



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DE  
RECURSOS NATURAIS

**MODIFICAÇÃO DO AMIDO DE ARROZ PRETO E VERMELHO POR  
CALOR-UMIDADE E APLICAÇÃO COMO ESPESSANTE EM  
BEBIDA LÁCTEA FERMENTADA**

**VICTOR HERBERT DE ALCÂNTARA RIBEIRO**

CAMPINA GRANDE – PB

2023

**VICTOR HERBERT DE ALCÂNTARA RIBEIRO**

**MODIFICAÇÃO DO AMIDO DE ARROZ PRETO E VERMELHO POR  
CALOR-UMIDADE E APLICAÇÃO COMO ESPESSANTE EM BEBIDA  
LÁCTEA FERMENTADA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutorado.

**Orientador:** Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel  
Moreira Cavalcanti-Mata

CAMPINA GRANDE – PB

2023

R484m      Ribeiro, Victor Herbert de Alcântara.  
Modificação do amido de arroz preto e vermelho por calor-umidade e aplicação como espessante em bebida láctea fermentada / Victor Herbert de Alcântara Ribeiro – Campina Grande, 2023.  
79 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.  
"Orientação: Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata."  
Referências.  
1. Oryza sativa. 2. Tratamento Hidrotérmico. 3. Corante Natural. 4. Gelatinização. 4. Produtos Lácteos. I. Mata, Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti. II. Título.

CDU 633.18(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PÓS-GRADUACAO EM ENGENHARIA E GESTAO DE RECURSOS NATURAIS  
Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429-900  
FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

VICTOR HERBERT DE ALCÂNTARA RIBEIRO

"MODIFICAÇÃO DO AMIDO DE ARROZ PRETO E VERMELHO POR  
CALORUMIDADE E APLICAÇÃO COMO ESPESSANTE EM BEBIDA LÁCTEA  
FERMENTADA"

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia e Gestão de Recursos Naturais como  
pré-requisito para obtenção do título de Doutor  
em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Aprovada em: 06/10/2023

Dr.(a.) **Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata** (Orientador PPGEGRN).

Dr.(a.) **Viviane Farias Silva/PPGEGRN** (Examinador Interno).

Dr.(a.) **Carlos Antônio Costa dos Santos/PPGEGRN** (Examinador Interno).

Dr.(a.) **Tamires dos Santos Pereira/IFPE** (Examinador Externo).

Dr.(a.) **Ana Rita Ribeiro de Araújo Cordeiro/IFRN** (Examinador Externo).



Documento assinado eletronicamente por **VIVIANE FARIAS SILVA, VICE-COORDENADOR**, em 11/10/2023, às 13:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/11/2023, às 10:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamentono art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tamires dos Santos Pereira, Usuário Externo**, em 28/11/2023, às 10:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARIO EDUARDO RANGEL MOREIRA CAVALCANTI MATA, PROFESSOR**, em 28/11/2023, às 12:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANA RITA RIBEIRO DE ARAÚJO CORDEIRO, Usuário Externo**, em 28/11/2023, às 20:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **3847080** e o código CRC **BAF4C568**.

Referência: Processo nº 23096.074041/2023-11 SEI nº 3847080

## AGRADECIMENTOS

À minha família, por todo apoio e suporte.

Ao meu avô (*In memoriam*) por toda inspiração.

À minha mãe, Virgínia Mirtes de Alcântara Silva, que está comigo desde sempre.

Aos meus irmãos, Vinícius Emanuel e Viviann Elise, os quais eu amo muito.

À minha namorada, Fernanda Júlia, por todo amor, incentivo e companheirismo.

Ao meu orientador, prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti-Mata, por todo suporte, compreensão e confiança.

À profa. Dra. Márcia Rejane de Queiroz Almeida Azevedo, que sempre me incentivou na pesquisa científica e nos estudos.

Ao prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes, por todo incentivo durante a graduação e a pós-graduação, além da amizade.

Aos amigos do Chorata, e do chorinho em geral, por toda torcida e apoio nesta importante caminhada.

A todos que compõem o Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, em especial à vice-coordenadora, profa. Dra. Viviane Farias Silva.

À CAPES, que através dos seus incentivos à ciência, permitiu a produção desta pesquisa.

A todos os amigos que contribuíram direta e indiretamente para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

## RESUMO

Uma valiosa fonte energética para a alimentação humana e para os alimentos processados é o amido, sendo o mais abundante carboidrato de reserva em plantas. Pode-se encontrar o amido em grãos de cereais, dentre eles o arroz, com alto potencial para a formulação de produtos na indústria. A modificação térmica do amido por calor-umidade (HMT) se justifica por se caracterizar como um processo de baixo custo que simula o processo de cozimento, além de que os tipos de arroz com pericarpo colorido conservam parte dos fenólicos responsáveis pela coloração, o que aumenta a aceitabilidade do produto após a aplicação na bebida láctea pelo fato de substituírem o uso de corantes artificiais. Portanto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o amido de arroz preto e vermelho modificado por calor-umidade como espessante de uma bebida láctea fermentada. Os amidos passaram pelo processo de modificação por calor-umidade aquecidos a uma temperatura de 110 °C durante 3 h para atingir teor de água final de 20%, com o auxílio de um forno elétrico (1200 W) e, secos em estufa com circulação de ar a 50 °C e velocidade do ar de 1,0 m s<sup>-1</sup>. Para a caracterização do amido dos dois tipos de arroz, foram feitos os processos de rendimento de extração, conteúdo de amido e amilose, cor e compostos fenólicos por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). As análises funcionais foram observadas com base nos processos de capacidade de absorção de água e óleo, índice de absorção de leite integral e zero lactose e índice de sinérese. A análise estrutural dos amidos foi realizada através dos processos de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR) e difração de raios-X (XRD), enquanto a análise morfológica foi avaliada por meio das micrografias eletrônicas de varredura (SEM) e o perfil de textura foi feito seguindo o método TPA. Para a caracterização e produção da bebida láctea usando o amido como espessante, foram observados o perfil textural e a análise centesimal (teor de água, cinzas, proteína, lipídeos e carboidratos totais). Os valores obtidos foram 52.06 ± 1.14% para o rendimento de extração, 12.11 ± 0.55 g/100g para o conteúdo de amido e 0.91 ± 0.09 g/100g para o conteúdo de amilose. Propriedades funcionais dos amidos: Os valores obtidos foram 0.49 ± 0.04 para a capacidade de absorção de água, 0.47 ± 0.02 para a capacidade de absorção de óleo e 0.32 ± 0.06 para o índice de absorção de leite integral e zero lactose. Análise estrutural dos amidos: Os resultados mostraram espectros de FT-IR e difratogramas de XRD, indicando a estrutura e características dos amidos modificados. As micrografias revelaram a morfologia dos amidos modificados, mostrando características como tamanho, forma e superfície. Essas informações são relevantes para compreender a estrutura física dos amidos e seu potencial de interação com outros componentes em formulações alimentícias. Perfil de textura dos amidos: Os valores obtidos foram 0.59 ± 0.05 N para a firmeza, 0.51 ± 0.08 N para a adesividade, 0.42 ± 0.04 N para a coesividade e 0.33 ± 0.03 N para a gomosidade. Caracterização da bebida láctea fermentada: Os valores obtidos foram 71.16 ± 1.08 g/100g para o teor de água, 0.92 ± 0.14 g/100g para as cinzas, 2.37 ± 0.15 g/100g para as proteínas, 0.30 ± 0.03 g/100g para os lipídeos e 25.15 ± 0.28 g/100g para os carboidratos totais. Foram avaliados os atributos de cor da bebida, obtendo-se valores como L 67.17 ± 0.01, a\* -4.10 ± 0.52 e b\* 18.63 ± 0.11. A utilização dos amidos de arroz preto e vermelho modificados influenciou diretamente essas propriedades, proporcionando uma base sólida para a formulação de produtos lácteos.

**Palavras-chave:** Corante natural, Gelatinização, *Oryza sativa*, Tratamento hidrotérmico.

## ABSTRACT

A valuable energy source for human nutrition and processed foods is starch, which is the most abundant reserve carbohydrate in plants. Starch can be found in cereal grains, including rice, with a high potential for the formulation of products in industry. The thermal modification of starch by heat-moisture (HMT) is justified because it is characterized as a low-cost process that simulates the cooking process, in addition to the fact that types of rice with colored pericarp retain part of the phenolics responsible for the color, which increases the acceptability of the product after application in the dairy drink since they replace the use of artificial colorings. Therefore, this research aimed to evaluate black and red rice starch modified by heat-moisture as a thickener for a fermented dairy drink. The starches went through the heat-moisture modification process, heated to a temperature of 110 °C for 3 h to reach a final water content of 20%, with the aid of an electric oven (1200 W) and dried in an oven with air circulation at 50 °C and air speed of 1.0 m s<sup>-1</sup>. To characterize the starch of the two types of rice, extraction yield, starch and amylose content, color, and phenolic compounds were analyzed using high-performance liquid chromatography (HPLC). Functional analyses were observed based on the processes of water and oil absorption capacity, absorption index of whole milk, and zero lactose and syneresis index. The structural analysis of the starches was carried out using Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) and X-ray diffraction (XRD) processes. In contrast, the morphological analysis was evaluated using scanning electron micrographs (SEM), and the texture profile was made following the TPA method. For the characterization and production of the dairy drink using starch as a thickener, the textural profile and proximate analysis (water, ash, protein, lipid, and total carbohydrate content) were observed. The values obtained were 52.06 ± 1.14% for the extraction yield, 12.11 ± 0.55 g/100g for the starch content, and 0.91 ± 0.09 g/100g for the amylose content. Functional properties of starches: The values obtained were 0.49 ± 0.04 for the water absorption capacity, 0.47 ± 0.02 for the oil absorption capacity, and 0.32 ± 0.06 for the absorption index of whole milk and zero lactose. Structural analysis of starches: The results showed FT-IR spectra and XRD diffractograms, indicating the structure and characteristics of the modified starches. The micrographs revealed the morphology of the modified starches, showing characteristics such as size, shape, and surface. This information is relevant to understanding the physical structure of starches and their potential for interaction with other components in food formulations. Texture profile of starches: The values obtained were 0.59 ± 0.05 N for firmness, 0.51 ± 0.08 N for stickiness, 0.42 ± 0.04 N for cohesiveness, and 0.33 ± 0.03 N for gumminess. Characterization of the fermented milk drink: The values obtained were 71.16 ± 1.08 g/100g for water content, 0.92 ± 0.14 g/100g for ash, 2.37 ± 0.15 g/100g for proteins, 0.30 ± 0.03 g/100g for lipids and 25.15 ± 0.28 g/100g for total carbohydrates. The color attributes of the drink were evaluated, obtaining values such as L 67.17 ± 0.01, a\* -4.10 ± 0.52, and b\* 18.63 ± 0.11. The use of modified black and red rice starches directly influenced these properties, providing a solid basis for the formulation of dairy products.

**Keywords:** Gelatinization, Hydrothermal treatment, Natural coloring, *Oryza sativa*.

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>AP</b>	Arroz preto
<b>APHMT</b>	Arroz preto modificado por calor-umidade
<b>AV</b>	Arroz vermelho
<b>AVHMT</b>	Arroz vermelho modificado por calor-umidade
<b>CAO</b>	Capacidade de absorção de óleo
<b>CONAB</b>	Companhia Nacional de Abastecimento
<b>XRD</b>	Difração de raios-X
<b>FT-IR</b>	Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier
<b>HPLC</b>	Compostos fenólicos por cromatografia líquida de alta eficiência
<b>IAL</b>	Índice de absorção de leite
<b>SEM</b>	Micrografias eletrônicas de varredura
<b>RS</b>	Amido resistente
<b>SDS</b>	Amido lentamente digerido
<b>HMT</b>	Tratamento calor-umidade

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Diferentes tipos de arroz: a) Branco; b) Parboilizado; c) Integral .....	15
Figura 2. Grãos de arroz preto .....	16
Figura 3. Grãos de arroz vermelho.....	18
Figura 4. Amidos do arroz preto (a) e vermelho (b) .....	20
Figura 5. Amido do arroz preto (a) e vermelho (b) após tratamento calor-umidade (HMT) .....	24
Figura 6. Amido aplicado às bebidas lácteas.....	42
Figura 7. Índice de sinérese dos amidos de arroz preto e vermelho, nativo e modificado. .....	47
Figura 8. Micrografia da estrutura do amido de arroz preto e vermelho, nativo e modificado .....	48
Figura 9. DRX do amido de arroz preto e vermelho, nativo e modificado .....	51
Figura 10. FT-IR do amido de arroz preto e vermelho, nativo e modificado.....	53

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Porcentagem de 2,80 g 100g <sup>-1</sup> de amido.....	38
Tabela 2. Porcentagem de 2,50g 100g <sup>-1</sup> de amido .....	38
Tabela 3. Porcentagem de 3,10 (g 100g <sup>-1</sup> ) de amido.....	39
Tabela 4. Avaliação física e química da bebida láctea utilizando amido nativo e modificado .....	40
Tabela 5. Compostos fenólicos do arroz preto e vermelho, nativos e modificados .....	43
Tabela 6. Características de funcionalidade dos amidos de arroz preto e vermelho, nativos e modificados.....	45
Tabela 7. Análise física das estruturas de amido preto e vermelho, nativo e modificado .....	49
Tabela 8. Textura das amostras de amido de arroz preto e vermelho, nativo e modificado. ....	54
Tabela 9. Parâmetros de textura e sinérese das formulações de bebida láctea .....	56
Tabela 10. Análise centesimal e cor das bebidas lácteas fermentadas.....	58

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	15
2.1	OBJETIVO GERAL .....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	16
3.1	ARROZ .....	16
3.1.1	Arroz Preto .....	18
3.1.2	Arroz Vermelho .....	19
3.2	AMIDO .....	21
3.3	AMILOSE E AMILOPECTINA .....	23
3.4	MODIFICAÇÃO DO AMIDO .....	24
3.5	CALOR-UMIDADE .....	25
3.6	INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS .....	27
3.7	AMIDO MODIFICADO COMO ESPESSANTE ALIMENTAR .....	29
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	30
4.1	MATERIAIS .....	30
4.2	MÉTODOS .....	30
4.2.1	Extração do Amido .....	30
4.2.2	Modificação por Calor-Umidade .....	31
4.3	CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DE ARROZ PRETO E VERMELHO .....	31
4.3.1	Conteúdo de Amido e Amilose .....	31
4.3.2	Cor .....	32
4.3.3	Rendimento de Extração .....	32
4.3.4	Compostos Fenólicos por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) .....	33
4.3.5	Análises Funcionais dos Amidos .....	33
4.3.5.1	Capacidade de absorção de água .....	33
4.3.5.2	Capacidade de absorção de óleo .....	33
4.3.5.3	Índice de absorção de leite integral e zero lactose (IAL) .....	34
4.3.5.4	Índice de sinérese .....	34
4.6	ANÁLISE ESTRUTURAL DOS AMIDOS .....	35
4.6.1	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FT-IR) .....	35
4.6.2	Difração de Raios-X (XRD) .....	35
4.7	ANÁLISE MORFOLÓGICA .....	36

4.7.1 Micrografias Eletrônicas de Varredura (SEM).....	36
4.7.2 Perfil de Textura .....	36
4.8 PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BEBIDA LÁCTEA FERMENTADA USANDO OS AMIDOS MODIFICADOS COMO ESPESSANTE.....	36
4.8.1 Obtenção de Soro .....	36
4.8.2 Produção de Bebidas Lácteas Fermentadas .....	37
4.8.3 Caracterização da Bebida Láctea.....	39
4.8.3.1 Composição centesimal .....	39
4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	39
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>40</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DE ARROZ PRETO E VERMELHO .....	40
5.2 COMPOSTOS FENÓLICOS DO AMIDO DE ARROZ PRETO E VERMELHO COM E SEM TRATAMENTO.....	43
5.3 ANÁLISES FUNCIONAIS DOS AMIDOS OBTIDOS DO ARROZ PRETO E VERMELHO .....	45
5.4 ANÁLISE ESTRUTURAL DOS AMIDOS DE ARROZ PRETO E VERMELHO .....	48
5.5 ANÁLISE MORFOLÓGICA DOS AMIDOS DE ARROZ PRETO E VERMELHO .....	51
5.6 A ANÁLISE DE PARÂMETROS DE TEXTURA .....	53
5.7 CARACTERIZAÇÃO DA BEBIDA LÁCTEA .....	56
5.7.1 Análise centesimal e colorimétrica.....	58
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) está entre os cereais mais consumidos e produzidos no mundo, ocupando uma área de 159 milhões de hectares e produção de 740 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2019). Entre os 10 maiores produtores mundiais de cereais está o Brasil, que é o maior produtor de arroz do continente americano, com uma produção média anual de 12,3 milhões de toneladas, conforme dados da CONAB (2019).

O grão de arroz é constituído majoritariamente por amido, podendo chegar a constituir 90% do grão. Desta forma, o arroz torna-se uma opção na indústria para a produção de diversos produtos que possuem o amido como constituinte importante (HÜTTNER et al., 2020). O amido é um biopolímero natural encontrado em vegetais, raízes, tubérculos, cereais, leguminosas e frutos. Trata-se de um polissacarídeo composto de monômeros ligados por ligações alfa-glicosídicas em sua forma nativa e apresenta conformação semicristalina, combinadas essencialmente por amilose e amilopectina que conferem essa característica de arranjo complexo (BARETTI, 2020).

Para aperfeiçoar as propriedades funcionais, químicas e físicas do amido nativo, com o objetivo de melhorar sua aplicabilidade na indústria, são feitas modificações do polímero por meios químicos, físicos, enzimáticos ou combinados (modificação dupla) (ASHOGBON, 2021). Dessa forma é possível obter funcionalidades específicas de textura, formação de filme, adesividade, gelificação, clareza e brilho do gel, retrogradação, redução da sinérese, propriedades de cocção e estabilidade térmica (BEMILLER, 2016; PUNIA, 2020).

O tratamento calor-umidade (HMT) promove modificações físico-químicas no grânulo sem alterar sua composição molecular, onde é realizado em temperatura acima da temperatura de gelatinização com quantidade insuficiente de teor de água para gelatinizar o biopolímero (ZAVAREZE; DIAS, 2011; ZHU; XIE, 2018). Tem sido investigado e os dados demonstram que as modificações são eficazes para melhorar os níveis de *SDS* (amido lentamente digerido) e *RS* (amido resistente) em comparação com amidos não modificados (SHAIKH et al., 2019). O amido é um dos ingredientes mais úteis no setor alimentício devido a sua fácil obtenção, baixo custo e propriedades funcionais de espessante, gelificante e/ou estabilizante, também substituindo gordura, encapsulando aromas etc. (PRZETACZEK-ROZNOWSKA et al., 2018).

Devido ao estilo de vida moderna, o uso de produtos que contêm aditivos fez-se algo corriqueiro. A utilização de aditivos contribui com a cadeia logística de comercialização dos produtos, a conservação e extensão da vida de prateleira e as necessidades constantes de inovação. Apesar desses fatores favorecerem o uso dos

aditivos, a aplicação destas substâncias deve obedecer à orientação da legislação para evitar riscos à saúde dos consumidores (AUN et al., 2011; BRASIL, 1997).

Silva et al. (2010) relataram o significativo crescimento do mercado consumidor de bebidas lácteas fermentadas por conta da busca por alimentos naturais que tragam benefícios à saúde, sejam pouco processados, e a associação dessas bebidas ao perfil de um alimento saudável e abundante em vitaminas, minerais e proteínas. A lactose é reduzida no processo da fermentação, tornando mais vantajoso o consumo dessas bebidas para quem possui intolerância à lactose e intolerância ao leite *in natura* (OLIVEIRA, 2017).

