidade antioxidante quando comparadas às produzidas com arroz vermelho ou preto, tendência associada à perda das camadas externas do grão durante o refinamento. Esses achados sustentam que, ao utilizar arroz polido como matéria-prima, o potencial antioxidante basal da bebida é naturalmente limitado, dependendo em maior grau dos ingredientes enriquecedores adicionados à formulação.

Além disso, em um estudo amplo de bebidas vegetais comerciais, a capacidade antioxidante por DPPH foi reportada na faixa de 0,003–0,307  $\mu\text{mol TE/mL}$ , evidenciando que muitas bebidas vegetais apresentam valores baixos nesse ensaio. Considerando que os valores de DPPH do presente estudo (0,66–0,75  $\mu\text{mol TE/mL}$ ) estão acima desse intervalo típico, isso sugere que o enriquecimento com extrato de cenoura efetivamente elevou a resposta antirradical da matriz (Silva et al., 2020).

Ao comparar as bebidas funcionais com sucos de cenoura, os valores reportados na literatura costumam ser muito mais elevados, pois o “substrato” é majoritariamente vegetal e contém maior teor de sólidos bioativos. Por exemplo, em sucos de cenoura (variedades preta, laranja e amarela), foram reportados valores de DPPH  $\approx 27,66\text{--}29,12 \mu\text{mol Trolox/mL}$  e ABTS  $\approx 3,15\text{--}4,16 \mu\text{mol Trolox/mL}$ . Em comparação, os valores obtidos neste estudo são menores, o que é esperado, considerando que a formulação atual corresponde a uma bebida à base de água de arroz com fração de extrato vegetal, e não a um suco 100% vegetal (Purkiewicz et al., 2020).

Além disso, o fato de as bebidas apresentarem valores de ABTS e FRAP proporcionalmente maiores do que os de DPPH também pode ser explicado pelas diferenças nos mecanismos e na sensibilidade dos ensaios. O método FRAP, que se baseia na capacidade de compostos antioxidantes reduzirem íons férricos ( $\text{Fe}^{3+}$ ) por transferência de elétrons, costuma correlacionar-se fortemente com o teor total de compostos fenólicos, uma vez que

muitos desses bioativos atuam principalmente via mecanismos de transferência eletrônica (SET) (Rumpf et al., 2023).

Ensaio comparativos demonstraram que FRAP e métodos como Folin–Ciocalteu, que quantificam fenóis totais, apresentam boa correlação, indicando a contribuição predominante de fenólicos para o poder redutor medido (Rumpf et al., 2023; Dudonné et al., 2016). Por outro lado, métodos como DPPH, que avaliam a capacidade de doação de hidrogênio, podem apresentar menor sensibilidade em matrizes predominantemente aquosas ou com compostos hidrofílicos/lipofílicos diversificados (Floegel et al., 2011). O ensaio ABTS tende a refletir a atividade de uma gama mais ampla de antioxidantes, especialmente fenólicos solúveis, o que também contribui para sua maior correlação com o FRAP em alimentos vegetais (Floegel et al., 2011).

#### 5.14. Análise microbiológica das bebidas funcionais

A avaliação microbiológica constitui um parâmetro crítico para garantir a inocuidade e a estabilidade de bebidas à base de cereais, as quais, devido à sua composição rica em carboidratos e nutrientes, representam substratos favoráveis ao crescimento microbiano (Manickam, 2025). Neste estudo, as bebidas funcionais elaboradas com arroz biofortificado (CT e FL) e extrato de betacaroteno apresentaram excelente qualidade higiênico-sanitária, atendendo não apenas aos critérios científicos de segurança alimentar, mas também aos padrões microbiológicos estabelecidos pela legislação brasileira.

De acordo com os resultados da Tabela 15, observou-se ausência de *Salmonella* sp. e níveis de *Escherichia coli* < 1,0 UFC/mL em ambas as formulações. Esses achados estão em plena conformidade com a Instrução Normativa nº 161/2022 (Brasil, 2022a), que estabelece a ausência de *Salmonella* em alimentos prontos para consumo como critério obrigatório de segurança microbiológica. Da mesma forma, a baixa contagem de *E. coli* confirma condições adequadas de higiene durante o processamento, em concordância com a RDC nº 724/2022, que reforça o controle de microrganismos indicadores de contaminação fecal em alimentos prontos para consumo (Brasil, 2022b). Os laudos microbiológicos de ambas as bebidas confirmam essa conformidade regulatória.

**Tabela 15.** Análise microbiológica das bebidas funcionais

Parâmetro microbiológico	CT	FL	IN 161/2022	Conformidade
<i>Escherichia coli</i>	< 1,0 UFC/g	< 1,0 UFC/g	≤ 1,0 x 10	Conforme

<i>Salmonella sp</i>	Ausência UFC/g	Ausência UFC/g	Ausência	Conforme
<i>Bacillus cereus</i>	< 1,0 x 10 UFC/mL	< 1,0 x 10 UFC/mL	≤ 1,0 x 10	Conforme
Bolores e leveduras	< 1,0 UFC/g	< 1,0 UFC/g	Não especificado	--
Coliformes a 35°C (Totais)	< 0,3 NMP/g	< 0,3 NMP/g	≤ 1,0 x 10	Conforme

Os níveis de coliformes totais (< 0,3 NMP/mL) foram ainda inferiores aos relatados por Fernández et al. (2022) em bebidas de arroz e maracujá (< 3 NMP/mL), evidenciando controle higiênico superior. Do ponto de vista regulatório, esses valores encontram-se abaixo dos limites de referência utilizados pela ANVISA como indicadores de Boas Práticas de Fabricação (BPF), o que reforça a eficácia do tratamento térmico do arroz (15–20 min) e das condições de manipulação asséptica descritas na metodologia (Brasil, 2022a).