O uso dos amidos de arroz vermelho e preto modificados pelo tratamento com calor-umidade no desenvolvimento da bebida láctea fermentada visa a substituição da pectina e do corante geralmente utilizado na indústria pelo amido obtido de arroz pigmentados. Essa abordagem visa elaborar um produto com menos aditivos, características funcionais e texturais otimizadas e com uma melhor estabilidade durante o armazenamento.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar o amido de arroz preto e vermelho modificado por calor-umidade (HMT) como espessante de uma bebida láctea fermentada.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Modificar os amidos extraídos via tratamento calor-umidade (HMT);
- Avaliar a influência do tratamento HMT no teor de amilose e amilopectina, cor, rendimento de extração e compostos fenólicos totais;
- Determinar as propriedades funcionais dos amidos nativo e modificados;
- Observar as características estruturais: difração de raios-x (XRD), espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), morfológicas (Micrografias eletrônicas de varredura - SEM), e texturais;
- Produzir a bebida láctea fermentada substituindo a pectina pelo amido nativo e modificado de arroz preto e vermelho;
- Avaliar a composição centesimal, textura e estabilidade da bebida láctea fermentada durante o armazenamento.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 ARROZ

Na dieta alimentar brasileira, um dos principais componentes é o arroz (*Oriza sativa* L.), sendo um grão produzido em todo o país nas mais diferentes condições edafoclimáticas (COLTRO et al., 2017; SILVA; WANDER, 2014; KATSURAYAMA et al., 2018; MILANI et al., 2017). Segundo Hora de Souza (2023), o Brasil atualmente ocupa o 9º lugar como o maior produtor mundial de arroz, ficando atrás somente dos países do continente asiático. Na safra 2020/21, a produção foi de 11,75 milhões de toneladas em uma área 1.115,6 mil de hectares, destacando a produção na Região Sul do país, especialmente o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, com 8.277,5 mil toneladas nos 946 mil hectares e rendimento médio de 8.683 kg/ha. Seguida pela Região Norte, com 1.037,9 mil toneladas, e o Estado do Tocantins, produzindo mais de 692 mil toneladas (CONAB, 2021).

De acordo com a FEE (2016), o arroz é o segundo alimento mais consumido no mundo, sendo o terceiro cereal mais produzido no planeta. Porém, em alguns estados do Nordeste, como Paraíba e Rio Grande do Norte, os de pericarpo pigmentado são facilmente encontrados e preferidos pelos consumidores. Segundo a CONAB (2019), o arroz tem uma área de cultivo em nível nacional, incluindo sequeiro e irrigado, de 2,8 milhões de hectares, obtendo uma produção aproximada de 13 milhões de toneladas como resultado, sendo também um dos cereais mais difundidos e produzidos no mundo, estando entre o trigo e o milho.

Cerca de 68% do consumo nacional do arroz ocorre na forma de arroz beneficiado polido, 25% de arroz parboilizado polido, 6% de arroz integral e o 1% restante corresponde as variedades especiais de arroz, equivalendo a cerca de 120 mil toneladas anuais, o que aponta que o consumo de arroz no mercado brasileiro ainda é pouco diversificado (SOUSA. 2019; WEBER, 2012).



Figura 1: Diferentes tipos de arroz: a) Branco; b) Parboilizado; c) Integral.  
Fonte: EPAGRI (2012)

Esses tipos especiais de arroz, que incluem tipos pigmentados e aromáticos, tiveram um crescimento de mercado de cinco vezes maior nos últimos anos, atingindo valor comercial dez vezes superior quando comparado ao arroz branco consumido pelos brasileiros (PLANETA ARROZ, 2017).

A presença de pigmentos no pericarpo faz com que se dê a coloração nas variedades do cereal. No caso do arroz, os compostos fenólicos proantocianinas, encontrados no arroz vermelho, e antocianinas, encontrados no arroz preto, exemplificam essa presença (FINOCCHIARO; FERRARI; GIANINETTI, 2010; MIN; MCCLUNG; CHEN, 2015).

Esses compostos podem desempenhar um papel importante na prevenção de doenças crônicas degenerativas cardiovasculares e na prevenção de câncer por apresentar atividade antioxidante, anti-inflamatória, antimutagênica e anti-hipertensiva (PAIVA et al., 2014; SHAO; BAO, 2015).

É perceptível que arrozes de tipos especiais, como os de pericarpo pigmentado, vêm ganhando espaço no mercado e adquirindo destaque por seus aspectos nutricionais, funcionais, sensoriais e culinários agregados, tendo como seus grandes diferenciais a alta concentração de compostos fenólicos presentes na sua estrutura, principalmente nos de pericarpo preto (BASSINELLO et al., 2008).

É possível verificar que, quando se incorpora esses fenólicos na alimentação humana, os quais possuem alta capacidade antioxidante, há uma redução na probabilidade de ocorrência de certas patologias, como câncer e doenças cardiovasculares (RICE-EVANS; MILLER; PAGANGA, 1997). Sumczynski et al. (2016) observaram que as variedades com pericarpo vermelho e preto têm atraído cada vez mais os consumidores que buscam alto valor nutricional e funcionalidade nos alimentos, além da sua coloração diferenciada e atrativa.

A qualidade dos grãos de arroz é avaliada a partir do teor de amilase. Existe uma diferenciação das proporções em que estas cadeias aparecem dependendo do genótipo, sendo possível classificar os grãos como ceroso (contendo 0-2% de conteúdo de amilose) e regular ou comum, podendo ser de conteúdo de amilose muito baixo (2-12%), baixo (12-20%), intermediário (20-25 %) e alto (>25 %) (JULIANO, 1993; BEMILLER & WHISTLER, 2009; CHAMPAGNE, 2004).

### 3.1.1 Arroz Preto

O arroz preto (Figura 2) destaca-se entre as variedades de arroz pigmentado por apresentar boas características sensoriais e elevado valor nutricional. Possui conteúdos de aminoácidos, ácidos orgânicos, ésteres metílicos de ácidos graxos, ácidos graxos livres elevados, e livres de glúten, tornando-se uma excelente matéria-prima para o desenvolvimento de produtos para pacientes com doença celíaca ou sensibilidade ao glúten (ITO; LACERDA, 2019).



Figura 2. Grãos de arroz preto  
Fonte: Autor (2022).

Existem diversos relatos que apontam um alto teor de compostos fenólicos no arroz preto (MUNTANA; PRASONG, 2010; ZHANG et al., 2015) e sabe-se que a região de cultivo e suas características edafoclimáticas tendem a interferir no acúmulo desses compostos durante o desenvolvimento da cultura (KAWASSAKI, 2011). Apesar do cultivar IAC 600 do arroz preto ser o principal, e quase único, genótipo cultivado no Brasil, novas linhagens-elite de arroz preto estão sendo estudadas pela EMBRAPA.

A cultivar AE 153045 do arroz preto foi apontada como a mais promissora para ser lançada como nova cultivar. Devido a sua coloração escura diferenciada e ao seu alto teor de compostos fenólicos, o arroz preto também é conhecido, principalmente nos países asiáticos, por arroz roxo, arroz proibido, arroz do céu, arroz imperial, arroz do rei, arroz premiado e ainda arroz da longevidade (KUSHWAHA, 2016).

A antocianina, composto largamente associado a efeitos antioxidantes, atua na redução de riscos de determinadas doenças e pode ser encontrada nos arrozes preto e vermelho. Para Raizel et al. (2011), por serem importante fonte desse composto, esses alimentos podem ser considerados funcionais. Em comparação ao branco, o arroz preto tem maior teor de proteínas e fibras, além de apresentar um valor calórico inferior. Já o tipo vermelho apresenta alto teor de polifenóis, compostos bioativos com importante papel na saúde humana (BASSINELLO, 2008; CALDERÓN et al., 2011).

Essas características são relacionadas especialmente ao combate à criação de espécies reativas de oxigênio (EROs), contribuindo para a diminuição do estresse oxidativo que se apresenta geralmente em doenças neurodegenerativas, cardiovasculares, câncer, entre outras (PEREIRA, 2004; SANTOS et al., 2011).

O principal constituinte desse grão é o amido, que devido a suas características texturais pode ser aplicado industrialmente como espessante, estabilizador de colóides, agente gelificante e de volume, adesivo, na retenção de água, dentre outros. Assim, o amido é tido como o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados. Zhou et al. (2002), afirmam que apesar de sua composição estar sujeita aos efeitos de variáveis bióticas, de manejo e de processamento, além do amido, o arroz também é constituído por quantidades menores de proteínas, lipídios, fibras e cinzas.

### **3.1.2 Arroz Vermelho**

A denominação "arroz vermelho" deve-se à coloração avermelhada do pericarpo dos grãos (Figura 3), devido ao acúmulo de tanino (OGAWA, 1992) ou de antocianina (PANTONE & BEKER, 1991).



Figura 3. Grãos de arroz vermelho.  
Fonte: Autor (2022).

As opiniões quanto à origem do arroz vermelho são divergentes. Uma hipótese defende o atrativismo, onde a forma originária das atuais cultivares de arroz possuía pericarpo vermelho. Outra hipótese sugere que o arroz com pericarpo vermelho surgiu em uma população de arroz branco, devido à degeneração deste. De qualquer modo, a manifestação da coloração vermelha do pericarpo do grão é proveniente de um par de genes ( $R_d$  e  $R_c$ ) com dominância simples (PEDROSO, 1985).

Sousa et al. (2016) constataram que o arroz vermelho cultivado no Brasil, tipo especial de arroz que apresenta como principal diferencial a cor avermelhada do grão, é produzido em grande parte por meio da agricultura familiar principalmente na região semiárida da Paraíba, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Ceará. Enquanto Lima et al. (2019) analisaram que devido a características distintas de sabor, cor, aroma, cozimento e funcionais, tipos especiais de arroz, como o arroz vermelho, são consumidos por nichos específicos de mercado. Além disso, essas características têm desempenhado um papel crucial para aumentar o valor agregado desses tipos de arroz.

As cultivares de arroz vermelho utilizadas e adaptadas às condições nordestinas são o resultado de cruzamentos, mutações e seleção realizadas pelos próprios agricultores (PEREIRA et al., 2011). De acordo com Moscôso et al. (2019), torna-se necessário buscar seleção das cultivares e uso de tecnologia e pesquisa para incentivar a produtividade e otimização na utilização desses produtos na indústria.

### 3.2 AMIDO

O amido, uma substância de reserva energética dos vegetais, pode ser extraído de raízes (mandioca), tubérculos (batata, cará, inhame), ou cereais (arroz, trigo, milho). Além disso, tem aplicações variadas na indústria farmacêutica, têxtil, alimentícia e cosmética. É classificado como um polímero natural constituído em sua maioria de amilose e amilopectina (98-99% peso seco), lipídeos e proteínas (aproximadamente 0,6%), magnésio, cálcio, fósforo e potássio (aproximadamente 0,4%), tendo a capacidade de modificar suas propriedades funcionais. (BARBOSA et al., 2019; LI; WEI, 2020; RAMÍREZ, 2011). Lacerda (2018) afirma que algumas características do amido são: poder conferir textura, facilitar o processamento, servir de espessante, fornecer sólidos em suspensão e proteger os alimentos durante o processamento.

O amido surge no grão de arroz durante a pré-germinação. A pré-germinação é um método de condicionamento fisiológico de sementes baseado na hidratação controlada, preparando-as para a germinação e, também para o desenvolvimento inicial das plântulas (REVISTA BRASILEIRA DE SEMENTES, 2007). O amido de arroz é muito digerível e pode ser absorvido rapidamente.

Além de representar um produto de grande potencial para a alimentação humana e animal, o amido também é considerado de grande importância para a indústria. Atualmente o amido é considerado uma matéria prima promissora. Ele é um polímero proveniente dos vegetais que após sua extração pode ser largamente utilizado para vários fins industriais, em sua forma nativa e/ou modificada. (HULL, 2010; YANJIE ET AL. 2018). O amido é um material de grande interesse, pois além de ser o segundo biopolímero mais abundante no mundo, ficando atrás apenas da celulose, além disso, ele apresenta grande importância na vida da população, sendo a principal fonte de carboidratos consumida pelo ser humano (DIYANA et al., 2021). Quanto à sua origem, o amido é sintetizado dentro das organelas celulares chamadas de amiloplastos, que conforme se desenvolvem, formam uma estrutura semicristalina conhecida como grânulo (LLOYD; KOSSMANN, 2019). Para Zhou et al. (2002), o maior constituinte do grão polido é o amido, representando em torno de 90% do grão seco em massa.

Segundo Yanjie et al (2018), vários aspectos da qualidade do arroz, incluindo a qualidade de cozimento e do processamento, são determinados por propriedades físico-químicas do principal constituinte do arroz, o amido. O teor de amilose e os índices de colagem são exemplos dessas propriedades.

O amido de arroz (Figura 4) é utilizado como ingrediente em vários alimentos e produtos industriais, tais como, sobremesas, produtos de panificação e substituto de gorduras (PUCHONGKAVARIN et al. 2005).

Nos grânulos de amido pode-se encontrar dois componentes macromoleculares: a amilose e a amilopectina (SANDHU et al., 2004; VANDEPUTTE et al. 2003; BARRRETO et al. 1999; KUSONOSE et al. 1999). Ambos, polímeros de glicose com diferentes conformações. A maioria dos amidos possuem aproximadamente 75% de amilopectina, com uma conformação semicristalina, e 25% de amilose, em estado amorfo (TAKEDA, SHIRASAKA, HIZUKURI, 1984).

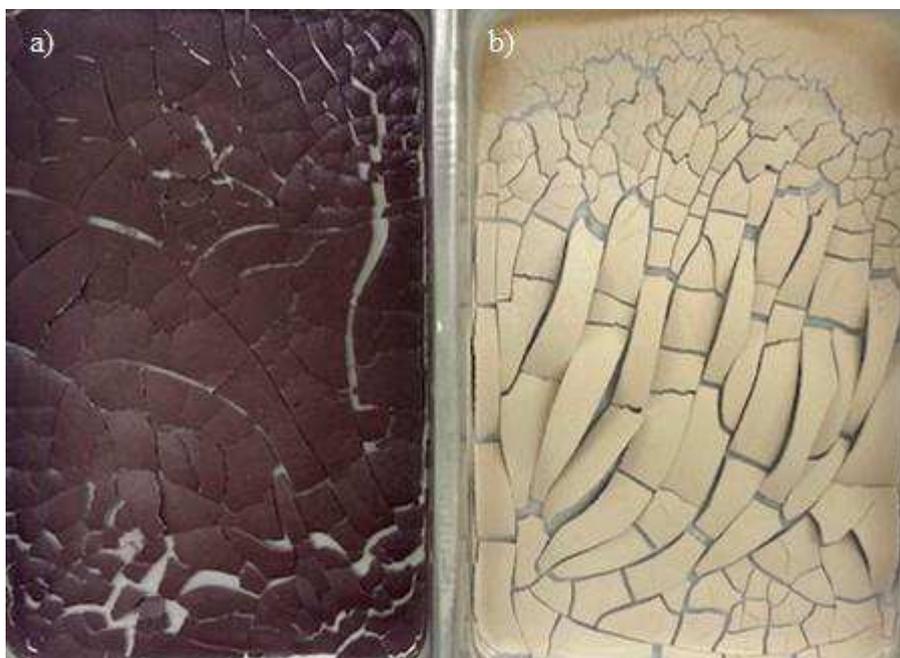


Figura 4. Amidos do arroz preto (a) e vermelho (b)  
Fonte: Autor (2022).

O amido é composto por cadeias de amilose (com massa molar tipicamente da ordem de 250000 Daltons) e amilopectina (com massa molar que varia entre 50 e 500 x 106 Daltons), portanto, se caracteriza como um homopolissacarídeo. A presença dos grupos hidroxila (OH) fortemente polares é o que vai determinar a capacidade hidrofílica dessa substância de alta massa molar (HULL, 2010; VANDEPUTTE et al., 2004).

De acordo com Fennema et al. (2010), o tipo de cereal, tubérculo e raiz, bem como os genótipos, influenciam diretamente no conteúdo do amido e da proporção de amilose-amilopectina. O estado e modo de processamento atribuem a qualidade nutricional dessa molécula, que quando aliada à digestão, pode ser classificada como glicêmico (disponível) ou resistente. Quando a degradação ocorre pelas enzimas do trato digestivo, o amido glicêmico resulta em amido rapidamente digerível (ARD), já quando

ocorre no intestino delgado, o resultante é o amido lentamente digerível (ALD) (ENGLYST et al., 1992; YUE; WARING, 1998).

Zhu e Xie (2018) destacaram em seu trabalho que o amido modificado desempenha uma função importante nas aplicações alimentares como ingredientes funcionais. Com o objetivo de melhorar sua funcionalidade, os tratamentos mais usuais são os químicos e físicos. Para aplicações alimentares, os amidos geralmente são tratados quimicamente. No entanto, em resposta à crescente demanda gerada por alimentos não tóxicos, são realizados os tratamentos físicos, de forma a ser uma alternativa limpa para o meio ambiente.

Segundo Zavareze e Dias (2011) os tratamentos hidrotérmicos, dentre as várias técnicas, podem modificar as propriedades funcionais do amido sem causar destruição da estrutura granular do amido. Exemplos principais de tratamentos hidrotérmicos são o tratamento calor-umidade (HMT) e o annealing (ANN). A modificação do amido nativo tem se mostrado importante fator no crescimento do mercado de produtos amiláceos devido à capacidade de espessamento, de ligação, formação de gel e textura (FOCUS, 1993).

### **3.2.1 AMILOSE E AMILOPECTINA**

De acordo com Lacerda (2019), geralmente, o amido dispõe de teores de 20 a 30% de amilose e 70 a 80% de amilopectina, apesar dessas quantidades variarem dependendo de sua origem botânica. Diferentes propriedades químicas, físicas e funcionais também são possibilitadas a partir das diversas proporções de amilose e amilopectina no amido, diversificando assim sua utilização (ZHU, 2020; TAGLIAPIETRA et al., 2021). A diferenciação estrutural do amido também influencia na diversidade das propriedades físicas e químicas desses dois componentes (QUIROGA, 2015; BARBOSA et al., 2019). A exemplo, pode-se observar a solubilidade da amilose em água quente que é menor do que a da amilopectina (PÉREZ et al., 2009; QIN, Y. et al., 2016).

Segundo Vaclavik e Christian (2014), amidos sem amilose intumescem, mas não formam gel. Porém, amidos com alta quantidade de amilose são eficientes na formação do gel ou manter sua estrutura quando moldados. A explicação é que como as moléculas de amilopectina não se associam, existe a impossibilidade de surgimento de ligações químicas (SINGH et al., 2007; AKOH et al., 2008). Dessa forma, os amidos com alto percentual de amilopectina espessam uma mistura, porém não conseguem formar um gel.

Para o estudo químico do amido, Waiga (2018) reconhece a amilopectina como não apenas essencial, mas também o principal componente do amido, sendo responsável por sua cristalinidade. Cadeias de amilopectina tem a possibilidade de serem classificadas de várias formas, considerando a posição de suas ramificações que, estruturalmente, dependem das ligações entre os seus monômeros constituintes (VOET E VOET, 2011; WAIGA, 2018).

### 3.3 MODIFICAÇÃO DO AMIDO

Halley e Averous (2014) definem os amidos biologicamente modificados como amidos que passaram por alterações nas condições de crescimento da planta, seleção da variedade da semente ou expressão genética e rota química. Assim como os benefícios nutricionais, o papel tecnológico do amido em alimentos processados é de fundamental importância. Suas propriedades podem ser melhoradas com a utilização de métodos biológicos, físicos, químicos e enzimáticos. Isso é relevante pois em sua forma nativa seu uso torna-se mais restrito em razão de algumas características indesejáveis como:

insolubilidade em água fria, instabilidade frente a ciclos de congelamento e descongelamento e tendência a retrogradação (ALVES et al., 1999; SITOHY et al., 2000).

Raigond et al. (2015) constataram que, para abrir novas possibilidades de aplicação, são feitas modificações no amido com o objetivo de melhorar qualidades de interesse no processamento, como: propriedades de gelatinização e retrogradação. A digestibilidade do amido também pode ser modificada física e quimicamente de forma a trazer benefícios nutricionais como, por exemplo, sua função prebiótica. Uma excelente capacidade do amido resistente em atuar como fibra, em relação ao fornecimento de saciedade ao consumidor, está sendo constatada por pesquisas (RAIGOND; EZEKIEL; RAIGOND, 2015).