Um achado particularmente relevante foi o controle de *Bacillus cereus* (< 1,0 × 10 UFC/mL). O arroz é reconhecido como veículo frequente dessa bactéria esporulada, capaz de sobreviver ao cozimento e produzir toxinas (Manickam, 2025). Puerari; Magalhães; Schwan (2015) descreveram sua predominância em fermentações espontâneas de arroz, alertando para riscos em processos artesanais. Entretanto, os valores obtidos nas bebidas CT e FL situam-se muito abaixo de níveis associados a risco toxigênico e são compatíveis com os critérios de aceitação microbiológica da legislação brasileira, que considera esse microrganismo controlável por meio de BPF e tratamento térmico adequado.

Quanto à estabilidade fúngica, as contagens de bolores e leveduras foram < 1,0 UFC/mL, inferiores aos valores encontrados em bebidas fermentadas tradicionais (Puerari; Magalhães; Schwan 2015 e abaixo dos limites usualmente aceitos para bebidas não alcoólicas refrigeradas (< 10 UFC/mL) (Fernández et al., 2022). Esse resultado, além de indicar estabilidade microbiológica, é coerente com a combinação de barreiras tecnológicas aplicadas (tratamento térmico, envase protegido e pH ácido).

O pH final de 4,0 em ambas as bebidas representa outra barreira intrínseca relevante. Mendoza et al. (2021) e Puerari; Magalhães; Schwan (2015) destacam que valores de pH iguais ou inferiores a 4,5 inibem o crescimento da maioria das bactérias patogênicas, incluindo Enterobacteriaceae. Esse fator, associado ao controle térmico, está alinhado ao conceito de “múltiplas barreiras” amplamente reconhecido na segurança de alimentos e respaldado indiretamente pelas normas microbiológicas da ANVISA baseadas na análise de risco do alimento.

Em conjunto, os resultados microbiológicos validam que as bebidas de arroz biofortificado CT e FL suplementadas com betacaroteno são microbiologicamente seguras,

atendendo aos padrões microbiológicos da legislação brasileira (IN 161/2022 e RDC 724/2022)  
Ao apresentarem cargas microbianas inferiores às reportadas em bebidas artesanais e compatíveis com padrões industriais, essas formulações demonstram não apenas valor nutricional, mas também robustez tecnológica e conformidade regulatória, respaldando sua aptidão para consumo humano e seu potencial de comercialização.

## 6. CONCLUSÃO

O presente estudo alcançou com êxito o desenvolvimento de bebidas funcionais a partir de variedades de arroz biofortificado (CT e FL) e extrato de cenoura, demonstrando a viabilidade técnica e nutricional do aproveitamento da água de cocção como matriz alimentar. Com base nos resultados obtidos, conclui-se o seguinte:

A seleção de variedades geneticamente melhoradas foi determinante para o perfil final do produto. A variedade FL confirmou seu maior teor proteico no grão (9,35%), refletindo-se em uma bebida com maior retenção de nitrogênio e compostos proteicos. Por sua vez, tanto FL quanto CT destacaram-se pelos teores de ferro e zinco, sendo particularmente evidente, no caso da CT, a eficiente transferência dessas características para a bebida final.

O método de maceração e percolação alcoólica demonstrou ser eficiente, obtendo-se um extrato com 46,9 mg/100g de betacaroteno e uma recuperação de 88% em relação aos carotenoides totais, preservando sua integridade química. A incorporação desse extrato na bebida permitiu alcançar concentrações de betacaroteno de 1,8 mg/100mL (CT) e 2,2 mg/100 mL (FL). Esses valores estão de acordo com os critérios normativos da ANVISA para serem considerados fonte de vitamina A, cobrindo mais de 15% da ingestão diária recomendada (VDR) por porção.

Ao contrário das bebidas de arroz comerciais padrão, que geralmente são pobres em micronutrientes, as formulações desenvolvidas apresentaram uma boa densidade mineral: a bebida CT atingiu teores notáveis de ferro (12,45 mg/100mL), posicionando-se como uma estratégia potente contra a anemia, enquanto a FL (3,95 mg/100mL) também superou referências de mercado e sucos de frutas. Ambas as bebidas apresentaram teores relevantes de cálcio (85–100 mg/100mL) e magnésio (20-30 mg/100mL), superando significativamente bebidas vegetais não fortificadas e sucos tradicionais.

A adição do extrato de cenoura transformou a matriz de arroz, que possui baixa atividade antioxidante, em uma bebida potencialmente. Observou-se um aumento na capacidade antioxidante em comparação com a bebida controle (apenas água de arroz) nos ensaios ABTS, DPPH e FRAP. A variedade FL apresentou a maior atividade antioxidante geral, sugerindo uma melhor interação entre os peptídeos do arroz e os carotenoides da cenoura. Além disso, o betacaroteno atuou eficazmente como corante natural, proporcionando uma tonalidade amarelo-alaranjada vibrante sem o uso de aditivos sintéticos.

As bebidas apresentaram características ideais para o consumo saudável: baixo valor calórico (~60 kcal/100mL), baixo teor lipídico e pH ácido (4,0), o que favorece a estabilidade

natural. A análise de compostos voláteis (GC-MS) revelou um perfil aromático complexo dominado por ésteres (como acetato de etila), que conferem notas frutadas e doces, e álcoois que contribuem para o corpo da bebida, melhorando sua aceitação sensorial, além do simples dulçor da sacarose.

O processo de elaboração, que incluiu tratamento térmico e controle de pH, garantiu a inocuidade total do produto. As análises confirmaram a ausência de *Salmonella* sp. e contagens de *E. coli*, *Bacillus cereus* e coliformes totais muito abaixo dos limites permitidos pela legislação brasileira (IN 161/2022), validando a segurança do produto para o consumo humano.

A bebida desenvolvida representa uma alternativa inovadora e sustentável no mercado de alimentos plant-based. Integra a valorização de subprodutos, a biofortificação agronômica e a funcionalidade de compostos bioativos, resultando em um produto seguro, leve e nutricionalmente superior às opções convencionais, capaz de contribuir para a segurança alimentar e para a ingestão de micronutrientes críticos como ferro, cálcio e vitamina A.

## 7. REFERÊNCIAS

AACC- American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods**. (11th Ed.). Determination of the pasting properties of rice with the Rapid Visco Analyser Method 61-02.01. Saint Paul, MN, USA, AACC 2000.

AKTER, J. et al. Colour, nutritional composition and antioxidant properties of dehydrated carrot (*Daucus carota* var. *sativus*) using solar drying techniques and pretreatments. **Heliyon**, v. 10, n. 2, p. e24165–e24165, 1 jan. 2024.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 5. ed. Washington, DC: **APHA**, 2015.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis** (method 27.3.06). 8. ed. Washington: AOAC, 2005.

ALOTAIBI, S. H. et al. The Effect of Cooking and Simulated Digestion on the Antioxidants and Minerals in Rice Grains: A Predictor for Nutritional Efficiency. **Agriculture**, v. 14, n. 8, p. 1270–1270, 2 ago. 2024.

ANTUNES, I. C. et al. Mineral profile of cow's milk and plant-based milk alternatives (PBMA). **Journal of Dairy Science**, jan. 2025.

APARECIDA, J. et al. Integration of physicochemical and instrumental quality data to estimate the texture of polished rice. **Ciencia Rural**, v. 54, n. 7, 1 jul. 2024.

APEA-BAH, F. B.; LI, X.; BETA, T. Phenolic Composition and Antioxidant Properties of Cooked Rice Dyed with Sorghum-Leaf Bio-Colorants. **Foods**, v. 10, n. 9, p. 2058, 31 ago. 2021.

ASCHERI, D. P. R. et al. Calidad del Arroz de Tierras Altas en Función del Tiempo de Cocción y del Cultivar de Arroz. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 2, p. 163, 23 dez. 2009.

ASCHERI, D. P. R. et al. Obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jabuticaba: efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 24, n. 1, 30 jun. 2006.

ASQUIERI, E. et al. Comparison of Titulometric and Spectrophotometric Approaches Towards the Determination of Total Soluble and Insoluble Carbohydrates In Foodstuff. **Carpathian Journal of Food Science and Technology**, p. 69–79, 30 set. 2019.

AZEREDO, D. R. P. et al. An overview of microorganisms and factors contributing for the microbial stability of carbonated soft drinks. **Food Research International**, v. 82, p. 136–144, abr. 2016.

BELITZ, H.-D.; GROSCH, W.; SCHIEBERLE, P. **Food Chemistry**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, p. 70–76, 1996.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A Rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911–917, 1 ago. 1959.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 724, de 1º de julho de 2022**. Dispõe sobre os padrões microbiológicos dos alimentos e sua aplicação. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Portaria nº 76 de 26 de novembro de 1986**. Dispõe sobre os métodos analíticos de bebidas e vinagre. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 28 nov. 1986. Seção 1, pt. 2.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 6, de 16 de fevereiro de 2009**. Regulamento Técnico do Arroz. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 17 fev. 2009.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Farmacopeia Brasileira**, volume 1. 6. ed. Brasília: Anvisa, 2019.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. **Instrução Normativa nº 75**,

**de 8 de outubro de 2020.** Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 09 out. 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Instrução Normativa nº 161, de 1º de julho de 2022.** Estabelece os padrões microbiológicos de alimentos. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 1 jul. 2022a.

BRAVO, I. D. Calidad molinera, contenido de amilosa y proteína en cuatro líneas promisorias de arroz (*Oryza sp.*) en siembra por trasplante (3-4 plantas por sitio) en Daule – provincia del Guayas. **Universidad Técnica de Babahoyo**, 2023.

CABRAL, D. V. et al. Influence of cultivation region on color, volatile compounds, phenolics, and antioxidant activity of Arabica coffee (*Coffea arabica*) Catuaí cultivar in Brazil. **Food Science and Technology**, v. 45, 26 maio 2025.