Na modificação química da estrutura do amido vai ocorrer a introdução de vários grupos funcionais como carboxila, acetila, hidroxipropila, amina e amida (BELLO-PEREZ; HOYOS-LEYVA, 2017). Essa modificação usualmente pode ser classificada como reticulação, enxerto, oxidação, esterificação, eterificação etc. Já em relação as modificações por tratamento ácido, existe um rompimento de ligações glicosídicas das cadeias  $\alpha$ -glucanas de modo a afetar a estrutura e as propriedades do amido nativo (PRATIWI; FARIDAH; LIOE, 2018).

Lacerda (2018) afirma que em relação à modificação física, pode-se observar a presença da pré-gelatinização, moagem, extrusão, solubilização etc., sendo preferíveis,

majoritariamente, modificações físicas a modificações químicas pelo fato de, geralmente, apresentarem um custo menor visto que essas evitam subsequentes processos de purificação do produto. Além disso, os amidos resultantes são considerados seguros e prontos para consumo (PARK et al., 2009; ROA et al., 2014). Baretta (2020) afirma que as propriedades do amido nativo vão ser afetadas pelo tratamento por meio do controle de teor de água e calor que resulta em interações e reassociações das cadeias de amilose e amilopectina.

Da Silva et al. (2020) realizou a extração dos amidos de arroz pigmentados obtendo grânulos de formatos poligonais e angulares. Diferenças estatísticas foram observadas na constituição dos amidos possibilitando sua utilização como filmes e revestimentos comestíveis, ingredientes alimentares funcionais viáveis e no desenvolvimento de produtos alimentícios. A alternativa de aplicação de amidos modificados, em estudos, demonstra boa aceitação sensorial por pacientes com disfagia, pois não acrescenta sabor residual nos alimentos espessados (VILARDELL et al., 2016).

### **3.4 CALOR-UMIDADE (HMT)**

Tratamento calor-umidade (HMT) é um método hidrotérmico, considerado uma modificação física quando aplicado aos amidos, promovendo modificações físico-químicas no grânulo sem alterar sua composição molecular (LI et al., 2020; MATHOBO et al., 2021). Segundo Schafranski et al. (2021), o HMT teve seu primeiro registro de utilização datado em 1944, sendo que nessa situação sua utilização teve como objetivo a modificação do amido de milho. Outras fontes começaram a ser estudadas a partir de 1981 como, por exemplo, o trigo e a batata.

O HMT caracteriza-se por ser uma modificação física envolvendo condições hidrotermais (calor e baixo teor de água, normalmente <35% de teor de água, proporção insuficiente de água para gelatinizar o amido) e aquecimento a altas temperaturas (maiores que a temperatura de transição vítrea, porém abaixo da temperatura de gelatinização), geralmente acima de 100 °C, por um período variável de alguns minutos ou várias horas, podendo chegar à 16h (ZAVAREZE; DIAS, 2011; ZHU; XIE, 2018; DUDU et al., 2019; LI et al., 2020). Apesar da temperatura empregada nesse tratamento ser favorável ao processo de gelatinização, o teor de água é insuficiente para que ocorra esse fenômeno (BARRETTI et al., 2020).

O tratamento calor-umidade, realizado em temperatura acima da temperatura de gelatinização com quantidade insuficiente de teor de água para gelatinizar o biopolímero

(Figura 5), tem sido investigado e os dados demonstram que as modificações são eficazes para melhorar os níveis de SDS (amido lentamente digerido) e RS (amido resistente) em comparação com amidos não modificados (SHAIKH et al., 2019).



Figura 5. Amido do arroz preto (a) e vermelho (b) após tratamento calor-umidade (HMT)  
Fonte: Autor (2022).

Um aumento no parâmetro temperatura pode ter significativas alterações provocadas pelo HMT, desde que respeite o limite de temperatura para que não ocorra gelatinização do amido com a relação alta temperatura e alto teor de água. (CHATPAPAMON et al., 2019).

Gunaratne e Hoover (2002) concluíram que a fonte botânica varia as modificações na estrutura e nas propriedades do amido após HMT. Como exemplo, amidos de tuberosas demonstraram ser mais suscetíveis em comparação a amidos de leguminosas ou cereais. Foram documentadas recentemente modificações em várias fontes não convencionais. Entre elas estão o Sohphlang (tubérculo originário da Índia), o bulbo de lírio, o abacate e o pinhão. (MARBOH e MAHANTA, 2021; LI et al., 2020; LACERDA et al., 2015 e PINTO et al., 2015).

A água no amido age como um agente plastificante, redutor de cadeias poliméricas de amido mais flexíveis, ou seja, deixa mais fácil o rearranjo de cadeias de unidades de amilose/amilopectina, resultando em uma maior magnitude de alterações na viscosidade da pasta, cristalinidade e digestibilidade dos amidos HMT com alto teor de água. Dessa forma, o teor de água é considerado um fato importante nas propriedades físico-químicas do amido.

De acordo com Liu et al. (2019), em seu estudo sobre amido de cevada, houve um aumento de temperatura de pasta, melhor instabilidade de pasta e aumento no

conteúdo de amido resistente como resposta ao aumento do teor de água nas mesmas condições de tempo e temperatura. O aumento do conteúdo de amido resistente (RS) foi de  $2,27 \pm 0,50$  do amido nativo (15% de teor de água) para  $3,78 \pm 0,10$  até  $13,62 \pm 0,30$  do amido modificado (30% teor de água).

Nas indústrias agroalimentares, os amidos e derivados são utilizados como ingredientes, componentes básicos ou aditivos adicionados em baixas quantidades para melhorar a fabricação, apresentação ou conservação do produto desempenhando, assim, um papel relevante no controle das características de muitos alimentos processados (SERRANO & FRANCO, 2005). Nas formulações de iogurte e bebidas lácteas, o amido age como estabilizante, espessante e texturizante, o que confere ao produto uma textura cremosa, melhor palatabilidade e, sabor natural sem que o gosto do cereal seja perceptível (FERREIRA et al., 2009).

### 3.5 INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS

A indústria do leite no Brasil apresentou um crescimento de mais de 50% na última década, sendo o país considerado o 4º maior líder mundial na produção leiteira atrás, apenas, dos Estados Unidos, Índia e China (FEAM, 2020).

Conforme pesquisa realizada por Kruif et al. (2012), os principais produtos lácteos como leite fluido, queijo e iogurte, tem suas propriedades sensoriais, nutricionais e texturais derivadas das propriedades das caseínas. De acordo com Cabral e Silva (2015), a elevada estabilidade térmica das caseínas, fundamentais proteínas do leite, proporciona a produção de derivados lácteos submetidos aos processamentos de alta temperatura. Dessa forma, corroborando com Oliveira et al. (2019), a estabilidade das proteínas do leite é um fator significativo para garantir condições de processamento adequadas, proporcionar maior qualidade ao consumidor final e elevar o tempo de prateleira de derivados lácteos. Valencia (2015) observou que as fábricas de laticínios vêm utilizando ingredientes inovadores e sistemas tecnológicos que proporcionam novas alternativas aos alimentos produzidos. Se abre um novo leque de sabores com um valor nutritivo aumentado e uma melhor digestibilidade.

Pelo fato de fornecer muitos nutrientes, como o cálcio, e apresentar baixa concentração de gorduras combinada com a elevada concentração de proteínas, o consumo do iogurte é relacionado à saudabilidade, uma vez que ele é visto como um alimento abundantemente nutritivo (FREITAS, 2017). De acordo com Gahrue et al. (2015), ao ser comparado ao leite, é tido como nutricionalmente similar, por ser produzido

a partir dele, sendo destacado como uma excelente fonte de vitamina B12, niacina, riboflavina (vitamina B2), fósforo, tiamina (vitamina B1), folato, zinco e magnésio. Fora a presença desses nutrientes, a existência de culturas *starters* nos iogurtes também é associada aos seus benefícios à saúde (GAHRUIE et al., 2015; MCKINLEY, 2005; MICHAEL; PHEBUS; SCHMIDT, 2010). Outras vantagens do consumo de iogurtes ainda são apresentadas em vários estudos que apontam para o fortalecimento do sistema imunológico, a redução da absorção do colesterol, a prevenção do câncer de cólon e a melhora da função intestinal (ARYANA; OLSON, 2017).

Adicionar nutrientes extraídos de fontes naturais é uma das melhores maneiras de elevar e melhorar a sua disponibilidade. Além disso, também existe a possibilidade da modificação da textura dos alimentos a partir dessas fontes. Incluir estabilizantes como pectina, gelatina, inulina ou outras fibras dietéticas aos iogurtes é essencial para a melhora de suas propriedades de textura, que é um atributo essencial na qualidade de iogurtes, e estabilidade, sendo essa conduta cada vez mais explorada (GAHRUIE et al., 2015; SUPAVITIPATANA, 2007). Paseephol et al. (2008) observaram que a elevada capacidade de retenção de água, de forma a reduzir a sinérese e melhorar a textura e as características reológicas do produto, é uma característica marcante para explicar por que as fibras vêm sendo adicionadas aos iogurtes com o objetivo de aumentar sua saudabilidade.

O espessamento é, em grande parte, dependente da concentração, temperatura e pH, enquanto a capacidade de formar gel envolve, normalmente, uma interação com íons específicos (SILVA et al., 2018). O amido de arroz é uma escolha de substituição aos espessantes tradicionais como fécula de mandioca, amido de milho, trigo e soja (ZHANG; HAMAKER, 2012; AGAMA-ACEVEDO et al., 2015). Atualmente, os consumidores e indústria alimentícia passaram a utilizar este produto como uma opção mais saudável. Devido ao baixo custo, aquisição de preparações na consistência de “pudim”, boa disponibilidade e seu processo simples, os espessantes à base de amido (como amido de batata, amido de mandioca e amidos modificados) são os mais usados para a disfagia (CICHERO et al., 2017; GIURA et al., 2021).

O processo industrial de modificação do amido permite que o espessamento do alimento se realize sem que ocorra o aquecimento, tendo em vista que este amido é total ou parcialmente solúvel em água fria (SHRESTHA; HALLEY, 2014). Graças a modificação desse espessante, o amido, que não é totalmente degradado pelas enzimas do trato gastrointestinal humano (TGI) tem sua digestão e absorção facilitada (MAGALLANES-CRUZ; FLORES-SILVA; BELLOPEREZ, 2017).

Segundo Silva et al. (2018), para se conseguir a textura e consistência desejada em um determinado produto lácteo é importante utilizar corretamente os agentes de textura. Os espessantes e/ou gelificantes de sistemas aquosos são descritos como hidrocolóide (ou colóide hidrofílico), termo que compreende toda a sua variedade. Essas substâncias são polímeros com alto peso molecular sendo solúveis/dispersos em água. Diversos fatores influenciam a capacidade de formar gel ou espessamento da fase aquosa de cada hidrocolóide. A competência de formar gel depende, geralmente, de uma interação com íons específicos e o espessamento na maioria das vezes irá depender da temperatura, pH e concentração.

### **3.6 AMIDO MODIFICADO COMO ESPESSANTE ALIMENTAR**

As modificações no amido têm o objetivo de incrementar ou inibir características do amido nativo, como a estabilidade, geleificação em temperatura ambiente (intitulado amido pré-gelatinizado ou instantâneo), a retenção de água, a sensação ao paladar e brilho e o fato de dispersar facilmente em preparações culinárias (SHRESTHA; HALLEY, 2014). Gomes et al. (2020) discorrem sobre as aplicações comerciais trazendo alguns exemplos como a maltose, as maltodextrinas e os xaropes concentrados de glicose, que são utilizados, especialmente, em molhos, pastas e doces.

As modificações do amido nativo são feitas para a obtenção de ingredientes com as propriedades necessárias para usos industriais como espessante alimentar, sendo considerados como aditivos alimentares com função de espessar, estabilizar, encorpar, conferir viscosidade, elasticidade e dar a textura desejada ao alimento produzido (ALMEIDA et al., 2019).

Para Damodaran et al. (2010), as melhores propriedades dos amidos modificados em comparação com as dos amidos nativos explicam a sua utilização em maior escala objetivando tornar mais fácil a inserção de amidos na indústria de alimentos. As massas de géis sofrem modificações, físicas ou químicas, que são feitas com o intuito de melhorar suas características. A maior estabilidade ao processo térmico, a redução do efeito da retrogradação, armazenamento, textura, viscosidade etc., são exemplos de melhoramento proporcionado pela modificação do amido (ZHU, 2020; TAGLIAPIETRA et al., 2021).

De acordo com Pinheiro e Penna (2008), os amidos resistentes, capazes de resistir a altas temperaturas, e os amidos de fácil cozimento fazem parte da grande diversidade de amidos modificados com perspectiva de utilização na mais diversa linha de produtos usados em processos mais simples. Vários fatores são levados em

consideração para determinar a formação e a dureza do gel de amido como: pH, características do amido, composição do sistema e concentração de amido utilizada. A aplicação do amido em sinergia, com espessantes, é uma das possibilidades (BEMILLER, 2015; CHEN, 2015).

Com o objetivo de averiguar a interferência das interações entre espessante e amido, Munhoz, Weber e Chang (2004) usaram diferentes concentrações de goma guar e xantana, variando entre 0 e 1%, em amido de milho. A conclusão revelou que ambos espessantes exibiram resultados significativos no que se refere à força do gel passadas 120h de armazenamento, entretanto, houve a variação da melhor concentração a ser utilizada entre eles.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 MATERIAIS**

Foram adquiridos os grãos de arroz preto e vermelho (Timbaúba ®) de empresas locais na cidade de Campina Grande, Paraíba, que foram levados ao Laboratório de Secagem (UAEALI) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) para remoção das impurezas e seleção manual. Até o momento da extração do amido de arroz, as amostras foram armazenadas em temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C).

Para execução dessa pesquisa, foram adquiridos: ácido láctico (solução de grau alimentício FCC85, Purac), leite integral e zero lactose (Betânia ®), óleo de girassol (Liza®), álcool etílico, ácido 3,5-dinitrosalicílico (NEON ®), acetato de sódio (Synth ®), ácido acético (Anidrol ®), iodo ressublimado (Innova ®), amido solúvel (Synth ®), pectina (Grindsted®Pectin YF 310, Danisco Mexicana, DuPont), metabissulfito de sódio e dimetilsulfóxido-DMSO (Dinâmica ®) e iodeto de potássio (Synth ®).

### **4.2 MÉTODOS**

#### **4.2.1 Extração do Amido**

Para realizar a extração do amido, foi utilizado o método inicialmente descrito por Bento et al. (2019) e posteriormente modificado por Almeida et al. (2021). Primeiramente, houve a imersão do arroz preto e do arroz vermelho, separadamente, em solução de metabissulfito de sódio (0,5%) com uma proporção de 1:2 (p/v) durante 72h a uma temperatura de 7 °C. Posteriormente, foi feito o enxágue em água corrente por 3 min seguindo assim para a etapa de trituração, que ocorreu acrescentando-se a água destilada

na proporção de 1:2 (p/v) com o auxílio de um liquidificador industrial (KD Eletro Lar-22) ao longo de 5min. Após esse processo, foi feita a filtragem em malha de organza com o objetivo de obter as suspensões dos amidos. Novamente, os resíduos foram triturados e filtrados quatro vezes para elevar o rendimento de extração. A partir desse ponto, a suspensão de amido passou por peneira de 32 mesh, e foi decantada cinco vezes a cada 12h em geladeira doméstica (Electrolux RE31) a 7 °C para evitar a ocorrência da ação enzimática ou fermentativa no decorrer do processo de sedimentação. Para remover a água restante e, assim, otimizar o processo, foi utilizada a filtragem a vácuo.

#### **4.2.2 Modificação por Calor-Umididade (HMT)**

Em frascos cônicos, foram colocados os amidos de arroz preto e vermelho (3 g), juntamente à água destilada com a finalidade de obter teor de água final de 20%. Após isso, esses frascos foram vedados e aquecidos a uma temperatura de 110°C durante 3h (HMT3) com o auxílio de um forno elétrico (Semp Easy, modelo FO3015PR2) com dimensões de 25 x 41,5 x 32,2 cm (ALMEIDA et al., 2022). Posteriormente, foi realizada a secagem das amostras em uma estufa com circulação de ar, temperatura de 50 °C e velocidade do ar fixa de 1,0 m s<sup>-1</sup> seguida de moagem realizada com o moinho de facas (Biofoco Modelo BF2 MMH 27000) (ALMEIDA et al., 2021).

### **4.3 CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DE ARROZ PRETO E VERMELHO**

#### **4.3.1 Conteúdo de Amido e Amilose**

A determinação do amido foi realizada através da metodologia adaptada de Amaral et al. (2007). Foram utilizadas 10,0 mg da amostra e quatro extrações com 500,0 µL de etanol 80% a 80 °C durante 20min, objetivando remover açúcares, pigmentos, fenóis e outras substâncias solúveis e determinar as dosagens de amido. Posteriormente, foram adicionados 1,0 mL (30,0 U g<sup>-1</sup>) de  $\alpha$ -amilase diluída em tampão acetato de sódio 0,016 M pH 6,0. Durante 30min as amostras foram incubadas a 75°C e após isso foram resfriadas a 50°C, em seguida, foi adicionado 1,0 mL de uma solução compreendendo 70,0 U g<sup>-1</sup> de amiloglucosidase em tampão de acetato de sódio 100 mM pH 4,5. Após isso, as amostras foram incubadas por 30min a 50 °C e foi feita a centrifugação (10.000 × g por 2 min). Depois, o amido foi dosado quantificando a glicose liberada no processo conforme a metodologia proposta por Miller (1959).

Em concordância com a descrição de Nadiha et al. (2010) e McGrance et al. (1998), o teor de amilose foi analisado utilizando 10 g de amido juntamente a 2 mL de DMSO que em seguida foi aquecido a temperatura de 85°C durante 15min. Foi adicionada água deionizada para completar o volume da solução para 25 mL, depois o processo de pipetagem foi realizado usando 1 mL da solução de amido para um balão volumétrico com a capacidade de 50 mL, seguido da adição de 5mL de solução de iodo para completar 50 mL. Dissolvendo-se o iodeto de potássio (20g) e o iodo ressublimado (2g) em 100 mL de água foi preparado o reagente de iodo. A determinação da absorbância da amostra ocorreu em um comprimento de onda de 620 nm. Ambos os parâmetros foram expressos em g 100g<sup>-1</sup> de amido em base seca.

#### 4.3.2 Cor

A escala de cores CIELAB (CIELAB L\*, a\*, b\*) foi escolhida para a medição da cor do amido. O registro dos valores de cor se baseou na média dos valores de cinco fotografias, onde os parâmetros variam de L\* = brilho (0 = preto, 100 = branco), a\* (-a\* = verde, +a\* = vermelho) e b\* (-b\* = azul, +b\* = amarelo).

A cor do amido foi determinada através da medição das coordenadas L\* (lightness), a\* (redness) e b\*(yellowness), por meio de colorímetro digital (Minolta®, modelo CR400 (MINOLTA, 2007). Para a leitura foram fixadas as seguintes condições: iluminante C, ângulo de visão 8°, ângulo padrão do observador 10°, especular incluída, conforme especificações da Comissão Internationale de L'éclairage (CIE, 1986). O instrumento, antes da realização das leituras, foi calibrado em placa de cerâmica branca (Iluminante C: Y= 92,84 X=0,3136, y=0,3201).

#### 4.3.3 Rendimento de Extração

O rendimento da extração foi estabelecido a partir da razão entre o peso do amido e o peso da semente, ambos expressos em base seca utilizando a Equação (1):

$$Y = \frac{W_{db}}{W_t} \times 100 \quad (1)$$

Y equivale ao rendimento da extração, W<sub>db</sub> ao peso do amido dos grãos em base seca (g), e W<sub>t</sub> ao peso dos grãos (g).

#### 4.3.4 Compostos Fenólicos por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC)

Os compostos fenólicos foram obtidos através da utilização de 0,1 g de amido diluído em 5 mL da solução de ácido acético e etanol (1,5:1). Houve filtragem através de uma membrada de 0,22  $\mu\text{m}$  seguida de análise por HPLC usando-se o SPD-10AV-VP (UV -detector VIS, Shimadzu). Foi feita a separação em coluna Shim-Pack CLC-ODS C18 (4,6 mm x 15 cm) a temperatura de 25°C, com fase móvel drenando o fluxo de 0,6 mL min<sup>-1</sup> durante 17 min. Quanto à composição da fase móvel, foi constituída por ácido acético a 1% (v/v) e etanol (1,5:1) (fase A) e acetonitrila grau HPLC (fase B). Ao sistema foi aplicado um volume de 20  $\mu\text{L}$  das amostras, e a corrida ocorreu utilizando os seguintes gradientes: de 100% a 70% da fase A (0-5 min), seguido de 70% a 30% da fase A (5-10 min) e 30% a 0% da fase A (10-12 min). Finalmente, a corrida terminou após 5 min com 0% de fase A. A solubilização dos padrões foi feita em ácido acético e etanol (1,5:1).

$$AC = 3.10 \times 10^{-5} \times A$$

$$P = 2.69 \times 10^{-5} \times A$$

$$Q = 4.67 \times 10^{-5} \times A$$

#### 4.3.5 Análises Funcionais dos Amidos

##### 4.3.5.1 Capacidade de absorção de água

A capacidade de absorção de água foi determinada a partir do método de Beuchat (1977), no qual se usou 1 g de amido com 10 mL de água destilada. A homogeneização ocorreu por 30 min sendo mantida em suspensão por mais 30 min. Posteriormente, cada amostra passou pelo processo de centrifugação (VitchLab - K14-5000M) durante 15 min a 3000 g. A absorção foi calculada de acordo com a equação (2):

$$CAA = \left( 1 - \frac{M_s}{M_s + M_w - E_w} \right) \times 100 \quad (2)$$

CAA representa a capacidade de absorção de água expresso em (g 100g<sup>-1</sup>), Ms é a massa inicial do amido em base seca (g), Mw é a massa de água (g) e Ew é a massa de água em excesso (g).

##### 4.5.3.2 Capacidade de absorção de óleo

Foi feita uma combinação de 1g de amido de arroz com 10 mL de óleo de girassol em tubos de centrifugação. As amostras foram mantidas a 24°C, agitadas manualmente durante 5min e depois centrifugadas (SOLAB – MODELO SL706) a 15 000 × g durante 15min. Após esse processo, houve a retirada e pesagem do excesso de óleo. O cálculo da quantidade de óleo retida por grama de amostra foi feito de acordo com a equação (3) (BEUCHAT, 1997):

$$CAO = \left( 1 - \frac{Ms}{Ms+Mo-Eo} \right) \times 100 \quad (3)$$

Na qual: CAO corresponde a capacidade de absorção do óleo expresso em (g. 100g<sup>-1</sup>), Ms é a massa inicial do amido em base seca (g), Mo é a massa de óleo (g) e Eo equivale à massa de óleo em excesso (g).

#### 4.5.3.3 Índice de absorção de leite integral e zero lactose (IAL)

O amido (2,5g) foi acrescentado a 30 mL de leite à temperatura de 25 ± 2°C durante 30min e depois centrifugada em 3000 × g durante 15min (SOLAB – MODELO SL706). Logo após o processo de centrifugação, houve a transferência do sobrenadante para uma placa de Petri de massa conhecida e depois pelo processo de pesagem. O índice de absorção do leite, que corresponde a massa do gel obtido após a remoção do sobrenadante, foi adquirido pela equação (4) (ANDERSON et al., 1969):

$$IAL = \left( 1 - \frac{Ms}{Ms+Mrg-Msu} \right) \times 100 \quad (4)$$

Sendo IAL o índice de absorção de leite (g. 100g<sup>-1</sup>), Ms corresponde a massa do amido em base seca (g), Mrg a massa do resíduo de centrifugação (g) e Msu a massa sobrenadante (g).

#### 4.5.3.4 Índice de sinérese

A determinação do índice de sinérese ocorreu conforme a metodologia proposta por Farnsworth et al. (2006). Foram preparadas pastas de amido na proporção de 10% (amido/água) (p/v) a uma temperatura de 80°C durante 12min, controlando a temperatura com banho termostático (LaborgLas ALPHA A12). As amostras passaram 72h

armazenadas a 7°C e posteriormente houve a centrifugação de 15g (VitchLab - K14-5000M) a 3000 g durante 10min. A análise foi executada em triplicata e o índice de sinérese vai ser calculado segundo a equação (5).

$$\text{Sinérese}(\%) = \frac{m_f}{m_i} \times 100 \quad (5)$$

Em que  $m_f$  corresponde a massa de água separada do gel após a centrifugação (g) e  $m_i$  é a massa inicial do gel (g).

## 4.6 ANÁLISE ESTRUTURAL DOS AMIDOS

### 4.6.1 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FT-IR)

Para obtenção dos espectros de FT-IR na região de 650-4500  $\text{cm}^{-1}$  foi utilizado o equipamento Cary 630 (Agilent Technologies), com resolução de 4,0  $\text{cm}^{-1}$  e 32 scans (Wang et al., 2020). Para deconvoluir os picos de FT-IR foi utilizado a função gaussiana e a razão entre as bandas em 1047  $\text{cm}^{-1}$ , 1022  $\text{cm}^{-1}$  e 995  $\text{cm}^{-1}$  foi realizada registrando a altura da absorbância com o objetivo de caracterizar a ordem molecular (GUO et al., 2018).

### 4.6.2 Difração de Raios-X (XRD)

O processo de determinação dos padrões cristalográficos de raios X das amostras ocorreu com o auxílio de um difratômetro de raios X (Shimadzu-XRD-7000) equipado com radiação Cu-Ka ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ) a 80 mA e 40 kV. Foi realizada uma varredura no passo de 0,02°, com tempo de contagem de 2 ss do 10° ao 40° em temperatura ambiente. Pretendendo convoluir o difratograma e revelar a área amorfa foi utilizada a função de resposta gaussiana. Logo após, a cristalinidade das amostras foi estabelecida pelo método de área usando a Equação (6) (FERRAZ et al., 2019):

$$IC(\%) = \frac{A_c}{A_t} \times 100 \quad (6)$$

Em que IC representa o índice de cristalinidade,  $A_c$  a área cristalina abaixo dos picos e  $A_t$  é a área total.

## **4.7 ANÁLISE MORFOLÓGICA**

### **4.7.1 Micrografias Eletrônicas de Varredura (SEM)**

Foram analisadas as amostras antes e depois da modificação enzimática pela micrografia eletrônica de varredura (Shimadzu, Superscan SSX-550). As amostras estavam dispersas de maneira uniforme na mesa de amostras à qual uma fita condutora de carbono duplamente adesiva foi fixada e coberta por uma fina camada de ouro. Houve a utilização da ampliação de 500x com um potencial de aceleração de 10 kV e a medição do tamanho dos grânulos foi realizada com a ajuda do Software Image J (available as freeware from <http://rsbweb.nih.gov/ij/>).

### **4.7.2 Perfil de Textura**

A preparação das pastas de amido de arroz vermelho ocorreu com a proporção de (1:10) amido-água que foram aquecidas a uma temperatura de  $80 \pm 2^\circ\text{C}$  até que se formaram as pastas em cerca de 30min. Houve o armazenamento das amostras à temperatura de  $8^\circ\text{C}$  no refrigerador (Brastemp BRM44) por 24h, as quais logo após foram colocadas em temperatura ambiente ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ) e examinadas utilizando o método TPA que associa os parâmetros texturais com a análise sensorial (Almeida et al., 2021a). Para determinar a textura das pastas de amido utilizou-se texturômetro (Stable Micro Systems, TA-XT PLUS), com porta amostras de diâmetro de 50 mm e altura de 40 mm. Houve a compressão dos amidos duas vezes a 40% numa velocidade de 2 mm/seg. O cálculo dos valores de coesividade, gomosidade, firmeza e elasticidade foi feito a partir das parcelas de força-por-tempo obtidas (LIU et al., 2015).

## **4.8 PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA BEBIDA LÁCTEA FERMENTADA USANDO OS AMIDOS MODIFICADOS COMO ESPESSANTE**

### **4.8.1 Obtenção de Soro**

Para obtenção do soro de leite bovino, foi feito o processamento do queijo coagulado com coalho, conforme apresentado por Florentino (1997), contando com algumas alterações. Foram utilizados o coagulante Hannilase (Chr. Hansen, Valinhos, Brasil), o leite pasteurizado integral (Betânia), acrescentados seguindo as instruções do fabricante, e o cloreto de cálcio (Neon Comercial, São Paulo, Brasil,  $0,25 \text{ g L}^{-1}$  leite).

Inicialmente, houve o aquecimento do leite a uma temperatura de 34-37 °C para que se obtivesse o acréscimo com agitação dos outros ingredientes. Em seguida, o leite foi mantido em repouso por cerca de 45min até que a coagulação fosse concluída, cortando-se então a coalhada. Períodos subsequentes de agitação e repouso da coalhada foram realizados para que posteriormente fosse feita a drenagem do soro e conformação do queijo. Sacos plásticos de náilon foram utilizados para o acondicionamento do soro, que foi armazenado a -18°C até a sua utilização.

#### **4.8.2 Produção de Bebidas Lácteas Fermentadas**

Na produção da bebida láctea foi utilizada a cultura de *Streptococcus thermophilus* TA40 (Danisco DuPont). Primeiramente, houve o pré-tratamento térmico do soro à temperatura de 85°C durante 5min com o objetivo de inativar o coagulante enzimático. Para se obter a base láctea, foi feita uma mistura de leite em pó desnatado (Betânia, 80 g kg<sup>-1</sup>) e leite pré-tratado (840 g kg<sup>-1</sup>) com sacarose (80 g kg<sup>-1</sup>) que foi tratada termicamente a uma temperatura de 85°C durante 30min, conforme a metodologia de Almeida Neta et al. (2019).

As culturas de *S. thermophilus* TA40 (0,03 g kg<sup>-1</sup>) foram acrescentadas quando as bases lácteas atingiram 40°C. Estas bases foram mantidas na estufa a uma temperatura de 43 ± 2 °C até pH 5,0. Ao fim da fermentação, para a formulação controle (SC) foi acrescentada a base láctea (900 g kg<sup>-1</sup>), pectina (17,5 g kg<sup>-1</sup>) e ácido láctico (4,8 g kg<sup>-1</sup> bebida final). Já para as formulações testes foi usada, respectivamente, a mesma concentração de amido de arroz preto e amido de arroz vermelho, nativos e modificados, no lugar da pectina (2,80 g 100g<sup>-1</sup>), esse valor foi definido por meio da metodologia descrita por Araújo & Gusmão, (2020), como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Porcentagem de 2,80 g 100g<sup>-1</sup> de amido

<b>Ingredientes (g 100g<sup>-1</sup>)</b>	<b>F1 (comercial)</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>
Base láctea	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
Ácido láctico	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
Açúcar Cristal	7.77	6.72	6.72	6.72	6.72
Pectina	1.75	-	-	-	-
Amido nativo de arroz preto (AP)	-	2.80	-	-	-
Amido modificado de arroz preto (AP <sub>HMT</sub> )	-	-	2.80	-	-
Amido nativo de arroz vermelho (AV)	-	-	-	2.80	-
Amido modificado de arroz vermelho (AV <sub>HMT</sub> )	-	-	-	-	2.80
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fonte: Autor, 2023.

Com o objetivo de avaliar outras proporções de amido nativo e modificado nas formulações, valores inferiores e superiores ao padrão foram testados, sendo: 2,50 g 100g<sup>-1</sup> apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Porcentagem de 2,50g 100g<sup>-1</sup> de amido

<b>Ingredientes (g 100g<sup>-1</sup>)</b>	<b>F6</b>	<b>F7</b>	<b>F8</b>	<b>F9</b>
Base láctea	90.00	90.00	90.00	90.00
Ácido láctico	0.48	0.48	0.48	0.48
Açúcar Cristal	7.02	7.02	7.02	7.02
Pectina	-	-	-	-
Amido nativo de arroz preto (AP)	2.50	-	-	-
Amido modificado de arroz preto (AP <sub>HMT</sub> )	-	2.50	-	-
Amido nativo de arroz vermelho (AV)	-	-	2.50	-
Amido modificado de arroz vermelho (AV <sub>HMT</sub> )	-	-	-	2.50
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fonte: Autor, 2023.

O valor superior de 3,10 g 100g<sup>-1</sup> foi testado, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3. Porcentagem de 3,10 (g 100g<sup>-1</sup>) de amido

<b>Ingredientes (g 100g<sup>-1</sup>)</b>	<b>F10</b>	<b>F11</b>	<b>F12</b>	<b>F13</b>
Base láctea	90.00	90.00	90.00	90.00
Ácido láctico	0.48	0.48	0.48	0.48
Açúcar Cristal	6.42	6.42	6.42	6.42
Pectina	-	-	-	-
Amido nativo de arroz preto (AP)	3.10	-	-	-
Amido modificado de arroz preto (AP <sub>HMT</sub> )	-	3.10	-	-
Amido nativo de arroz vermelho (AV)	-	-	3.10	-
Amido modificado de arroz vermelho (AV <sub>HMT</sub> )	-	-	-	3.10
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fonte: Autor, 2023.

Em potes plásticos individuais com tampa, de elevada densidade de polipropileno, foram acrescentadas porções de 100 g de produtos lácteos resultantes, em triplicata para cada formulação.

### 4.8.3 Caracterização da Bebida Láctea

As formulações de bebida láctea foram caracterizadas quanto a cor, índice de sinérese e textura, já mencionadas no item 4.7.2.

#### 4.8.3.1 Composição centesimal

As análises de teor de água, cinzas, proteínas e lipídeos foram realizadas seguindo a metodologia descrita nos itens nº 950.46A, 920.153 e 928.08, respectivamente, pela AOAC (2010), enquanto os carboidratos totais foram dosados por diferença.

## 4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada por meio do software Statistica (versão 7.0); o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) foi utilizado para determinar as diferenças significativas entre os valores médios (StatSoft Co., EUA, 2007). Os resultados foram apresentados como média  $\pm$  desvio padrão. Todas as análises quantitativas foram realizadas em triplicada.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DE ARROZ PRETO E VERMELHO

A avaliação física e química, relacionada aos parâmetros de cor, rendimento de extração, teor de amido e amilose, podem ser observados na Tabela 4. Os resultados da análise de cor, revelaram diferenças significativas entre as formulações de amido de arroz preto (AP) e vermelho (AV). Em relação à luminosidade ( $L^*$ ), foi possível constatar no amido AP valor médio de 62.71, indicando uma tonalidade mais escura, enquanto no amido AV valor médio de 71.16, indicando uma tonalidade mais clara. Quanto à croma  $a^*$ , observou-se no amido AP valor médio de 4.92, enquanto um valor médio de -0.78 para o AV, indicando uma tonalidade mais vermelha para o amido AP. Por outro lado, se obteve valores médios de 6.52 na croma  $b^*$  para o amido AP e 10.16 para o amido AV, indicando diferenças na tonalidade amarelo/azul entre as formulações.

Tabela 4. Avaliação física e química da bebida láctea utilizando amido nativo e modificado

Formulações	Rendimento de extração (%)	Amido (g 100g <sup>-1</sup> )	Amilose (g 100g <sup>-1</sup> )	Cor
AP	52.06 ± 1.14 <sup>A</sup>	82.06 ± 0.54 <sup>A</sup>	12.11 ± 0.55 <sup>B</sup>	L 62.71 ± 5.28 <sup>B</sup> a* 4.92 ± 0.08 <sup>B</sup> b* 6.52 ± 0.12 <sup>C</sup>
AP <sub>HMT</sub>	44.31 ± 1.21 <sup>B</sup>	73.05 ± 0.62 <sup>B</sup>	9.39 ± 0.28 <sup>D</sup>	L 28.11 ± 2.14 <sup>D</sup> a* 10.04 ± 1.03 <sup>A</sup> b* 6.84 ± 0.91 <sup>C</sup>
AV	49.11 ± 0.98 <sup>C</sup>	81.12 ± 1.06 <sup>A</sup>	15.46 ± 0.59 <sup>A</sup>	L 71.16 ± 2.62 <sup>A</sup> a* -0.78 ± 0.40 <sup>C</sup> b* 10.16 ± 0.15 <sup>B</sup>
AV <sub>HMT</sub>	41.07 ± 1.31 <sup>D</sup>	69.65 ± 0.86 <sup>C</sup>	10.87 ± 0.67 <sup>C</sup>	L 52.88 ± 9.33 <sup>C</sup> a* 4.64 ± 0.65 <sup>B</sup> b* 20.00 ± 1.19 <sup>A</sup>

Nota: Letras maiúsculas sobrescritas iguais na mesma coluna indicam que os valores não diferiram significativamente segundo o teste de Tukey ( $p > 0.05$ ). AP - Amido nativo de arroz preto; AP<sub>HMT</sub> - Amido modificado de arroz preto; AV - Amido nativo de arroz vermelho; AV<sub>HMT</sub> - Amido modificado de arroz vermelho. Fonte: Autor, 2023.

Pôde-se observar diferença entre os valores de luminosidade dos produtos, a qual pode ser oriunda da coloração dos amidos (Figura 5). Na Figura 5 é possível observar os diferentes tons de cor dos amidos obtidos do arroz com e sem tratamento. Quanto mais escura a coloração, maior a influência direta em parâmetros como a luminosidade nas formulações derivadas da matéria-prima utilizada. Essa diferenciação de cor entre os amidos encontrados em arroz vermelho e preto é decorrente da presença de compostos fenólicos que configuram a coloração do próprio arroz.

Em relação ao rendimento de extração de amido, observa-se que houve diferenças significativas entre as formulações. No amido de arroz preto (AP) houve maior

rendimento de extração ( $52.06 \pm 1.14\%$ ), seguido pelo amido de arroz vermelho (AV) ( $49.11 \pm 0.98\%$ ). Já o amido de arroz preto modificado ( $AP_{HMT}$ ) e o amido de arroz vermelho modificado ( $AV_{HMT}$ ) tiveram rendimentos inferiores ( $44.31 \pm 1.21\%$  e  $41.07 \pm 1.31\%$ , respectivamente). Essas variações no rendimento podem estar relacionadas às características intrínsecas dos grãos de arroz e ao processamento que foi submetido. Segundo Silva, Da Costa e Garcia-Rojas (2017) o amido presente no arroz em geral é de aproximadamente 90%, atendendo aos valores estabelecidos para o amido nativo de arroz preto e vermelho.

Com relação ao teor de amilose, os valores foram baixos variando de  $9.39 \pm 0.28$  e  $15.46 \pm 0.59$ . Se é estabelecido que o teor de amilose classifica o amido em ceroso (0 – 5%), muito baixo (5 – 12%), baixo (12 – 20%), intermediário (21 – 25%) e alto (>25%). Assim, foram encontrados valores de 12,11% (AP), 9,39% ( $AP_{HMT}$ ), 15,46% (AV) e 10,87% ( $AV_{HMT}$ ), configurando os amidos nativos e modificados como baixo, muito baixo, baixo e muito baixo, respectivamente (FRASSON 2022; WANG & WANG 2004). Além do mais, Frasson (2022) e Wang e Wang (2004) encontraram um rendimento para extração de amido de arroz no valor de 60,35%, 79,8% e 86,7%, próximo ao valor de AP, mas superior as demais formulações estabelecidas neste estudo.

De acordo com Ramli, Salleh, Tajarudin e Zulkurnain (2021) e Kumar et al. (2022) a redução do teor de amilose em arroz, como observado neste estudo, podem ser atribuídas ao processo de aplicação de calor-umidade de forma simultânea. Além do mais, outros autores como Cheng et al. (2019) associam essa redução com a interação entre moléculas de lipídeo com a amilose durante o processo de umidade atribuído para a modificação do amido, uma vez que durante a obtenção do amido não houve desengorduramento das amostras.

Esses resultados destacam a predominância da amilopectina nos amidos de arroz preto e vermelho utilizados nesta pesquisa, pois a proporção relativamente alta de amilopectina em relação à amilose influencia as propriedades funcionais desses amidos, tais como capacidade de gelatinização, estabilidade de textura e espessamento. Essas características são relevantes tanto para aplicações na indústria alimentícia, contribuindo para a textura e consistência de diversos produtos, quanto para outras indústrias que se beneficiam das propriedades reológicas do amido (DENARDIN, 2008).

Figura 6. Amido aplicado às bebidas lácteas.



Nota: A) amido de arroz preto nativo, B) amido de arroz preto modificado por HMT, C) amido de arroz vermelho nativo e D) amido de arroz vermelho modificado por HMT. Fonte: Autor, 2023.