CÁMARA, M. et al. A Comparative Analysis of Folate and Mineral Contents in Freshly Squeezed and Commercial 100% Orange Juices Available in Europe. **Nutrients**, v. 16, n. 21, p. 3605, 24 out. 2024.

CARDOSO, F. F.; ASCHERI, D. P. R.; CARVALHO, C. W. P. DE. Propiedades reológicas y de adsorción de agua de harina extrudida de arroz y bagazo de cebada. **Revista Ceres**, v. 61, n. 3, p. 313–322, jun. 2014.

CEREDA, M. P.; DAIUTO, E. R.; VILPOUX, O. Metodologia de determinação de amido por digestão ácida em microondas. **Revista ABAM**, v. 2, n. 8, p. 1-29, 2004.

CHAMBERS, E.; KOPPEL, K. Associations of Volatile Compounds with Sensory Aroma and Flavor: The Complex Nature of Flavor. **Molecules**, v. 18, n. 5, p. 4887–4905, 25 abr. 2013.

CHAPARRO, P.; MARY, L.; MARÍA, A. Desarrollo de una bebida vegetal a partir de harina de arroz con adición del probiótico (*Lactobacillus delbrueckii*). **Alimentos Hoy**, v. 22, n. 32, p. 25–33, 1 set. 2014.

CHAUDHARY, K. et al. Impact of ultrasonication, ozonation, and their combination on the preservation of novel clean-label functional drink of strawberry-cantaloupe incorporated with

Spirulina platensis and orange peel extracts. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 120, p. 107455, 5 jul. 2025.

CHEN, Y.; CAPUANO, E.; STIEGER, M. The effects of carrot shape and oral processing behaviour on bolus properties and  $\beta$ -carotene bioaccessibility of raw carrots. **Food Research International**, v. 179, p. 114051–114051, 28 jan. 2024.

COMINETTI, CRISTIANE; COZZOLINO, S. M. E. Recomendações de nutrientes. 3. ed. São Paulo: **International Life Sciences Institute do Brasil - IL SI Brasil**, 2025.

CORKE, H. Grain: Morphology of Internal Structure. **Encyclopedia of Food Grains**, p. 41–50, 2016.

DA SILVA, L. R.; VELASCO, J. I.; FAKHOURI, F. M. Use of rice on the development of plant-based milk with antioxidant properties: From raw material to residue. **LWT**, v. 173, p. 114271, jan. 2023.

DHAKAL et al. Implementing marker covariates and multi-trait genomic selection models to improve grain milling, appearance, cooking, and edible quality in rice (*Oryza sativa* L.). **The Plant Genome**, v. 18, n. 3, 13 jul. 2025.

DONHOWE, E. G. et al. Characterization and in vitro bioavailability of  $\beta$ -carotene: Effects of microencapsulation method and food matrix. **LWT - Food Science and Technology**, v. 57, n. 1, p. 42–48, jun. 2014.

DUDONNÉ. et al. Comparative Study of Antioxidant Properties and Total Phenolic Content of 30 Plant Extracts of Industrial Interest Using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC Assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 5, p. 1768–1774, 11 mar. 2009.

EL HADI, M. A. M. et al. Advances in Fruit Aroma Volatile Research. **Molecules**, v. 18, n. 7, p. 8200–8229, 1 jul. 2013.

EMBRAPA. **Arroz - Portal Embrapa**. Disponível em: [https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz?utm_source=chatgpt.com) Acesso em: 12 nov. 2025.

ESCANDÓN, M. Extracción, purificación e identificación de carotenos del bagazo de la zanahoria y su aplicación en un producto alimenticio. **Unach.edu.ec**, 2024.

FAO. The State of Food and Agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses. Roma: **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2021. ISBN 978-92-5-134329-6. Disponível em: <https://www.fao.org/3/cb4476en/cb4476en.pdf>. Acesso em: 06 fev 2026.

FARID, S. M.; ENANI, M. A. Levels of trace elements in commercial fruit juices in Jeddah, Saudi Arabia. **Medical Journal of Islamic World Academy of Sciences**, v. 18, n. 1, p. 31–38, 2010.

FEBINA; JOHN, D.; RAMAN, M. Physicochemical properties, eating and cooking quality and genetic variability: a comparative analysis in selected rice varieties of South India. **Food Production, Processing and Nutrition**, v. 5, n. 1, 3 nov. 2023.

FERNÁNDEZ et al. Caracterización química, actividad antioxidante, sensorial y de estabilidad de una bebida funcional de agua de arroz (*oryza sativa* L) y pulpa de maracuyá (*Passiflora edulis*). **Revista Mirante** (ISSN 1981-4089), v. 15, n. 1, p. 144–162, 10 abr. 2022.

FLAR – Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego. Procedimiento: Avaliação de Viscosidade por RVA (P-MG010). **Cali: CIAT/FLAR**, 2020.

FLAR. Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego. Retrieved from FLAR. Procedimiento: Evaluación de temperatura de gelatinización (P-MG006, Versión 1). Cali: **CIAT**, 2020.

FLOEGEL, A. et al. Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 7, p. 1043–1048, nov. 2011.

FONSECA, Raíza Cavalcante. **Determinação de parâmetros de qualidade de grãos associados ao comportamento culinário em arroz de terras altas**. 2015. Dissertação

(Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

GALLEGO, R. et al. Sustitución de tartrazina por betacaroteno en la elaboración de bebidas no alcohólicas. Disponível em: <https://repository.unilasallista.edu.co/items/f80a0512-5760-46c0-ac3b-85d30c827880> . Acesso em: 15 nov. 2025.

GÁLVEZ, L.; CANO, A.; GONZÁLEZ, C. Elaboración y caracterización fisicoquímica de fermentados vegetales a base de harina de arroz y de centeno. **Universidad Politècnica de València**, sep. 2018.

GAVICA, C. Análisis comparativo de calidad físico-química y organoléptica del arroz (*Oryza sativa*) producido en Honduras vs arroz de origen Estados Unidos. **Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**, nov. 2019.

GOUFO, P.; TRINDADE, H. Rice antioxidants: phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols,  $\gamma$ -oryzanol, and phytic acid. **Food Science & Nutrition**, v. 2, n. 2, p. 75–104, 21 jan. 2014.

GUIMARÃES, Í. C. DE O. et al. The effect of CO<sub>60</sub> on the physical and physicochemical properties of rice. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, n. 2, p. 210–216, abr. 2012.

GUPTA, P.; SREELAKSHMI, Y.; SHARMA, R. A rapid and sensitive method for determination of carotenoids in plant tissues by high performance liquid chromatography. **Plant Methods**, v. 11, n. 1, p. 5, 2015.

HERNÁNDEZ-MONZÓN, A. et al. Desarrollo de una bebida elaborada con harina de arroz y ajonjolí (*Sesamum Indicum*) y fermentada con cultivos probióticos. **Tecnología Química**, v. 39, n. 1, p. 89–104, 15 jan. 2019.

HIGBY, W. K. A Simplified Method for Determination of Some Aspects of the Carotenoid Distribution in Natural and Carotene-Fortified Orange Juice. **Journal of Food Science**, v. 27, n. 1, p. 42–49, 1 jan. 1962.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ-IAL. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3. ed. São Paulo: O Instituto, 2008.

JAHANGEER, A. et al. Development and characterization of a ready-to-serve functional drink of pumpkin-mango juice blend enriched with defatted pomegranate seed extract. **Food Chemistry Advances**, v. 7, p. 100997, 1 maio 2025.

JULIANO, B. O. A simplified assay for milled-rice amylose. **Cereal Science Today**, v. 24, n. 10, p. 334–338, 1979.

KAMBOJ, A. et al. Sustainable management of rice by-products: Environmental challenges, industrial applications, and circular bio-economy innovations. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 62, p. 103430, 9 nov. 2024.

KAUR, R.; SHUBHRA SHEKHAR; PRASAD, K. Functional beverages: Recent trends and prospects as potential meal replacers. **Food materials research**, v. 0, n. 0, p. 1–10, 1 jan. 2024.

KAUR, P.; SUBRAMANIAN, J.; SINGH, A. Green extraction of bioactive components from carrot industry waste and evaluation of spent residue as an energy source. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, 5 out. 2022.

KEDARE, S. B.; SINGH, R. P. Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. **Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 4, p. 412–422, 25 fev. 2011.

KRUGER, J. et al. Low  $\beta$ -carotene bioaccessibility and bioavailability from high fat, dairy-based meal. **European Journal of Nutrition**, v. 63, n. 6, p. 2261–2270, 16 maio 2024.

LAMOTHE, M.; RIVERO-MENDOZA, D.; DAHL, W. Plant-Based Milks: Rice. **EDIS**, v. 2020, n. 5, 12 out. 2020.

LEE, J.-E. et al., The Influence of Solvent Choice on the Extraction of Bioactive Compounds from Asteraceae: A Comparative Review. **Foods**, v. 13, n. 19, p. 3151–3151, 2 out. 2024.

LE BERRE, E. et al. Impact of ethanol on the perception of wine odorant mixtures. **Food Quality and Preference**, v. 18, n. 6, p. 901–908, set. 2007

LI, X. et al. Effects of frying oils' fatty acids profile on the formation of polar lipids components and their retention in French fries over deep-frying process. **Food Chemistry**, v. 237, p. 98–105, dez. 2017.

LILLY, M. et al. The effect of increased yeast alcohol acetyltransferase and esterase activity on the flavour profiles of wine and distillates. **Yeast**, v. 23, n. 9, p. 641–659, 2006.

LOAIZA, J. K.; LARRAHONDO, JESÚS E. Evaluación del contenido de amilosa en arroz mediante espectroscopia de infrarrojo cercano-NIRS. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 67, n. 1, p. 56–61, 2017.

LÓPEZ-REYNOSO, M. et al. Corn-Based Fermented Beverages: Nutritional Value, Microbial Dynamics, and Functional Potential—An Overview. **Foods**, v. 15, n. 1, p. 27, 22 dez. 2025.

MA, Y. et al. Contribution of lipid to the formation of characteristic volatile flavor of peanut oil. **Food Chemistry**, v. 442, p. 138496, 1 jun. 2024.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed., revisada e atualizada. Piracicaba: **POTAFOS**, 1997.

MANICKAM, S. Fermented Rice Beverages in the Food Industry: Advances in Processing, Nutrition, and Commercialization. **Fermentation in Food Industry**, 1 ago. 2025.