Esses resultados confirmam as diferenças nas propriedades de cor dos amidos de arroz preto e vermelho, destacando seus potenciais aplicações em diversas indústrias que exigem características específicas de cor em seus produtos. Essas diferenças podem ser atribuídas à composição química e às características intrínsecas dos grãos de arroz preto e vermelho, bem como às condições de processamento utilizadas para obter os amidos. Além do mais, a coloração do amido do arroz pode estar diretamente ligada com o grão de origem a partir da quantidade a mineral e ácido fítico presente, por exemplo (LAMBERTS et al., 2008). Os diferentes valores de luminosidade e das cromas  $a^*$  e  $b^*$ , estão relacionadas as condições de obtenção das amostras (FALADE et al., 2014). Maiores valores para a cromas  $a^*$  (vermelho) indicam uma coloração mais escura para amostra. Já para a cromas  $b^*$  uma tendência ao amarelo, oriundo da presença de betacaroteno (CASTRO, 2014).

## 5.2 COMPOSTOS FENÓLICOS DO AMIDO DE ARROZ PRETO E VERMELHO COM E SEM TRATAMENTO TÉRMICO

Os compostos fenólicos são naturalmente encontrados no arroz. Algumas variedades de arroz, como o vermelho e preto, podem possuir alguns desses compostos em maiores proporções decorrentes das modificações genéticas decorrentes de seu desenvolvimento. A Tabela 5 demonstra a variação de compostos com propriedades bioativas presentes nos amidos de arroz vermelho e preto.

Tabela 5. Compostos fenólicos do arroz preto e vermelho, nativos e modificados

Formulações	Ácido Gálico (mg de ácido gálico L <sup>-1</sup> )	Proantocianidinas (mg de catequina L <sup>-1</sup> )	Quercetina (mg de quercetina L <sup>-1</sup> )
AP	2.49 ± 0.19 <sup>A</sup>	0.71 ± 0.06 <sup>C</sup>	2.96 ± 0.12 <sup>A</sup>
AP <sub>HMT</sub>	1.52 ± 0.17 <sup>B</sup>	0.48 ± 0.04 <sup>D</sup>	2.58 ± 0.09 <sup>B</sup>
AV	0.91 ± 0.09 <sup>C</sup>	1.37 ± 0.10 <sup>A</sup>	1.95 ± 0.18 <sup>C</sup>
AV <sub>HMT</sub>	0.63 ± 0.11 <sup>D</sup>	1.02 ± 0.05 <sup>B</sup>	1.20 ± 0.11 <sup>D</sup>

Nota: Letras maiúsculas sobrescritas iguais na mesma coluna indicam que os valores não diferiram significativamente segundo o teste de Tukey ( $p > 0.05$ ). AP - Amido nativo de arroz preto; AP<sub>HMT</sub> - Amido modificado de arroz preto; AV - Amido nativo de arroz vermelho; AV<sub>HMT</sub> - Amido modificado de arroz vermelho.

Fonte: Autor, 2023.

Há diferença entre as variedades de arroz nativos e modificados por HMT em todos os compostos fenólicos encontrados, ácido gálico, proantocianidinas e quercetina (Tabela 5). Foi possível observar que os amidos nativos de AP e AV, após o processamento com HMT, demonstraram redução da quantidade destes compostos.

Em relação ao ácido gálico, encontrou-se, para os amidos nativos de arroz preto (AP) e vermelho (AV), valores mais elevados, com  $2.49 \pm 0.19$  mg de ácido gálico L<sup>-1</sup> e  $0.91 \pm 0.09$  mg de ácido gálico L<sup>-1</sup>, respectivamente. Por outro lado, observou-se para os amidos modificados por HMT (AP<sub>HMT</sub> e AV<sub>HMT</sub>) valores mais baixos, com  $1.52 \pm 0.17$  mg de ácido gálico L<sup>-1</sup> e  $0.63 \pm 0.11$  mg de ácido gálico L<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses resultados indicam que o processamento por HMT resultou em uma redução significativa na quantidade de ácido gálico nos amidos. Os valores de ácido gálico obtidos neste estudo estão em concordância com pesquisas anteriores que também relataram níveis semelhantes desse composto no arroz, a exemplo de Neves e Rosso (2019), que obtiveram valores de ácido gálico envolvendo arroz similares aos deste estudo, constados após a mudança na base de quantificação em mg de AG/ L, com 0,69 – 0,98 mg de ácido gálico por litro. De acordo com Peixoto (2019) os arrozes pretos e vermelhos possuem maior atividade antioxidante em sua composição devido aos teores de compostos fenólicos presentes. A presença destes compostos pode garantir o desenvolvimento de produtos

funcionais para o combate de radicais livres como proteção a danos oxidativos a nível celular.

No caso das proantocianidinas, pôde-se constatar para os amidos de arroz preto (AP e AP<sub>HMT</sub>) valores inferiores, com  $0.71 \pm 0.06$  mg de catequina L<sup>-1</sup> e  $0.48 \pm 0.04$  mg de catequina L<sup>-1</sup>, respectivamente. Já para os amidos de arroz vermelho (AV e AV<sub>HMT</sub>) observou-se valores mais elevados, com  $1.37 \pm 0.10$  mg de catequina L<sup>-1</sup> e  $1.02 \pm 0.05$  mg de catequina L<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses resultados demonstram diferenças significativas nas proantocianidinas entre os diferentes tipos de amido, indicando que o processamento por HMT pode afetar a presença desse composto. Os valores de proantocianidinas, se tornam coerentes, quando comparando ambos os amidos (preto e vermelho). Segundo Mackon et al. (2021) quanto maior a quantidade de proantocianidinas encontradas em uma matéria-prima vegetal, a exemplo do arroz, mais vermelho ele se torna.

No caso da quercetina, foi possível verificar nos amidos nativos de arroz preto (AP) e vermelho (AV) valores mais elevados, com  $2.96 \pm 0.12$  mg de quercetina L<sup>-1</sup> e  $1.95 \pm 0.18$  mg de quercetina L<sup>-1</sup>, respectivamente. Já para os amidos modificados por HMT (AP<sub>HMT</sub> e AV<sub>HMT</sub>) valores mais baixos, com  $2.58 \pm 0.09$  mg de quercetina L<sup>-1</sup> e  $1.20 \pm 0.11$  mg de quercetina L<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses resultados mostram que o processamento por HMT também resultou em uma redução na quantidade de quercetina nos amidos.

Esses dados indicam que a modificação por HMT afetou a presença de compostos fenólicos nos amidos de arroz preto e vermelho. A redução nos níveis de ácido gálico, proantocianidinas e quercetina nos amidos modificados pode ter implicações nutricionais e funcionais, uma vez que esses compostos têm propriedades bioativas. É importante considerar essas alterações ao utilizar os amidos de arroz preto e vermelho em aplicações alimentícias e industriais, levando em conta as propriedades dos compostos fenólicos e seus potenciais efeitos. Além disso, a redução na quantidade de quercetina nos amidos modificados por HMT está de acordo com estudos que mostram a diminuição desse composto em vegetais submetidos a processos de aumento de temperatura. Conforme pesquisa de Harnly et al. (2006) a quantidade de quercetina pode ser reduzida em vegetais com a aplicação de processos que envolvam o aumento da temperatura, os quais obtiveram valores entre 0,000 – 0,600 mg de quercetina por litro após cozimento, corroborando com os resultados de amidos modificados pelo processo de HMT em comparação com o amido nativo de arroz preto e vermelho. Logo, esses resultados

destacam a importância de considerar os compostos fenólicos ao utilizar os amidos de arroz preto e vermelho em aplicações alimentícias e industriais.

### 5.3 ANÁLISES FUNCIONAIS DOS AMIDOS OBTIDOS DO ARROZ PRETO E VERMELHO

No âmbito de análises tecnofuncionais do amido, características que envolvem sua incorporação com outros ingredientes passíveis de serem implantados em diferentes setores da indústria alimentícia, podem ser integradas em diferentes formulações de produtos. Observa-se na Tabela 6 que entre os tratamentos de amido nativo e modificado por HMT do arroz preto e vermelho, respectivamente, sofreu alterações em relação aos parâmetros de absorção de óleo, leite sem lactose e leite integral. Com exceção para as amostras de amido nativo de AP e AV, diante da absorção de água.

Tabela 6. Características de funcionalidade dos amidos de arroz preto e vermelho, nativos e modificados

Formulações	Absorção de água (g 100g <sup>-1</sup> )	Absorção de óleo (g 100g <sup>-1</sup> )	Absorção de leite sem lactose (g 100g <sup>-1</sup> )	Absorção de leite integral (g 100g <sup>-1</sup> )
AP	73.53 ± 0.26 <sup>A</sup>	63.55 ± 0.35 <sup>C</sup>	73.58 ± 0.16 <sup>B</sup>	73.93 ± 0.11 <sup>A</sup>
AP <sub>HMT</sub>	63.66 ± 0.11 <sup>C</sup>	72.12 ± 0.28 <sup>A</sup>	65.24 ± 0.31 <sup>D</sup>	64.31 ± 0.26 <sup>D</sup>
AV	74.01 ± 0.29 <sup>A</sup>	58.52 ± 0.11 <sup>D</sup>	74.24 ± 0.27 <sup>A</sup>	70.40 ± 0.32 <sup>C</sup>
AV <sub>HMT</sub>	70.01 ± 0.18 <sup>B</sup>	65.96 ± 0.26 <sup>B</sup>	70.57 ± 0.09 <sup>C</sup>	71.36 ± 0.19 <sup>B</sup>

Nota: Letras maiúsculas sobrescritas iguais na mesma coluna indicam que os valores não diferiram significativamente segundo o teste de Tukey (p>0.05). AP - Amido nativo de arroz preto; AP<sub>HMT</sub> - Amido modificado de arroz preto; AV - Amido nativo de arroz vermelho; AV<sub>HMT</sub> - Amido modificado de arroz vermelho.

Fonte: Autor, 2023.

Verifica-se, para o AP e o AV, resultados semelhantes em relação à absorção de água (73.53 e 74.01, respectivamente). Para o AP<sub>HMT</sub>, constatou-se uma menor absorção de água (63.66), enquanto para o AV<sub>HMT</sub> observa-se um valor intermediário (70.01). A aplicação de técnicas de modificação do amido, como HMT, podem interferir em características relacionadas ao índice de solubilidade e propriedades funcionais que envolvam absorção de água, gelificação e colagem (NAWAZ et al., 2020). A relação do teor de amilose encontrados nos amidos nativos e modificados, também está diretamente ligado à sua capacidade de absorção de água pelos grânulos, resultando em uma dificuldade de separação da proteína aderida ao amido (ZAVARESE, 2009). Segundo Oliveira et al. (2018) o amido nativo em comparação com o modificado, possui menor absorção de água a depender da matéria-prima, porém o amido quando modificado demonstra menor capacidade de absorção de produtos com alta taxa de lipídeos em sua composição.

O amido de arroz preto modificado por HMT ( $AP_{HMT}$ ) possui a maior absorção de óleo ( $72.12 \pm 0.28A$ ) entre as formulações. O amido de arroz vermelho nativo (AV) tem a menor absorção de óleo ( $58.52 \pm 0.11D$ ), enquanto, para o amido de arroz preto modificado por HMT ( $AV_{HMT}$ ) e o amido de arroz vermelho modificado por HMT ( $AV_{HMT}$ ), constata-se valores intermediários ( $65.96 \pm 0.26B$  e  $65.96 \pm 0.26B$ , respectivamente). Segundo Ravi & Sushelamma (2005), a absorção de óleo por um produto é dependente da quantidade de sítios apolares em sua estrutura. Assim, sendo possível observar que houve diminuição do índice de absorção de óleo das formulações de amido nativo de AP e AV em relação às formulações de amido modificado por HMT.

O amido nativo de arroz vermelho (AV) apresenta a maior absorção de leite sem lactose ( $74.24 \pm 0.27A$ ), seguido pelo amido nativo de arroz preto (AP) ( $73.58 \pm 0.16B$ ). O amido modificado de arroz preto ( $AP_{HMT}$ ) tem absorção de leite sem lactose menor ( $65.24 \pm 0.31D$ ), enquanto o amido modificado de arroz vermelho ( $AV_{HMT}$ ) um valor intermediário ( $70.57 \pm 0.09C$ ).

O amido nativo de arroz preto (AP) tem a maior absorção de leite integral ( $73.93 \pm 0.11A$ ), seguido pelo amido modificado de arroz vermelho ( $AV_{HMT}$ ) ( $71.36 \pm 0.19B$ ). Para o AV e o  $AP_{HMT}$ , observa-se valores intermediários ( $70.40 \pm 0.32C$  e  $64.31 \pm 0.26D$ , respectivamente). Levando em consideração a absorção de leite sem lactose e integral, torna-se relevante que processamentos envolvendo altas taxas de cisalhamento e com baixo teor de água, podem resultar em um material de fácil absorção de leite, oriundo do alongamento de dextrinização do amido. Corroborando com os resultados obtidos para os amidos nativos de arroz e  $AV_{HMT}$ . No entanto, em determinadas concentrações de amilose, como as observadas neste estudo para  $AP_{HMT}$ , o amido pode se tornar denso e duro, implicando em uma má absorção do leite (TAKEUCHI; SABADINI; CUNHA, 2005).

Em resumo, os resultados mostram que o amido de  $AP_{HMT}$  tem uma maior absorção de óleo em comparação aos outros amidos. O amido de AV tem maior absorção de leite sem lactose e leite integral, enquanto o amido de AP apresenta a maior absorção de água e leite integral. Já os amidos modificados ( $AP_{HMT}$  e  $AV_{HMT}$ ) possuem valores intermediários em várias características de funcionalidade. Esses resultados são relevantes para o desenvolvimento de produtos alimentícios com propriedades específicas, adaptadas às necessidades dos consumidores.

Observa-se, na Figura 7, que o amido de AV, em relação aos de AP,  $AV_{HMT}$  e  $AP_{HMT}$ , possui um índice de sinérese maior ao longo de 5 ciclos em torno de 40% em

relação aos demais. A Figura 7 demonstra o índice de sinérese dos amidos de arroz preto e vermelho (com e sem tratamento por HMT).

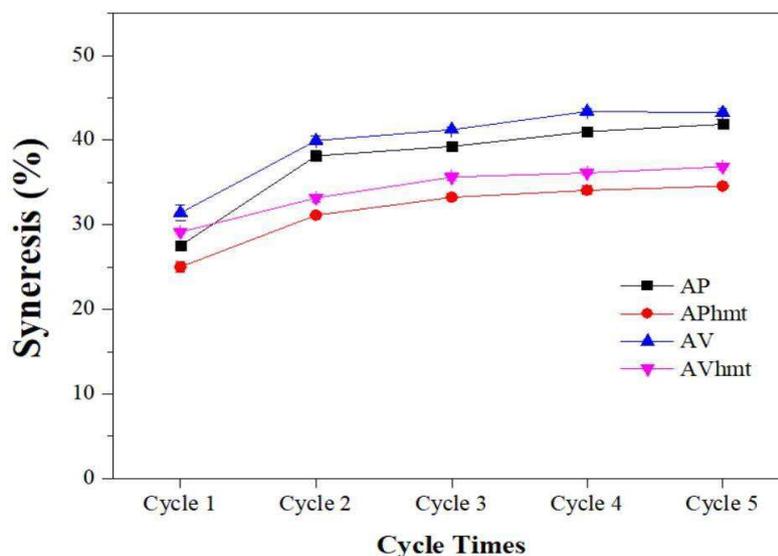


Figura 7. Índice de sinérese dos amidos de arroz preto e vermelho, nativo e modificado. AP - Amido nativo de arroz preto; AP<sub>HMT</sub> - Amido modificado de arroz preto; AV - Amido nativo de arroz vermelho; AV<sub>HMT</sub> - Amido modificado de arroz vermelho. Fonte: Autor, 2023.

O índice de sinérese está relacionado a reorganização da estrutura do amido durante a perda de água após o processo de gelatinização e a formação de cristais de amilopectina decorrente desta perda. Aspectos funcionais que envolvem a sinérese do amido se tornam importantes para avaliação de processos de retrogradação, no qual o amido libera água e contrai, formando uma massa mais densa e coesa. A sinérese é mais pronunciada em amidos com alto teor de amilose e cadeias longas de amilopectina.

O resultado demonstra que os amidos de AP, AV e AV<sub>HMT</sub> são mais propensos à retrogradação, devido à alta taxa de perda de água, principalmente da formulação AV, em torno de 40%. A sinérese ocorre principalmente entre as formações de amilose, que, quando acima de 100 unidades de glicose, possuem tendência a retrogradação, e cadeias longas de amilopectina (DENARDIN; SILVA, 2009).

Segundo Damodaran e Parkin (2019) quanto maior a concentração de amilose no amido, maior a propensão da ocorrência do fenômeno da sinérese. No entanto, a correlação entre a quantidade de amido/amilopectina, o rearranjo das duas moléculas e a presença de outros compostos, entre outros, podem promover a perda de água (expulsão de água – sinérese). A menor sinérese foi obtida pela formulação do amido de AP<sub>HMT</sub> (aproximadamente 30%). Esta característica confere ao produto um maior potencial de aplicação em produtos alimentícios que requerem um armazenamento sob refrigeração, fazendo com que percam menos água livre para o ambiente.

#### 5.4 ANÁLISE MORFOLÓGICA DOS AMIDOS DE ARROZ PRETO E VERMELHO

A Figura 8 mostra as fotomicrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos amidos de AP, AP<sub>HMT</sub>, AV e AV<sub>HMT</sub>, respectivamente, em A, B, C e D.

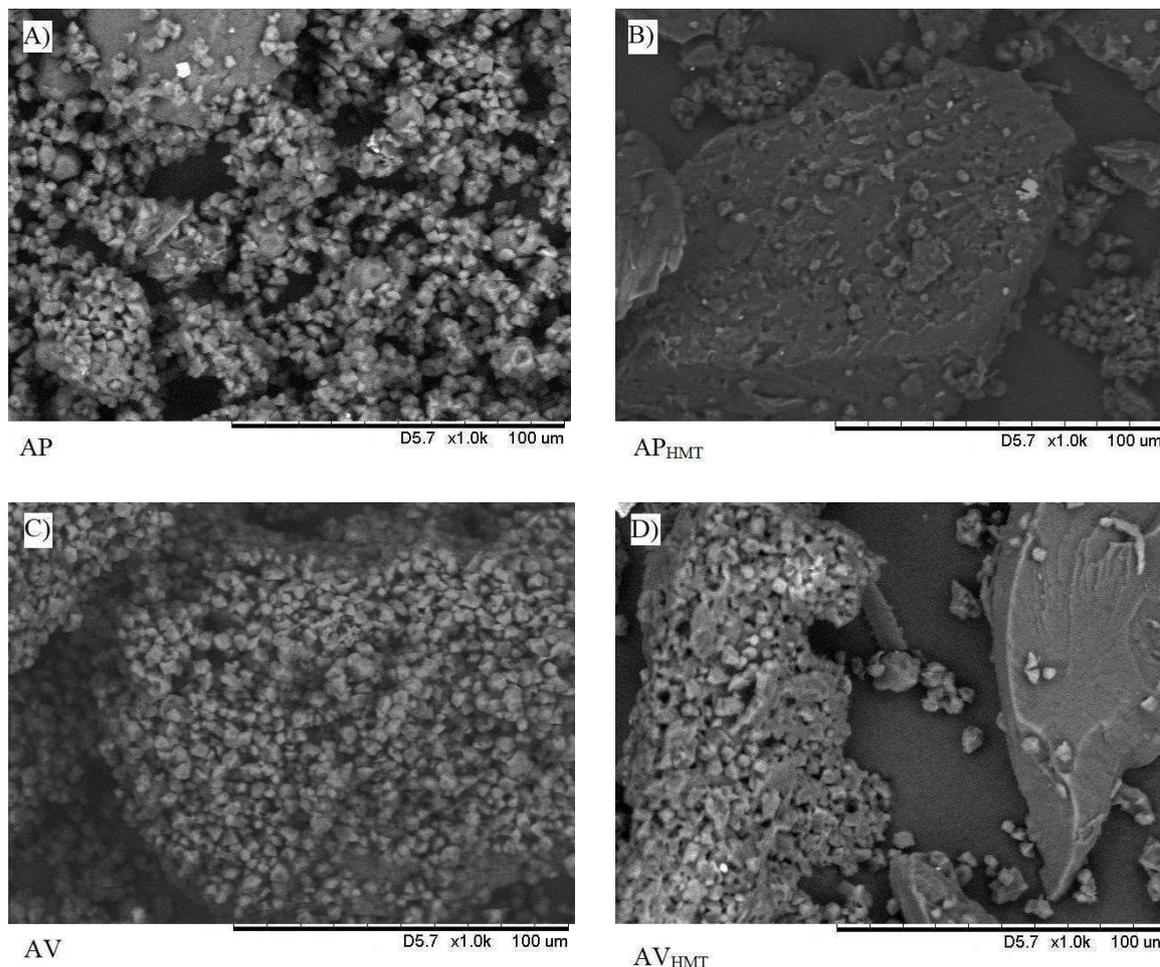


Figura 8. Micrografia da estrutura do amido de arroz preto e vermelho, nativo e modificado. AP - Amido nativo de arroz preto; AP<sub>HMT</sub> - Amido modificado de arroz preto; AV - Amido nativo de arroz vermelho; AV<sub>HMT</sub> - Amido modificado de arroz vermelho. Fonte: Autor, 2023.

Com relação à parte morfológica dos grânulos de amido de AP (Figura 8A) e AV (Figura 8C), estes possuem formas predominantemente ovais, elipsóides truncados e/ou hemisféricos em um tamanho característico de 100 micrômetros. No entanto, após o tratamento por HMT, observa-se que os amidos de AP e AV (Figura 8B e D) têm certa dispersibilidade dos grânulos e a formação de partes mássicas. Essas características indicam que o processo de modificação por HMT levou a uma maior fragmentação e ruptura dos grânulos de amido, resultando em uma estrutura menos compacta. É interessante notar que as mudanças estruturais são mais evidentes no AP<sub>HMT</sub>,

possivelmente devido à presença de uma quantidade menor de compostos fibrosos em sua composição em comparação ao  $AV_{HMT}$ .

De acordo com Tavares et al. (2012) o amido presente no arroz pode ser de caráter esponjoso e possuir formas indefinidas. Após o processo de obtenção do amido, nativo ou modificado, pode ser visualizado em sua composição material não amiláceo (Figura 8B e D).

Também se torna possível observar que os grânulos de amido de arroz preto e vermelho apresentam formação regular de suas formas (BELLO-PÉREZ et al., 2006). Sendo uma característica importante a ser constatada por MEV que pode ter efeito integrativo na reatividade do amido quando modificado, bem como nas suas características tecnológicas e biológicas. A existência de constituintes ao redor dos grânulos de amido, evidentes na Figura 8A, são relacionados às fibras aderidas ao amido antes do processo por HMT. Papadopoulo (2006) afirma que partículas heterodispersas podem ser observadas em grânulos de amido durante a análise por microscopia de varredura. Essas informações são relevantes para compreender as características estruturais e funcionais do amido e seu potencial de aplicação em diferentes produtos alimentícios. A Tabela 7 demonstra as análises físicas realizadas com os amidos de AP,  $AP_{HMT}$ , AV e  $AV_{HMT}$ .

Tabela 7. Análise física das estruturas de amido preto e vermelho, nativo e modificado

Formulações	Diâmetro médio ( $\mu\text{m}$ )	Cristalinidade Relativa (%)	IR (1022/1047)	IR (995/1022)
AP	1.81- 6.12	24.03 $\pm$ 0.13 <sup>A</sup>	1.39 $\pm$ 0.02 <sup>B</sup>	1.28 $\pm$ 0.01 <sup>B</sup>
$AP_{HMT}$	57.63 - 588.23	15.08 $\pm$ 0.39 <sup>C</sup>	1.34 $\pm$ 0.01 <sup>C</sup>	1.08 $\pm$ 0.03 <sup>C</sup>
AV	1.55 - 6.28	23.88 $\pm$ 0.19 <sup>A</sup>	1.45 $\pm$ 0.03 <sup>A</sup>	1.32 $\pm$ 0.01 <sup>A</sup>
$AV_{HMT}$	29.41 – 352.94	21.69 $\pm$ 0.32 <sup>B</sup>	1.33 $\pm$ 0.02 <sup>C</sup>	1.28 $\pm$ 0.01 <sup>B</sup>

Nota: Letras maiúsculas sobrescritas iguais na mesma coluna indicam que os valores não diferiram significativamente segundo o teste de Tukey ( $p > 0.05$ ). AP - Amido nativo de arroz preto;  $AP_{HMT}$  - Amido modificado de arroz preto; AV - Amido nativo de arroz vermelho;  $AV_{HMT}$  - Amido modificado de arroz vermelho; IR (1022/1047) / IR (995/1022) - Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier. Fonte: Autor, 2023.

Em relação ao diâmetro médio (Tabela 7) das partículas de amido, as amostras de amidos dos AP e AV apresentaram valores menores (1.81-6.12  $\mu\text{m}$  e 1.55-6.28  $\mu\text{m}$ , respectivamente), indicando partículas de tamanho mais reduzido. Por outro lado, para as amostras modificadas por HMT,  $AP_{HMT}$  e  $AV_{HMT}$ , verificou-se diâmetros médios maiores (57.63-588.23  $\mu\text{m}$  e 29.41-352.94  $\mu\text{m}$ , respectivamente). Esses resultados sugerem que o processo de modificação por HMT resultou em partículas de amido de maior tamanho. Segundo Fennema (2000) o diâmetro médio do grânulo de amido presente no arroz é de até 5  $\mu\text{m}$  a depender do tipo de arroz. Tornando-se evidente que os valores encontrados para os diâmetros de amido para AV e AP condizentes com a literatura. Foi encontrado

por Domenez (2016) valores semelhantes de amido nativo e modificado para arroz por *annealing* (28,12 e 28,61%, respectivamente). A cristalinidade relativa proporciona a observação de novas ligações entre as moléculas de glicose que formam a amilose e amilopectina, podendo resultar em uma maior cristalinidade (GOMES; SILVA; RICARDO, 2005). A diferença encontrada entre os resultados de amidos nativos e modificados, indicam que ao aplicar HMT, pode ter ocorrido um aumento na quantidade de cristalinos (WANG et al., 2014).

Já com relação aos valores obtidos para IR (1022/1047), os amidos AP<sub>HMT</sub> AV<sub>HMT</sub> não diferiram estatisticamente, com relação a AP e AV. Demonstrando que grupos funcionais e as ligações químicas que constituem o amido modificado do arroz se mantiveram constantes. No entanto, ao relacionar comprimentos de onda em 995/1022, tanto os amidos nativos como os modificados diferiram entre si (Tabela 7). Ao comparar os valores de IR (1022/1047) e IR (995/1022), nota-se diferenças entre as amostras. Esses resultados indicam que o processo de modificação por HMT pode levar a alterações na estrutura molecular do amido.

O IR em comprimentos de onda de 1022/1047 e 995/1022, propicia a observação de regiões de maior opacidade do amido ocasionada pela formação dos cristais formados no processo de retrogradação que afetam diretamente o seu IR (ALMEIDA, 2020). Além do mais, segundo Denardin & Silva (2009), quando o amido passa pelo processo de gelatinização e sofre retrogradação, o processo de perda de água faz com que as ligações de hidrogênio se tornem mais fortes em uma tentativa de reassociação da estrutura do carboidrato.

## 5.5 ANÁLISE ESTRUTURAL DOS AMIDOS DE ARROZ PRETO E VERMELHO

Fica evidenciado, na Figura 9, que nos perfis de DRX das amostras de amido de arroz exibem diagramas do tipo A, comumente encontrados em amidos de cereais. A Figura 9 demonstra os difatogramas de difração de raios-x do amido de arroz nativo e modificado por HMT.

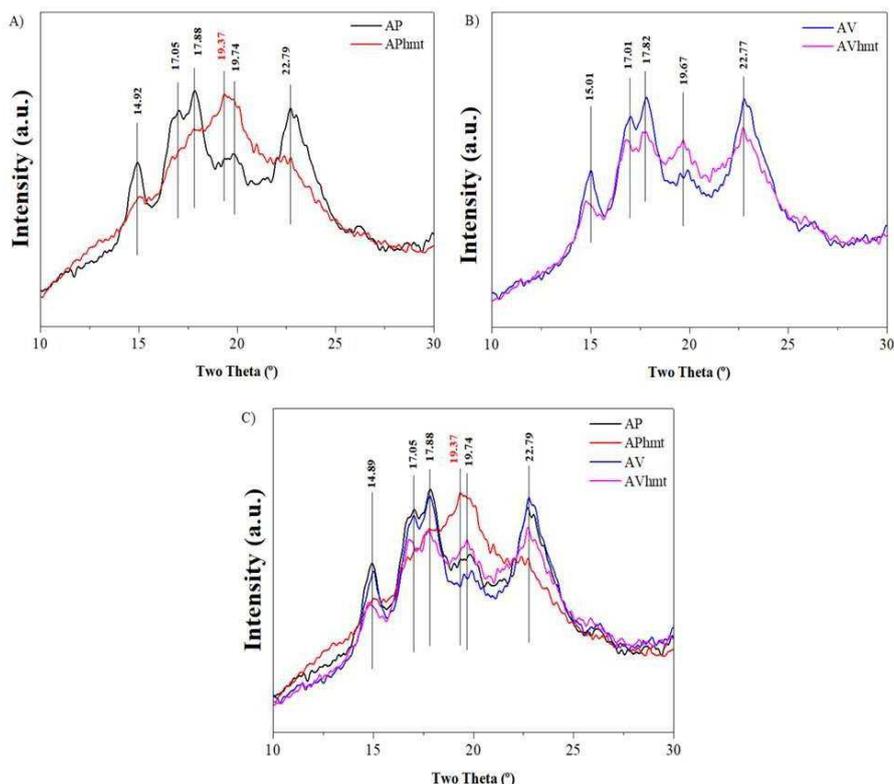


Figura 9. DRX do amido de arroz preto e vermelho, nativo e modificado.

AP - Amido nativo de arroz preto; AP<sub>HMT</sub> - Amido modificado de arroz preto; AV - Amido nativo de arroz vermelho; AV<sub>HMT</sub> - Amido modificado de arroz vermelho.

Fonte: Autor, 2023.

De acordo com a literatura, a partir de dados de cristalinidade, o amido pode ser diferenciado em categorias A, B e C, onde A e B são encontrados em cereais e C a mistura dos anteriores em tubérculos, sementes e leguminosas (FREITAS, 2010). Segundo Fonseca et al. (2021) difatogramas que esboçam espectros do tipo A, demonstram picos de intensidade de refração em ângulos a  $2\theta$  a 15, 17, 18 e 23° que são evidentes no amido encontrados em cereais, cujas refrações também podem ser observadas na Figura 9. Como evidenciado por Yang et al. (2019), os efeitos hidrotérmicos promovem a ruptura intra e intermoleculares nos grânulos de amido, configurando em alterações do amido e redução do empacotamento molecular. A cristalinidade é construída a partir da amilopectina

presente nos grânulos de amido constituída por longas cadeias de polissacarídeos ligadas por pontes de hidrogênio (YANG et al., 2019).

É possível observar que a intensidade entre as bandas presentes nos difatogramas da Figura 9 apresentam diferenças a depender do amido estudado (nativo ou modificado). Estas diferenças são evidenciadas em faixas de bandas em torno de 15 ° e 20 ° em ambos os amidos de arroz preto e vermelho, respectivamente. Verifica-se que, os amidos modificados AP<sub>HMT</sub> e AV<sub>HMT</sub> têm maiores diferenças de intensidade dos picos dentro da faixa de 20 °, com o AP<sub>HMT</sub> em maior espectro de absorção em relação as demais amostras.

Nota-se que os grânulos de amido nativo possuem diâmetros menores quando comparados com sua estrutura modificada, provenientes de sua gelatinização, sendo AP<sub>HMT</sub> com maior dispersabilidade desses grânulos. Relacionando os dados de cristalinidade relativa (CR) (Tabela 7), observa-se que os amidos de AP e AV não diferem entre si, indicando que a disposição de compostos como amilose e amilopectina são semelhantes na organização da estrutura do amido. No entanto, com resultados diferentes de CR para os amidos modificados, oriundo da reorganização/ reestruturação da cadeia de amido após o processo por HMT.

Em relação à cristalinidade relativa, observa-se que maiores valores ( $24.03 \pm 0.13\%$  e  $23.88 \pm 0.19\%$ ) foram constatados nas amostras dos amidos de AP e AV, respectivamente, indicando uma maior proporção de regiões cristalinas no amido. Por outro lado, constatou-se nas amostras modificadas por HMT, dos amidos de AP<sub>HMT</sub> e AV<sub>HMT</sub>, valores menores de cristalinidade relativa ( $15.08 \pm 0.39\%$  e  $21.69 \pm 0.32\%$ , respectivamente). Isso sugere que o processo de modificação por HMT pode resultar em uma diminuição na cristalinidade do amido.

Na Figura 10 estão expostos os espectros de infravermelho do amido de arroz nativo e modificado de arroz preto e vermelho.

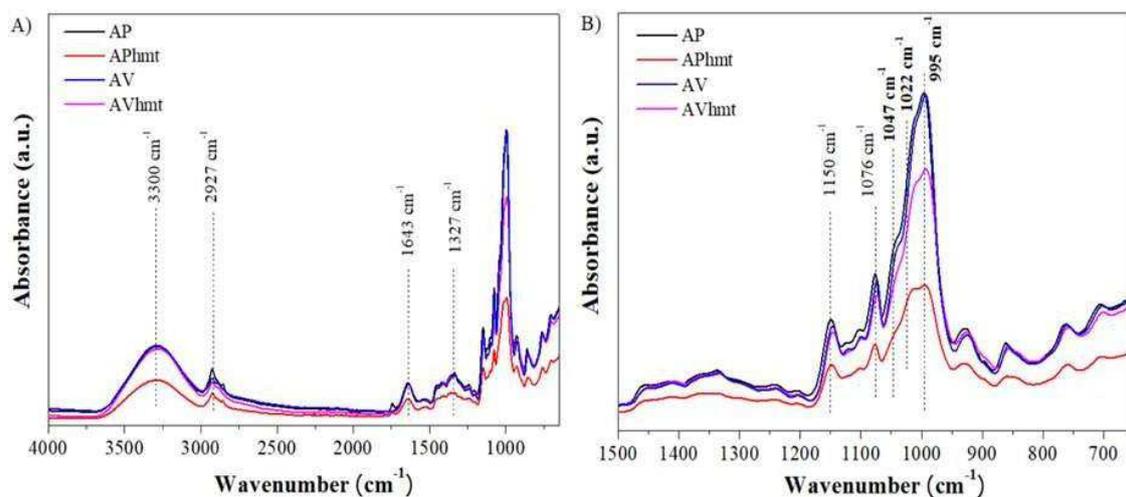


Figura 10. FT-IR do amido de arroz preto e vermelho, nativo e modificado.

AP - Amido nativo de arroz preto; AP<sub>HMT</sub> - Amido modificado de arroz preto; AV - Amido nativo de arroz vermelho; AV<sub>HMT</sub> - Amido modificado de arroz vermelho. A.u. – Absorbance unit.

Fonte: Autor, 2023.

Verifica-se bandas na região de  $3300\text{ cm}^{-1}$ , relacionada ao estiramento de grupos O – H, bandas referentes a região de  $2927\text{ cm}^{-1}$  envolvem C – H e  $1643\text{ cm}^{-1}$  e  $1327\text{ cm}^{-1}$ , podem estar associados a água ligada no amido e vibrações dos grupamentos  $\text{CH}_2$ , respectivamente (Figura 10A) (MIRANDA; CARVALHO, 2011; MUSCAT et al., 2014; BARTZ et al., 2014).

Já na Figura 10B, nota-se uma banda na região de  $1150\text{ cm}^{-1}$  relacionado à ligação glicosídica  $\alpha$ -1,4, C – O – C, enquanto,  $1076\text{ cm}^{-1}$  e  $1047\text{ cm}^{-1}$  relacionam-se a alongamentos entre C – O e C – C (BARTZ et al., 2014). Padrões de bandas que envolvem regiões entre  $1022\text{ cm}^{-1}$  e  $995\text{ cm}^{-1}$  são associadas ao movimento vibracional assimétrico de grupos P – O – P (IURCKEVICZ; MARQUES; LIMA, 2017). É possível notar que os espectros de infravermelho formados para AP<sub>HMT</sub> possuem menor absorção entre as regiões de bandas observadas com relação aos demais amidos AP, AV e AV<sub>HMT</sub>.

## 5.6 A ANÁLISE DE PARÂMETROS DE TEXTURA

Os parâmetros de textura dos amidos nativos e modificados estão apresentados na Tabela 8. Pode-se observar que não houve diferenças significativas na adesividade para as formulações AP e AP<sub>HMT</sub>. No entanto, para os parâmetros restantes - firmeza, gomosidade e coesividade - as diferenças estatísticas foram evidentes, indicando que a modificação por HMT tem uma influência direta e significativa na textura do amido. Observa-se ainda que entre os parâmetros de textura dos amidos nativos e modificados por HMT analisados, apenas a adesividade para as formulações AP e AP<sub>HMT</sub> não diferiram entre si. No entanto, para os demais parâmetros de firmeza, gomosidade e coesividade observou-se, nas formulações, diferenças estatísticas, mostrando que o

tratamento por HMT influencia diretamente na textura do amido. No parâmetro de firmeza, observa-se uma tendência de diminuição dos valores de firmeza à medida que ocorre o processo de modificação por HMT. De acordo com os valores obtidos, o AP teve a maior firmeza ( $0.52 \pm 0.02$  N), enquanto o amido modificado de  $AV_{HMT}$  possui a menor firmeza ( $0.34 \pm 0.01$  N). Isso indica que o processo de modificação pode levar a uma textura mais macia e menos firme.

Tabela 8. Textura das amostras de amido de arroz preto e vermelho, nativo e modificado.

Formulações	Parâmetros			
	Firmeza (N)	Gomosidade (N)	Coesividade	Adesividades (N.m)
AP	$0.52 \pm 0.02^A$	$0.42 \pm 0.02^A$	$0.74 \pm 0.01^A$	$0.49 \pm 0.02^A$
$AP_{HMT}$	$0.46 \pm 0.02^B$	$0.37 \pm 0.02^B$	$0.68 \pm 0.02^B$	$0.47 \pm 0.02^A$
AV	$0.41 \pm 0.02^C$	$0.30 \pm 0.02^C$	$0.63 \pm 0.01^C$	$0.41 \pm 0.02^B$
$AV_{HMT}$	$0.34 \pm 0.01^D$	$0.22 \pm 0.02^D$	$0.52 \pm 0.03^D$	$0.35 \pm 0.01^C$

Nota: Letras maiúsculas sobrescritas iguais na mesma coluna indicam que os valores não diferiram significativamente segundo o teste de Tukey ( $p > 0.05$ ). AP - Amido nativo de arroz preto;  $AP_{HMT}$  - Amido modificado de arroz preto; AV - Amido nativo de arroz vermelho;  $AV_{HMT}$  - Amido modificado de arroz vermelho.

Fonte: Autor, 2023.

A análise de parâmetros de textura em amidos nativos e modificados por HMT é essencial para entender como as alterações estruturais podem influenciar as características físicas desses polímeros. A modificação por HMT pode alterar propriedades como adesividade, firmeza, gomosidade e coesividade, afetando o comportamento do amido em várias aplicações, incluindo alimentos e materiais (BORBA et al., 2021).

Segundo Pinto (2011), o processo de firmeza dos géis de amido é decorrente da perda de água no processo de sinérese, ocasionada pela retrogradação do amido, e o processo de cristalização proveniente da amilopectina. Estes resultados corroboram com os apresentados na Figura 7, no qual a formulação  $AP_{HMT}$  demonstrou menor índice de sinérese.