MARGALIT, D. N. et al. Beta-carotene Antioxidant Use During Radiation Therapy and Prostate Cancer Outcome in the Physicians' Health Study. **International Journal of Radiation Oncology Biology Physics**, v. 83, n. 1, p. 28–32, maio 2012.

MARQUES, A. C. et al. Comparison between Varieties of Rice (*Oryza sativa* L.) Produced in Portugal—Mineral and Quality Analysis. **Chemistry proceeding**. p. 46–46, 10 fev. 2022.

MARQUÈS, M. et al. Essential and Non-essential Trace Elements in Milks and Plant-Based Drinks. **Biological Trace Element Research**, 18 nov. 2021

MARTENS, S. et al. Drying and intermittence processes on the polished and brown rice physicochemical and morphological quality by near-infrared spectroscopy, X-ray diffraction, and scanning electron microscopy. **Food Chemistry X**, v. 19, p. 100753–100753, 16 jun. 2023.

MENDES, D. C S. et al. Microencapsulation of jaboticaba extracts (*Myrciaria cauliflora*): Evaluation of their bioactive and thermal properties in cassava starch biscuits. **LWT**, v. 137, p. 110460, 1 fev. 2021.

MENDOÇA, H. C. A. D. N. T. et al. Bebida fermentada probiótica de extrato de arroz: uma alternativa alimentar aos intolerantes à lactose e aos alérgicos às proteínas do leite bovino e da soja. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, 2021.

MENDOZA. Efecto del ph y de la proteina de soja sobre propiedades funcionales y de empastado de almidones de maiz, arroz, patata y tapioca. **Uvadoc.uva.es**, 2015.

MERRILL, A. L.; WATT, B. K. Energy value of foods: basis and derivation. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1973. (Agriculture Handbook, n. 74). Disponível em: <https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/80400525/Data/Classics/ah74.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2026.

MERONI, E.; RAIKOS, V. Physicochemical stability, antioxidant properties and bioaccessibility of  $\beta$ -carotene in orange oil-in-water beverage emulsions: influence of carrier oil types. **Food & Function**, v. 9, n. 1, p. 320–330, 2018.

MEZEYOVÁ, I. et al. Selenization and its impact on quantitative and qualitative parameters of carrot juice. **Food Bioscience**, v. 59, p. 103933, jun. 2024.

MILLER, G. L. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426–428, mar. 1959.

MOHAMMED. I. AL-DAEJ. Genetic studies for grain quality traits and correlation analysis of mineral element contents on Al-Ahsa rice and some different varieties (*Oryza Sativa L.*). **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, n. 3, p. 1893–1899, 22 out. 2022.

MOLTENI, C.; LA MOTTA, C.; VALOPPI, F. Improving the Bioaccessibility and Bioavailability of Carotenoids by Means of Nanostructured Delivery Systems: A Comprehensive Review. **Antioxidants**, v. 11, n. 10, p. 1931, 28 set. 2022.

MONTEIRO, L. R. et al. Inter- and intra-variability in the mineral content of rice varieties grown in various microclimatic regions of southern Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 92, p. 103535, 26 maio 2020.

MORAIS, Daphynni Carolinne Moreira; ALVES, Vânia Maria; ASQUIERI, Eduardo Ramirez; SOUZA, Adriana Régia Marques de; DAMIANI, Clarissa. Physical, chemical, nutritional and antinutritional characterization of fresh peels of yellow pitaya (*Selenicereus megalanthus*) and red pitaya (*Hylocereus costaricensis*) and their flours. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, n. 3, e20207289, 2021. DOI: 10.5935/1806-6690.20210020.

MUHAMMAD, S. et al. Nutritional, physicochemical, and antioxidant characterization of pomegranate, beetroot, and carrot concentrates supplemented functional whey beverages. **Food Chemistry X**, v. 25, p. 102206–102206, 1 jan. 2025.

MUTTAGI, G. C.; RAVINDRA, U. Chemical and nutritional composition of traditional rice varieties of Karnataka. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 9, n. 5, p. 2300–2309, 1 set. 2020.

NAJMAN, K. et al. Physicochemical Properties and Nutritional Relevance of Rice Beverages Available on the Market. **Applied Sciences**, v. 14, n. 19, p. 9150–9150, 9 out. 2024.

NAKAMURA, S. et al. Evaluation of Hardness and Retrogradation of Cooked Rice Based on Its Pasting Properties Using a Novel RVA Testing. **Foods**, v. 10, n. 5, p. 987, 30 abr. 2021.

NDJIONDJOP, M. et al. Genetic variation and population structure of *Oryza sativa* accessions in the AfricaRice collection and development of the AfricaRice *O. sativa* Core Collection. **Crop science**, v. 63, n. 2, p. 724–739, 22 fev. 2023.

NICOLLE, C. et al. Effect of carrot intake on cholesterol metabolism and on antioxidant status in cholesterol-fed rat. **European Journal of Nutrition**, v. 42, n. 5, p. 254–261, 1 out. 2003.

NWACHUKWU, I. D. et al. A Concise Review of Current In Vitro Chemical and Cell-Based Antioxidant Assay Methods. **Molecules**, v. 26, n. 16, p. 4865, 11 ago. 2021.