A gomosidade, que está relacionada à sensação de mastigação e à liberação de sabor durante o consumo, também apresenta diminuição nos valores à medida que ocorre a modificação por HMT. Com relação à gomosidade, verificou-se no amido de AP a maior gomosidade ( $0.42 \pm 0.02$  N), enquanto para o  $AV_{HMT}$  observou-se menor gomosidade ( $0.22 \pm 0.02$  N). A baixa energia requerida para deglutir um alimento, indicada pelos valores de gomosidade, sugere que os géis formados pelos amidos de arroz preto e vermelho são facilmente mastigáveis. Isso pode ser uma característica desejável em produtos alimentícios, proporcionando uma experiência sensorial agradável durante a ingestão.

A coesividade, que está relacionada à capacidade do amido de se manter unido durante a mastigação, também apresenta uma tendência de diminuição nos valores com a modificação por HMT. A maior coesividade foi observada no amido de AP ( $0.74 \pm 0.01$  N), enquanto observou-se no amido de AV<sub>HMT</sub> a menor coesividade ( $0.52 \pm 0.03$  N). Os valores demonstrados neste estudo para os parâmetros de textura, indicam que o amido de arroz preto e vermelho formam géis mais duros provenientes das longas cadeias de amilopectina, conforme afirma Choi e Kerr (2003). Em sua pesquisa, Scandolara (2017) obteve valores de coesividade semelhantes, variando entre 0,63 N.m e 0,48 N.m. Características como gomosidade para as amostras de amido nativo e modificado de arroz preto e vermelho, através dos resultados adquiridos, indicam que a energia requerida para deglutir um alimento é baixa, ou seja, a força necessária é mínima (SCANDOLARA, 2017). É interessante notar que os valores de coesividade obtidos neste estudo estão dentro da faixa relatada por Scandolara (2017) e os valores obtidos sugerem que os géis formados pelos amidos de arroz preto e vermelho têm uma boa capacidade de manter sua estrutura coesa durante o processo de mastigação.

A adesividade, que está relacionada à capacidade do amido de aderir aos dentes e tecidos orais, apresenta uma diminuição nos valores com a modificação por HMT. O amido de AP possui a maior adesividade ( $0.49 \pm 0.02$  N.m), enquanto o amido de AV<sub>HMT</sub> possui a menor adesividade ( $0.35 \pm 0.01$  N.m).

Os valores de textura obtidos para os amidos de arroz preto e vermelho neste estudo corroboram com a literatura, indicando que esses amidos formam géis mais duros devido às características da amilopectina, que é uma das principais componentes do amido. Isso está de acordo com as observações de Choi e Kerr (2003) sobre a formação de géis mais firmes devido às longas cadeias de amilopectina. Segundo Lai (2001) a incorporação de processos hidrotérmicos associados ao arroz está diretamente ligado a quantidade de amilose presente na composição do grão. Ele também afirma que o grau de reassociação das moléculas de amilose é proporcional à intensidade pelo qual o grão passa no processo e isto influencia diretamente em seus parâmetros de textura.

## 5.7 CARACTERIZAÇÃO DA BEBIDA LÁCTEA

A análise dos parâmetros de textura e sinérese em bebidas lácteas formuladas com amido de arroz vermelho e preto, tanto na forma nativa quanto modificada, é fundamental para entender como estas diferentes formas de amido podem impactar a qualidade do produto. Aspectos como a consistência, a firmeza, a adesividade, a coesividade, e o fenômeno da sinérese (liberação de líquido) podem variar substancialmente dependendo da natureza do amido utilizado e de sua concentração na formulação. Nesse sentido, a Tabela 9 apresenta uma análise detalhada desses parâmetros.

Tabela 9. Parâmetros de textura e sinérese das formulações de bebida láctea.

F: Formulações. Letras maiúsculas sobrescritas iguais na mesma coluna indicam que os valores não

F	Consistência (N × s)	Índice de viscosidade (N × s)	Firmeza (N)	Coesão (N)	Índice de Sinérese (%)
F1	8.35 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.49 ± 0.04 <sup>A</sup>	0.59 ± 0.05 <sup>AB</sup>	0.51 ± 0.08 <sup>A</sup>	28.51 ± 0.15 <sup>A</sup>
F2	8.21 ± 0.07 <sup>B</sup>	0.47 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.65 ± 0.08 <sup>A</sup>	0.49 ± 0.04 <sup>A</sup>	15.44 ± 0.28 <sup>D</sup>
F3	8.02 ± 0.08 <sup>C</sup>	0.32 ± 0.06 <sup>B</sup>	0.46 ± 0.09 <sup>B</sup>	0.36 ± 0.02 <sup>B</sup>	25.49 ± 0.25 <sup>B</sup>
F4	7.07 ± 0.31 <sup>D</sup>	0.35 ± 0.08 <sup>B</sup>	0.57 ± 0.07 <sup>AB</sup>	0.38 ± 0.03 <sup>B</sup>	25.43 ± 0.17 <sup>B</sup>
F5	6.12 ± 0.13 <sup>E</sup>	0.29 ± 0.06 <sup>B</sup>	0.49 ± 0.05 <sup>B</sup>	0.35 ± 0.05 <sup>B</sup>	19.55 ± 0.16 <sup>C</sup>
F6	7.11 ± 0.13 <sup>A</sup>	0.33 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.45 ± 0.05 <sup>A</sup>	0.39 ± 0.02 <sup>A</sup>	17.59 ± 0.11 <sup>D</sup>
F7	7.12 ± 0.16 <sup>A</sup>	0.29 ± 0.05 <sup>AB</sup>	0.42 ± 0.04 <sup>AB</sup>	0.32 ± 0.02 <sup>B</sup>	28.56 ± 0.52 <sup>A</sup>
F8	6.57 ± 0.11 <sup>B</sup>	0.27 ± 0.03 <sup>B</sup>	0.39 ± 0.01 <sup>B</sup>	0.28 ± 0.03 <sup>BC</sup>	27.41 ± 0.16 <sup>B</sup>
F9	5.49 ± 0.29 <sup>C</sup>	0.25 ± 0.02 <sup>B</sup>	0.35 ± 0.02 <sup>C</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>C</sup>	22.13 ± 0.37 <sup>C</sup>
F10	9.49 ± 0.06 <sup>A</sup>	0.57 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.75 ± 0.04 <sup>A</sup>	0.56 ± 0.03 <sup>A</sup>	15.02 ± 0.26 <sup>D</sup>
F11	9.22 ± 0.05 <sup>B</sup>	0.55 ± 0.03 <sup>A</sup>	0.70 ± 0.03 <sup>AB</sup>	0.54 ± 0.02 <sup>AB</sup>	24.76 ± 0.15 <sup>A</sup>
F12	8.59 ± 0.15 <sup>C</sup>	0.51 ± 0.04 <sup>AB</sup>	0.67 ± 0.02 <sup>B</sup>	0.50 ± 0.02 <sup>BC</sup>	23.98 ± 0.22 <sup>B</sup>
F13	8.38 ± 0.10 <sup>C</sup>	0.48 ± 0.01 <sup>B</sup>	0.61 ± 0.02 <sup>C</sup>	0.48 ± 0.01 <sup>C</sup>	18.93 ± 0.42 <sup>C</sup>

diferiram significativamente segundo o teste de Tukey ( $p > 0.05$ ). F1: comercial; F2, F3, F4, F5: 2,80 g/ 100 g; F6, F7, F8, F9: 2,50 g/ 100 g; F10, F11, F12, F13: 3,10 g/ 100 g.

Fonte: Autor, 2023.

A Tabela 9 demonstra os parâmetros de textura e sinérese das formulações de bebidas lácteas formuladas com amido de arroz vermelho e preto, nativo e modificado em diferentes concentrações. Observa-se que nas amostras F6, F7 e F10 contendo AP e AP<sub>HMT</sub>, respectivamente, valores semelhantes com a amostra comercial, em quase todos os parâmetros analisados para textura como: consistência, índice de viscosidade, firmeza e coesão.

No entanto, ao analisar estes parâmetros individualmente entre as formulações de amido adicionadas às bebidas lácteas, notou-se diferença estatística, indicando que a adição de amido em diferentes concentrações implica na textura do produto. Com relação ao índice de sinérese, na concentração dos amidos aplicados para as formulações, foi verificado que a amostra comercial, em relação as demais, obteve uma maior perda de água. Isto indica que o amido adicionado pode reter a perda de água na bebida láctea. Também se nota que F2, em concentração de amido de 2,80 g/ 100 g e F13 com 3,10 g/

100 g, detém menores perdas de líquido, relacionando-as ao amido nativo de arroz preto e amido modificado de arroz vermelho.

Observa-se que as formulações de bebida láctea variam em termos de consistência. Verifica-se nas formulações F1, F2 e F3 valores de consistência mais elevados de 8.35, 8.21 e 8.02, respectivamente. O índice de viscosidade também apresentou variações entre as formulações. Nas formulações F1 (0.49), F2 (0.47) e F3 (0.32) observa-se valores mais altos de índice de viscosidade, indicando uma maior viscosidade das amostras. Em relação à firmeza, nas formulações F2, F4, F6, F7, F10 e F11 constata-se valores mais altos, indicando uma maior resistência à deformação, com valores de 0.65, 0.57, 0.45, 0.42, 0.75 e 0.70, respectivamente, entre os grupos de formulações. Estas características podem ser atribuídas a gelatinização do amido atribuído as bebidas lácteas.

A coesão, que se refere à capacidade do produto de manter sua estrutura interna, também apresentou variações entre as formulações. Nas formulações F2 (0.49), F6 (0.39), e F10 (0.56) constatou-se valores mais altos de coesão, indicando uma maior coesividade das amostras, perante os grupos adicionados de amido nativo e modificado dentre as formulações.

Por fim, o índice de sinérese, que representa a separação de líquido da matriz da bebida láctea fermentada, variou entre as formulações. Nas formulações F1 (amostra comercial – 28.51), F3 (25.49), F7 (28.56) e F12 (23.98) foi observado índices de sinérese mais altos, indicando maior separação de líquido, quando comparados com a amostra comercial.

Esses resultados demonstram que as formulações de bebida láctea variam em termos de textura e sinérese, o que pode influenciar a experiência sensorial do consumidor. A seleção das formulações e a otimização dos parâmetros de textura são importantes para garantir a qualidade do produto.

De acordo com Torres (2015) e Mounsey e O' Riordan (2001), o amido pode interagir com os ingredientes utilizados na formulação de produtos lácteos, ocasionando na elevação de sua firmeza e consistência, como observados nos resultados da bebida láctea elaborada com os amidos de arroz preto e vermelho. A coesividade é a relação que o produto alimentício é comprimido até se quebrar entre os dentes. Logo, a atribuição de uma substância menos espessante, sugere que estes valores sejam baixos para garantir melhor mastigabilidade do produto (SANCHES, 2018).

### 5.7.1 Análise centesimal e colorimétrica

A Tabela 10 apresenta os resultados da análise centesimal e de cor (L, a\*, b\*) das bebidas lácteas formuladas com amido de arroz preto e vermelho, nativo e modificado, em diferentes concentrações, em comparação com uma amostra comercial (F1).

Tabela 10. Análise centesimal e cor das bebidas lácteas fermentadas

F	Teor de água (g 100g <sup>-1</sup> )	Cinzas (g 100g <sup>-1</sup> )	Proteínas (g 100g <sup>-1</sup> )	Lipídeos (g 100g <sup>-1</sup> )	Carboidratos totais (g 100g <sup>-1</sup> )	Cor
F1	71.16 ± 1.08 <sup>A</sup>	0.92 ± 0.14 <sup>E</sup>	2.37 ± 0.15 <sup>E</sup>	0.30 ± 0.03 <sup>C</sup>	25.15 ± 0.28 <sup>D</sup>	L 67.17 ± 0.01 <sup>A</sup> a* -4.10 ± 0.52 <sup>E</sup> b* 18.63 ± 0.11 <sup>B</sup>
F2	67.11 ± 1.21 <sup>B</sup>	1.84 ± 0.12 <sup>A</sup>	4.14 ± 0.18 <sup>A</sup>	0.51 ± 0.02 <sup>A</sup>	26.41 ± 0.26 <sup>C</sup>	L 47.27 ± 0.90 <sup>E</sup> a* 10.63 ± 0.05 <sup>A</sup> b* 9.10 ± 0.10 <sup>E</sup>
F3	67.25 ± 0.98 <sup>B</sup>	1.23 ± 0.06 <sup>C</sup>	3.16 ± 0.19 <sup>C</sup>	0.40 ± 0.04 <sup>B</sup>	27.94 ± 0.39 <sup>A</sup>	L 54.90 ± 0.70 <sup>D</sup> a* 8.17 ± 0.46 <sup>B</sup> b* 10.50 ± 0.52 <sup>D</sup>
F4	66.95 ± 1.31 <sup>B</sup>	1.55 ± 0.08 <sup>B</sup>	3.87 ± 0.17 <sup>B</sup>	0.47 ± 0.03 <sup>A</sup>	27.18 ± 0.21 <sup>B</sup>	L 64.73 ± 0.23 <sup>B</sup> a* -0.80 ± 0.10 <sup>C</sup> b* 19.91 ± 0.35 <sup>A</sup>
F5	67.08 ± 1.09 <sup>B</sup>	1.27 ± 0.09 <sup>C</sup>	2.98 ± 0.16 <sup>D</sup>	0.37 ± 0.02 <sup>B</sup>	28.35 ± 0.27 <sup>A</sup>	L 63.30 ± 0.61 <sup>C</sup> a* -3.37 ± 0.21 <sup>D</sup> b* 17.17 ± 0.66 <sup>C</sup>
F6	69.22 ± 0.31 <sup>A</sup>	1.69 ± 0.11 <sup>A</sup>	4.09 ± 0.11 <sup>A</sup>	0.49 ± 0.04 <sup>A</sup>	24.51 ± 0.18 <sup>D</sup>	L 47.11 ± 1.20 <sup>D</sup> a* 9.11 ± 0.37 <sup>A</sup> b* 8.42 ± 0.10 <sup>C</sup>
F7	69.63 ± 0.12 <sup>A</sup>	1.02 ± 0.07 <sup>C</sup>	3.10 ± 0.28 <sup>C</sup>	0.38 ± 0.06 <sup>BC</sup>	25.87 ± 0.16 <sup>C</sup>	L 53.86 ± 0.70 <sup>C</sup> a* 7.93 ± 0.29 <sup>B</sup> b* 9.09 ± 0.52 <sup>C</sup>
F8	67.51 ± 0.25 <sup>B</sup>	1.31 ± 0.15 <sup>B</sup>	3.75 ± 0.05 <sup>B</sup>	0.40 ± 0.11 <sup>AB</sup>	27.03 ± 0.19 <sup>B</sup>	L 64.01 ± 0.51 <sup>A</sup> a* -1.42 ± 0.17 <sup>C</sup> b* 21.03 ± 0.28 <sup>A</sup>
F9	68.01 ± 0.27 <sup>B</sup>	1.18 ± 0.18 <sup>BC</sup>	2.88 ± 0.12 <sup>C</sup>	0.31 ± 0.04 <sup>C</sup>	27.62 ± 0.11 <sup>A</sup>	L 62.15 ± 0.29 <sup>B</sup> a* -4.68 ± 0.44 <sup>D</sup> b* 19.01 ± 0.25 <sup>B</sup>
F10	65.51 ± 0.98 <sup>A</sup>	1.97 ± 0.08 <sup>A</sup>	4.18 ± 0.08 <sup>A</sup>	0.53 ± 0.04 <sup>A</sup>	27.81 ± 0.11 <sup>B</sup>	L 47.59 ± 0.75 <sup>D</sup> a* 10.07 ± 0.11 <sup>A</sup> b* 9.42 ± 0.21 <sup>C</sup>
F11	65.21 ± 0.82 <sup>A</sup>	1.31 ± 0.09 <sup>C</sup>	3.21 ± 0.07 <sup>C</sup>	0.42 ± 0.05 <sup>B</sup>	29.85 ± 0.42 <sup>A</sup>	L 54.02 ± 0.22 <sup>C</sup> a* 8.55 ± 0.35 <sup>B</sup> b* 9.19 ± 0.22 <sup>C</sup>
F12	64.25 ± 0.55 <sup>A</sup>	1.62 ± 0.04 <sup>B</sup>	3.92 ± 0.09 <sup>B</sup>	0.49 ± 0.06 <sup>AB</sup>	29.72 ± 0.22 <sup>A</sup>	L 65.12 ± 0.24 <sup>A</sup> a* -0.29 ± 0.07 <sup>C</sup> b* 23.08 ± 0.19 <sup>A</sup>
F13	65.10 ± 0.73 <sup>A</sup>	1.33 ± 0.11 <sup>C</sup>	3.05 ± 0.11 <sup>C</sup>	0.40 ± 0.04 <sup>B</sup>	30.12 ± 0.18 <sup>A</sup>	L 63.52 ± 0.19 <sup>B</sup> a* -2.09 ± 0.21 <sup>D</sup> b* 21.18 ± 0.33 <sup>B</sup>

Valores calculados em base úmida. F: Formulações. Letras maiúsculas sobrescritas iguais na mesma coluna indicam que os valores não diferiram significativamente segundo o teste de Tukey (p > 0.05). F1: comercial; F2, F3, F4, F5: 2,80 g/ 100 g; F6, F7, F8, F9: 2,50 g/ 100 g; F10, F11, F12, F13: 3,10 g/ 100 g.  
Fonte: Autor, 2023.

Para o teor de água dentre as formulações, observou-se diferença entre F1 e as formulações adicionadas de 2,80 g/ 100 g de amido, porém sem diferença com maioria

das demais formulações com concentração de 2,50 g/ 100 g e 3,10 g/ 100 g. Os valores variam de 64.25 g/100g a 71.16 g/100g. O teor de água é um indicativo da quantidade de teor de água presente nas bebidas lácteas. Nesse caso, para a formulação F1 o maior teor de água foi observado.

A formulação F10 teve o maior teor de cinzas, com valores variando de 0.92 g/100g a 1.97 g/100g entre as formulações. O teor de cinzas representa a quantidade de minerais presentes nas bebidas lácteas. Valores mais altos indicam maior presença de minerais.

Verificou-se maior teor de proteínas para a formulação F2, com os valores variando de 1.31 g/100g a 4.14 g/100g. O teor de proteínas indica a quantidade de proteínas presentes nas bebidas lácteas. Valores mais altos indicam maior quantidade de proteínas.

É possível constatar, na formulação F2, maior valor para teor de lipídeos. Entre as demais formulações, os valores variaram de 0.30 g/100g a 0.51 g/100g. O teor de lipídeos representa a quantidade de gordura presente nas bebidas lácteas.

Para o teor de carboidratos totais, os valores variaram de 24.51 g/100g a 28.35 g/100g entre as formulações. O teor de carboidratos totais indica a quantidade de carboidratos presentes nas bebidas lácteas. Valores mais altos indicam maior quantidade de carboidratos. Nesse caso, constatou-se maiores valores para carboidratos totais na formulação F5.

Segundo Penna, Oliveira e Tamine (2003) obtiveram valores semelhantes em sua caracterização centesimal de bebida láctea, estes também afirmaram que o aumento na concentração de substâncias (como o amido), podem influenciar na elevação de macromoléculas como proteínas e lipídios. Em outro estudo, Thamer e Penna (2006), observaram que teores de sólidos totais (cinzas) não diferiram entre si, com a adição de ingredientes como o amido.

O teor de carboidratos encontrados entre as bebidas é equivalente aos definidos por Brunatti et al. (2017) em uma bebida láctea sabor maracujá enriquecida com amido. Os valores variaram em torno de 30 g/ 100g, equivalentes aos explorados neste estudo. Os autores afirmam que esse valor é decorrente da utilização de uma matéria-prima rica em carboidratos (amido), como é o caso do arroz preto e vermelho. Também é possível observar que em cinzas, proteínas, lipídeos e carboidratos, as formulações (F) demonstraram diferença com relação a formulação comercial. Assim, maiores teores de cinzas, proteínas e lipídeos foram encontrados em amostras com 3,10 g/100 g de amido nativo de arroz preto. Relacionando o teor de carboidratos totais, constatou-se na

formulação com amido de arroz vermelho tratado por HMT maior valor em uma relação de g/100 g, decorrente da adição do amido modificado à bebida láctea (Tabela 10).