OTÁLORA, D.; MARTIN G., D. A. Técnicas emergentes de extracción de  $\beta$ -caroteno para la valorización de subproductos agroindustriales de la zanahoria (*Daucus carota* L.). **Informador Técnico**, v. 85, n. 1, 6 out. 2020.

OZBEKOVA, Z.; KULMYRZAEV, A. Study of moisture content and water activity of rice using fluorescence spectroscopy and multivariate analysis. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 223, p. 117357, 5 dez. 2019.

PAGNAN, M. F.; BASSINELLO, P. Z.; PRUDENCIO, S. H. Características sensoriais, físicas e químicas e aceitação de arroz irrigado ou de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 10, p. 979–988, out. 2015.

PAIVA, F. F. et al. Polishing and parboiling effect on the nutritional and technological properties of pigmented rice. **Food Chemistry**, v. 191, p. 105–112, 15 jan. 2016.

PANOU, A.; KONSTANTINOS KARABAGIAS. Composition, Properties, and Beneficial Effects of Functional Beverages on Human Health. **Beverages**, v. 11, n. 2, p. 40–40, 14 mar. 2025.

PAPP, Z. et al. Classification of Plant-Based Drinks Based on Volatile Compounds. **Foods**, v. 13, n. 24, p. 4086–4086, 17 dez. 2024.

PATRA, M. et al. A comprehensive review on functional beverages from cereal grains-characterization of nutraceutical potential, processing technologies and product types. **Heliyon**, v. 9, n. 6, p. e16804, 30 maio 2023.

PÉREZ, M. B. et al. Characterization of Purple Carrot Germplasm for Antioxidant Capacity and Root Concentration of Anthocyanins, Phenolics, and Carotenoids. **Plants**, v. 12, n. 9, p. 1796, 1 jan. 2023.

POLESI, L. F. et al. Caracterização físico-química, funcional e nutricional de duas cultivares brasileiras de arroz. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 8, n. 1, 8 jan. 2014.

PUERARI; KARINA TEIXEIRA MAGALHÃES-GUEDES; ROSANE FREITAS SCHWAN. Physicochemical and microbiological characterization of chicha, a rice-based fermented beverage produced by Umutina Brazilian Amerindians. **Food Microbiology**, v. 46, p. 210–217, 1 abr. 2015.

PULIDO, R.L; BRAVO, L. AND SAURA-CALIXTO, F. Antioxidant Activity of Dietary Polyphenols as Determined by a Modified Ferric Reducing/Antioxidant Power Assay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 48, n. 8, p. 3396-3402, 2000.

PURKIEWICZ, A. et al. The Impact of the Method Extraction and Different Carrot Variety on the Carotenoid Profile, Total Phenolic Content and Antioxidant Properties of Juices. **Plants**, v. 9, n. 12, p. 1759, 11 dez. 2020.

QADIR, N.; WANI, I. A. Functional properties, antioxidant activity and in-vitro digestibility characteristics of brown and polished rice flours of Indian temperate region. **Grain & Oil Science and Technology**, dez. 2022.

RAHMAN, M. S. Food Stability Beyond Water Activity and Glass Transition: Macro-Micro Region Concept in the State Diagram. **International Journal of Food Properties**, v. 12, n. 4, p. 726–740, 31 jul. 2009.

RAJENDRAN, M.; RAMESH, V. G. Estimation of Nutrient Content of Unfermented and Fermented Rice Drinks. **Asian Journal of Biological and Life Sciences**, v. 13, n. 1, p. 40–47, 7 out. 2024.

RITHESH, B. N. et al. Characterization of Physio-Chemical Properties of Starch among Traditional and Commercial Varieties of Rice (*Oryza sativa* L.) using Rapid Visco Analyser. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 7, n. 10, p. 1490–1503, 10 out. 2018.

RIZWAN SHOUKAT et al. Rice Starch Chemistry, Functional Properties, and Industrial Applications: A Review. **Polymers**, v. 17, n. 1, p. 110–110, 3 jan. 2025.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: Internacional Life Sciences Institute Press, 2001. 64 p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **Handbook for carotenoid analysis**. Washington: HarvestPlus, 2004. 58 p. (HarvestPlus Technical Monograph, 2).

RUFINO, M. S. M., ALVES, R. E., BRITO, E. S., PÉREZ-JIMÉNEZ, J., SAURA-CALIXTO, F., & MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, 121 (4), 996-1002, 2010.

RUMPF, J.; BURGER, R.; SCHULZE, M. Evaluación estadística de los ensayos DPPH, ABTS, FRAP y Folin-Ciocalteu para evaluar la capacidad antioxidante de las ligninas. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 233, 2 abr. 2023.

SADOWSKA-BARTOSZ, I.; BARTOSZ, G. Evaluation of the Antioxidant Capacity of Food Products: Methods, Applications and Limitations. **Processes**, v. 10, n. 10, p. 2031, 8 out. 2022.

SAFDARIAN, M.; HASHEMI, P.; GHIASVAND, A. A fast and simple method for determination of  $\beta$ -carotene in commercial fruit juice by cloud point extraction-cold column trapping combined with UV–Vis spectrophotometry. **Food Chemistry**, p. 128481, 4 nov. 2020.

SAKAEW, C. et al. Determination of  $\beta$ -carotene and total carotenoids in fruit juices using surfactant surface decorated graphene oxide based ultrasound-assisted dispersive solid-phase microextraction. **Analytical Methods**, v. 10, n. 28, p. 3540–3551, 2018.

SAMARIN, I. R. et al. Dietary Trace Elements and Arsenic Species in Rice: A Study of Samples from Croatian Supermarkets. **Foods**, v. 14, n. 13, p. 2261–2261, 26 jun. 2025.

SARAGIH, B.; NAIBAHO, N. M.; SARAGIH, B. Nutritional, functional properties, glycemic index and glycemic load of indigenous rice from North and East Borneo. **Food Research**, v. 3, n. 5, p. 537–545, 20 fev. 2019.

SENGUTTUVEL et al. Rice biofortification: breeding and genomic approaches for genetic enhancement of grain zinc and iron contents. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, n. Front. Plant Sci., 2 jun. 2023.

SHI, E. et al. Synergistic effect of chitosan and  $\beta$ -carotene in inhibiting MNU-induced retinitis pigmentosa. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 268, p. 131671–131671, 17 abr. 2024.

SILVA, EDSON PABLO et al. Bebidas mistas de extratos de arroz com maracujá e mamão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 74, n. 1, p. 49–56, 5 out. 2015.

SILVA, J. G. S. et al. In vitro digestion effect on mineral bioaccessibility and antioxidant bioactive compounds of plant-based beverages. **Food Research International**, v. 130, p. 108993, 1 abr. 2020.

SINGH, B. K. et al. Phytochemical and antioxidative potential of orange, red, yellow, rainbow and black coloured tropical carrots (*Daucus carota* subsp. *sativus* Schubl. & Martens). **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 24, n. 5, p. 899–907, 4 jul. 2018.

SOARES, L. M. V. et al. Composição mineral de sucos concentrados de frutas brasileiras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 2, p. 202–206, jun. 2004

TANIMOTO, S. et al. Antioxidant Activity and Taste-active Component Distribution in the Bran Layer of Rice Grain. **Food Science and Technology Research**, v. 26, n. 6, p. 855–862, 2020.

THENNAKOON, T. P. A. U.; EKANAYAKE, S. Does antioxidant potential of traditional rice varieties vary with processing? **International Journal of Multidisciplinary Studies**, v. 8, n. 2, p. 117, 24 ago. 2021.

TIVERON, A. P. et al. Antioxidant Activity of Brazilian Vegetables and Its Relation with Phenolic Composition. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 13, n. 7, p. 8943–8957, 18 jul. 2012.

TIWARI, S. et al. Organic solvent-free extraction of carotenoids from carrot bio-waste and its physico-chemical properties. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 10, p. 4678–4687, 8 jul. 2019.

VAN LOO-BOUWMAN, C. A. et al. Food Matrix Effects on Bioaccessibility of  $\beta$ -Carotene Can be Measured in an in Vitro Gastrointestinal Model. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 4, p. 950–955, 15 jan. 2014.

VASCONCELOS, M. et al. Analysis of tetraterpenes and tetraterpenoids (carotenoids). **Recent Advances in Natural Products Analysis**, p. 427–456, 2020.

VASCONES, M. Evaluación del contenido de amilosa y calidad molinera de líneas promisorias y variedades comerciales de arroz, en la zona de Santa Lucía, provincia del Guayas. **Universidad Técnica De Babahoyo**, 2023.

VERMA, D. K.; SRIVASTAV, P. P. Proximate Composition, Mineral Content and Fatty Acids Analyses of Aromatic and Non-Aromatic Indian Rice. **Rice Science**, v. 24, n. 1, p. 21–31, jan. 2017.

VIEIRA, N. R. A.; RABELO, R. R. Qualidade tecnológica. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. (ed.). *A cultura do arroz no Brasil*. 2. ed. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2006. cap. 23, p. 869–900.

VILLAMAR-AVEIGA, M. DEL R. et al. Nutritional and Biochemical Characterization of White and Brown Rice (*Oryza sativa*) Subjected to Different Pest Control Methods. **Applied Sciences**, v. 15, n. 4, p. 2190, 18 fev. 2025.

VILLALBA, M. et al. Perfil amilográfico y calidad culinaria en líneas promisorias. **Programa de Investigación en Producción de Arroz.**, 2021.

WALTHER, B. et al. Comparison of nutritional composition between plant-based drinks and cow's milk. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, n. 988707, 28 out. 2022.

WANG, J. et al. Microbiota and Gut Health: Promising Prospects for Clinical Trials from Bench to Bedside. **Advanced Gut & Microbiome Research**, v. 2022, p. e2290052, 14 nov. 2022.

WELLEN SERAFIM et al. Mineral Composition of Rice, Carrots, and Chayote after Microwave-Assisted Decomposition using Diluted Nitric Acid. **Brazilian Journal of Analytical Chemistry**, 17 jan. 2024.

YURAPORN et al. Nutritional Compositions, Phenolic Contents and Antioxidant Activities of Rainfed Rice Grown in Different Degrees of Soil Salinity. **Foods**, v. 12, n. 15, p. 2870–2870, 28 jul. 2023.

ZHANG, Y. et al. Effect of Rice Protein on the Gelatinization and Retrogradation of Rice Starch with Different Moisture Content. **Foods**, v. 13, n. 23, p. 3734–3734, 22 nov. 2024.