Para a análise colorimétrica, o parâmetro de luminosidade foi mais intenso para a mostra comercial (F1) em relação a concentração de 2,80 g/ 100 g de amido nativo e modificado as demais formulações. No entanto, ao diminuir a concentração do amido para 2,50 g/ 100 g, F8 (amido de AV) implicou em um maior valor de L com relação as demais formulações do seu grupo, sendo retratado o mesmo com um aumento para 3,10 g/ 100 g em F12 para o mesmo tipo de amido. A cor  $a^*$  obteve uma tendência ao vermelho ( $+a^*$ ) e  $b^*$  tendencioso ao amarelo ( $+b^*$ ), estes valores são aceitáveis devido a adição de matéria-prima vegetal as formulações de bebidas lácteas que são ricos em flavonoides. Cor (L,  $a^*$ ,  $b^*$ ): Os valores de cor foram medidos usando os parâmetros L,  $a^*$  e  $b^*$ . O parâmetro L indica a luminosidade do produto, onde valores mais altos indicam uma cor mais clara. O parâmetro  $a^*$  representa a tonalidade vermelha/verde, onde valores positivos indicam tonalidade vermelha e valores negativos indicam tonalidade verde. O parâmetro  $b^*$  representa a tonalidade amarela/azul, onde valores positivos indicam tonalidade amarela e valores negativos indicam tonalidade azul. Diferentes formulações apresentaram variações na cor, com algumas mostrando maior luminosidade (L), tonalidade vermelha ( $a^*$ ) e tonalidade amarela ( $b^*$ ).

Cunha et al. (2010) e Torres (2015), ressaltam que parâmetros que envolvem a luminosidade e as cromas  $a^*$  e  $b^*$ , tendem a  $+a$  e  $+b$ , devido a adição de ingredientes de origem vegetal na formulação de produtos lácteos. Além do mais, a luminosidade é influenciada diretamente a depender do tom do ingrediente adicionado (conforme demonstra a Figura 5).

## 6 CONCLUSÕES

É possível constatar que o amido nativo de arroz preto (AP) teve maior eficácia em relação aos outros tipos de amidos estudados ao se observar os dados de rendimento de extração do amido, valores de ácido gálico e quercetina, absorção de leite integral, e tonalidade mais escura. Entretanto, pôde-se observar que o amido nativo de arroz vermelho (AV) teve maiores valores para as variáveis de teor de amilose, proantocianidinas, absorção de água e absorção de leite sem lactose, maior índice de sinérese, maior IR e menores valores para diâmetro dos grânulos. Para a cristalinidade relativa, não houve diferença significativa entre o AP e o AV. Tratando-se dos parâmetros de textura, não houve diferenças significativas entre AP e AP<sub>HMT</sub> com relação à

adesividade, contudo, pôde-se verificar que o AP teve maiores valores para firmeza, gomosidade, coesividade e adesividade.

Com relação aos amidos modificados por calor-umidade, observou-se que o AP<sub>HMT</sub> apresentou maiores valores para a absorção de óleo, diâmetro dos grânulos e menor valor para o índice de sinérese, enquanto o AV<sub>HMT</sub>, entre os amidos modificados, possui maior teor de amilose e menor valor de diâmetro. Além disso, foi observado que no AP<sub>HMT</sub> as mudanças estruturais foram mais evidentes do que comparadas com os demais amidos. Evidenciou-se, também, que o AP<sub>HMT</sub> apresentou maior mudança estrutural em comparação ao AV<sub>HMT</sub>. Entre os AP<sub>HMT</sub> e AV<sub>HMT</sub> pôde-se constatar maiores diferenças de intensidade dos picos dentro da faixa de 20 °, com o AP<sub>HMT</sub> representando um maior espectro de absorção em relação as demais amostras e com maior dispersabilidade dos grânulos. Também foi possível observar que, entre os amidos modificados, os valores de AP<sub>HMT</sub> para firmeza, gomosidade, coesividade e adesividade foram maiores do que os encontrados para AV<sub>HMT</sub>. Ao observar os valores para bebida láctea fermentada, o AV, com formulação de 3.10, apresentou melhores valores de consistência, índice de viscosidade, firmeza, coesão e índice de sinérese quando comparados com os demais amidos.

Os resultados desta pesquisa são de grande relevância, pois contribuem para o conhecimento científico sobre as propriedades e características dos amidos de arroz preto e vermelho nativos e modificados. Estes amidos podem ser aplicados no desenvolvimento de novos produtos alimentícios, especialmente na indústria de alimentos funcionais e saudáveis. Além disso, estimula estudos futuros que possam explorar ainda mais as propriedades e aplicações desses amidos, impulsionando a inovação e contribuindo para a oferta de alimentos mais saudáveis e funcionais para os consumidores.

## REFERÊNCIAS

A.O.A.C. Official methods of analysis of AOAC International (20th ed.). Rockville, Maryland, USA: **AOAC international**, 2016.

AKOH, C.; CHANG, S.; LEE, G.; SHAW, J. Biocatalysis for the Production of Industrial Products and Functional Foods from Rice and Other Agricultural Produce. **J. Agric. Food Chem.** 56, 10445–10451 (2008).

ALMEIDA, M. C., QUEIROGA, A. P. R., ALMEIDA, R. L. J., SOARES, A., C., GONÇALVES, J. M., FERNANDES, S.S., ... & FLORENTINO, E. R. Fermented dessert with whey, ingredients from the peel of jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) and an indigenous culture of *Lactobacillus plantarum*: composition, microbial viability, antioxidant capacity and sensory features. **Nutrients**, 10(9), 1214, 2018. doi:10.3390/nu10091214.

ALMEIDA, N. T. **EFEITO DA APLICAÇÃO DE EMULSÃO PICKERING ESTABILIZADA POR NANOFIBRILAS DE CELULOSE BACTERIANA NO DESEMPENHO DE FILMES DE AMIDO**. 2020. 52 f. Monografia (Especialização) - Curso de Bacharelado em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

ALMEIDA, R. L. J., SANTOS, N. C., FEITOZA, J. V. F., DA SILVA, G. M., DE SOUSA MUNIZ, C. E., DA SILVA EDUARDO, R., & DE ALMEIDA MOTA, M. M. Effect of heat-moisture treatment on the thermal, structural and morphological properties of Quinoa starch. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, 100192, 2022b. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2022.100192>.

ALMEIDA, R. L. J., SANTOS, N. C., PADILHA, C. E., MONTEIRO, S. S., DOS SANTOS, E. S. Impact of hydrothermal pre-treatments on physicochemical characteristics and drying kinetics of starch from red rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Food Processing and Preservation**, e15448, 2021a. Doi: 10.1111/jfpp.15448.

ALMEIDA, R. L. J., SANTOS, N. C., PADILHA, C. E., MONTEIRO, S. S., & DOS SANTOS, E. S. Impact of hydrothermal pretreatments on physicochemical characteristics and drying kinetics of starch from red rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Food Processing and Preservation**, 45(5), e15448, 2021b. Doi: 10.1111/jfpp.15448.

ALVES, R. M. L.; GROSSMANN, M. V. E.; SILVA, R. S. S. F. Gelling properties of extruded yam (*Dioscorea alata*) starch. **Food chem**, 67, 123, 1999.

AMARAL, L. I. V. D., GASPARGAR, M., COSTA, P. M. F., AIDAR, M. P. M., & BUCKERIDGE, M. S. A new rapid and sensitive enzymatic method for extraction and quantification of starch in plant material. **Hoehnea**, 34(4), 425-431, 2007. <https://doi.org/10.1590/S2236-89062007000400001>.

ANDERSON, R. A. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, 14, 4-12, 1969.

ARAÚJO, J. C. M., & GUSMÃO, T. A. S. Elaboração de sobremesa láctea com concentrado proteico de soro e diferentes tipos de estabilizantes/espessantes: avaliação sensorial, de textura e estudo da vida de prateleira /Characterization of dairy dessert with whey protein concentrate and different types of stabilizers/thickeners: sensory evaluation,

texture and study of shelf life. **Brazilian Journal of Development**, 6(9), 71225-71244, 2020.

ARYANA, K. J.; OLSON, D. W. A 100-Year Review: Yogurt and other cultured dairy products. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 100, p. 9987-10013, 2017.

ASHOGBON, A. O. Dual modification of various starches: Synthesis, properties and applications. **Food Chemistry**, v. 342, p. 128325, 2021.

ASTRO, R. F. A. D. **Caracterização físico-química de diferentes cultivares de arroz com avaliação térmica dos amidos**. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014.

AUN, M.V.; MAFRA, C., PHILIPPI, J.C.; KALIL, J.; AGONDI, R.C.; MOTTA, A. Aditivos em Alimentos. **Revista Brasileira de Alergia e Imunopatologia**, v. 34, n.5, p. 177-186, 2011

BARBOSA, J. V. MARTINS, J.; CARVALHO, L.; BASTOS, M. M. S. M.; MAGALHÃES, F. D. Effect of peroxide oxidation on the expansion of potato starch foam. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 137, n. May, p. 428–435, 2019.

BARETTI, B. R. V. **Avaliação da digestibilidade in vitro, propriedades estruturais, térmicas e de pasta dos amidos de milho modificados por heatmoisture treatment (HMT) com adição de ácidos orgânicos**. 2020. Dissertação de Mestrado, Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG, [S. l.], 2020.

BARRETTI, B. R.; ALMEIDA, V. S.; ITO, V. C.; SILVA, B. M.; CARVALHO FILHO, M. A. S.; SYDNEY, E. B.; DEMIATE, I. M.; LACERDA, L. G. Combination of organic acids and heat-moisture treatment on the normal and waxy corn starch: thermal, structural, pasting properties, and digestibility investigation. **Food Science and Technology**, 2020.

BARTZ, J.; MADRUGA, K. M.; KLEIN, B.; PINTO, V. Z.; DIAS, A. R. G. Propriedades de pasta de amidos de arroz nativo e acetilados. **Brazilian Journal of Food Technology**, 15, 78, 2012.

BASSINELLO, P. Z. Arroz Preto: uma opção culinária para o Brasil (Comunicado Técnico, n. 147). **Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão**, 2008.

BASSINELLO, P. Z.; GARCIA, J. S.; SOARES, L. A.; KOAKUZU, S. N.; NETO, F. P. M.; FERREIRA, R. A.; MENDONÇA, J. A.; SANTIAGO, C. M.; RANGEL, P. H. N. Arroz preto: nova opção culinária para o Brasil. **Embrapa Arroz e Feijão** - Comunicado Técnico, 2008.

BELLO-PEREZ, L. A.; GARCÍA-SUÁREZ, F. J.; MÉNDEZ-MONTEALVO, G.; NASCOMENTO, J. R. O.; LAJOLO, F. M. CORNENUNSI, B. R. Isolation and Characterization of Starch from Seeds of *Araucaria brasiliensis*: A novel Starch for Application in Food Industry. **Starch/Starke**, 58, 283- 291, 2006.

BELLO-PEREZ, L. A.; HOYOS-LEYVA, J. D. Development of Foods High in Slowly Digestible and Resistant Starch. [s.l.] **Elsevier Ltd**, 2017.

BEMILLER, J. N. Starch: Modification. **Encyclopedia of Food Grains**, 2 ed., p 282-286, 2016.

BEMILLER, J. N. Starches: molecular and granular structures and properties. **Carbohydrate chemistry for food scientists**, v. 3, p. 159-189, 2020.

BEMILLER, J.; WHISTLER, R. **STARCH: Chemistry and Technology**, 2009.

BENTO, J. A. C., FERREIRA, K. C., DE OLIVEIRA, A. L. M., LIÃO, L. M., CALIARI, M., & JÚNIOR, M. S. S. Extraction, characterization and technological properties of white garland-lily starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, 135, 422-428, 2019. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.05.141.

BEUCHAT, L. R. Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 25(2), 1977, 258-261.

BORBA, V. S.; SILVEIRA, C. O.; ALVES, J. B.; GROPELLI, V. M.; BADIÁLE-FURLONG, E. MODIFICAÇÕES DO AMIDO E SUAS IMPLICAÇÕES TECNOLÓGICAS E NUTRICIONAIS. **Ciência e Tecnologia de Alimentos: pesquisa e práticas contemporâneas**, [S.L.], p. 428-457, 2021. Editora Científica Digital. <http://dx.doi.org/10.37885/210504724>.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados**. Instrução Normativa nº 46, 2007.

BRUNATTI, A. C. S. et al. DESENVOLVIMENTO DE SOBREMESA LÁCTEA TIPO “FLAN” DE TARO (*Colocasia esculenta*) E CALDA PREBIÓTICA DE YACON (*Polymnia sonchifolia*) SEM LACTOSE, SABOR MARACUJÁ. In: CONSEA, 1., 2017, São Paulo. **DESENVOLVIMENTO DE SOBREMESA LÁCTEA TIPO “FLAN” DE TARO (*Colocasia esculenta*) E CALDA PREBIÓTICA DE YACON (*Polymnia sonchifolia*) SEM LACTOSE, SABOR MARACUJÁ**. São Paulo: Consea, 2017. p. 1-5.

CALDERÓN, J., CALDERÓN, L., GUERRA, E., & GARCIA, B. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruit from Colombia. **Food Research International**, 44, 2047-2053, 2011.

CANADIAN DAIRY INFORMATION CENTRE. **Global milk consumption**, 2019. Disponível em: <http://www.dairyinfo.gc.ca/>. Acesso em 18 de Jan. 2022.

CHAMPAGNE, E. T. RICE: **Chemistry and Technology**, 2004.

CHATPAPAMON, C.; WANDEE, Y.; UTTAPAP, D.; PUTTANLEK, C.; RUNGSARDTHONG, V. Pasting properties of cassava starch modified by heatmoisture treatment under acidic and alkaline pH environments. **Carbohydrate Polymers**, v. 215, p. 338–347, 2019.

CHEN, Q.; YU, H.; WANG, L.; ABDIN, Z.; CHEN, Y.; WANG, J.; ZHOU, W.; YANG, X.; KHAN, R. U.; ZHANG, H.; CHEN, X. **Recent progress in chemical modification of starch and its applications**. *RSC Adv.* 5, 67459–67474, 2015.

CHENG, K. C.; CHEN, S. H.; YEH, A. I. Physicochemical properties and in vitro 653 digestibility of rice after parboiling with heat moisture treatment. **Journal of Cereal Science**, 85, 654 98-104, 2019.

CHOI, S. G.; KERR, W. L. Water mobility and textural properties of native and hydroxypropylated wheat starch gels. **Carbohydrate Polymers**, v. 51, n. 1, p. 1- 8, 2003.

CLIFF, M. A., FAN, L., SANFORD, K., STANICH, K., DOUCETTE, C., & RAYMOND, N. Descriptive analysis and early-stage consumer acceptance of yogurts fermented with carrot juice. **Journal of Dairy Science**. doi.org/10.3168/jds.2012-6287, 2013.

COLTRO, L.; MARTON, L.F.M.; PILECCO, F. P.; PILECCO, A. C.; MATTEI, L. F. Environmental profile of rice production in Southern Brazil: A comparison between irrigated and subsurface drip irrigated cropping systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 153, p. 491-505, jun. 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. 2017.** Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252>. Acesso em: 24 de março, 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. - **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 8 – safra 2020/21, n.12 – décimo segundo levantamento** | setembro, 2021 disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 14 mar. 2022

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, 2019.** Produção. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 11 set. 2020.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária – Safra 2016/2017.,** 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMSdigital.pdf>. Acesso em 13 de Março de 2022.

CORRE, D. L., BRAS, J., DUFRESNE, A. Starch nanoparticles: A review. **Biomacromolecules** 87 11, 1139–1153, 2010.

COULTATE, T. P. **Alimentos: a química de seus componentes, 2004.**

CUNHA, C.R.; DIAS, A.I.; VIOTTO. W.H. Microstructure, texture, colour and sensory evaluation of a spreadable processed cheese analogue made with vegetable fat. **Food Research International**, v. 43, p. 723-729, 2010.

DA SILVA, L. R.; CARVALHO, C.W.P.; VELASCO, J.I.; FAKHOURI, F.M. Extraction and characterization of starches from pigmented rice. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], 2020.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos de Fennema.** 5. ed. Porto Alegre: 2019.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Fennema's food chemistry**, 4. ed. Porto Alegre, Artmed, 2010.

DAS, K., CHOUDHARY, R., & THOMPSON-WITRICK, K. A. Effects of new technology on the current manufacturing process of yogurt-to increase the overall marketability of yogurt. **LWT**, 2019.

DE KRUIF, C. G., HUPPERTZ, T., URBAN, V. S., & PETUKHOV, A. V. Casein micelles and their internal structure. **Advances in Colloid and Interface Science**, 171–172, 36–52, 2012.

DENARDIN, C. C. **Influência do teor de amilose e beneficiamento do arroz na resposta biológica de ratos**. 2008. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/5650/CRISTIANEDENARDIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 jul. 2023.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. DA. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 945–954, 2009.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 945-954, 2009.

DEREJE, B. Composition, morphology and physicochemical properties of starches derived from indigenous Ethiopian tuber crops: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 187, n. July, p. 911–921, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.188>.

DIYANA, Z. N.; JUMAIDIN, R.; SELAMAT, M. Z.; GHAZALI, I.; JULMOHAMMAD, N.; HUDA, N.; ILYAS, R. A. Physical properties of thermoplastic starch derived from natural resources and its blends: A review. **Polymers**, [s. l.], v. 13, n. 9, p. 5–20, 2021.

DOMENEZ, E. P. **PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE AMIDO E FARINHA DE ARROZ TRATADOS POR ANNEALING**. 2016. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

DU, X., MACNAUGHTAN, B., MITCHELL, J. R. Quantification of amorphous content in starch granules. **Food Chem.** 127, 188–191, 2011.

DUDU, O. E.; OYEDEJI, A. B.; OYEYINKA, S. A.; MA, Y. Impact of steam-heatmoisture treatment on structural and functional properties of cassava flour and starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 126, p. 1056–1064, 2019.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA (EPAGRI). 2012. Disponível em: [http://www.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=936:tipos-especiais-de-arroz&catid=30:suinoicultura&Itemid=47](http://www.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=936:tipos-especiais-de-arroz&catid=30:suinoicultura&Itemid=47). Acesso em: 23 de mai. 2022.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally importante starch fractions. **European Journal of Clinial Nutrition**, 46(2), 33-50, 1992.

FALADE, K. O.; SEMON, M.; FADAIRO, O. S.; OLADUNJOYE, A. O.; OROU, K. K. Functional and physico-chemical properties of flours and starches of African rice cultivars. **Food Hydrocolloids**, 39, 41 – 50, 2014.

FAN, Y.; PICCHIONI, F. Modification of starch: A review on the application of “green” solvents and controlled functionalization. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 241, n. 1, apr, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116350> Acesso em 17 de jun. 2021.

FARNSWORTH, J. P., LI, J., HENDRICKS, G. M., GUO, M. R. Effects of transglutaminase treatment on functional properties and probiotic culture survivability of goat milk yogurt. **Small Ruminant Research**, 65(1-2), 113-121, 2006. Doi: 10.1016/j.smallrumres.2005.05.036.

FEE, **Indic. Econ.** Porto Alegre, v. 44, n. 2, p. 9-26, 2020.

FENNEMA, O. **Química de los Alimentos**. 2ª Ed. Editorial Acribia. Espanha, 2000, 1258p.

FENNEMA, O. R., DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de fennema**. (4. ed.). Porto Alegre: Editora Artmed, 2010.

FERNÁNDEZ-GARCÍA, E., MCGREGOR, J. U., & TRAYLOR, S. The Addition of Oat Fiber and Natural Alternative Sweeteners in the Manufacture of Plain Yogurt. **Journal of Dairy Science**. doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(98)75620-6, 1998.

FERRAZ, C. A., FONTES, R. L., FONTES-SANT'ANA, G. C., CALADO, V., LÓPEZ, E. O., ROCHA-LEÃO, M. H. Extraction, Modification, and Chemical, Thermal and Morphological Characterization of Starch from the Agro-Industrial Residue of Mango (*Mangifera indica* L) var. Ubá. **Starch-Stärke**, 71(1-2), 1800023, 2019. Doi:10.1002/star.201800023.

FERREIRA, Shana Pires; PINTO, Marta Heidtmann; VARELA, Wilian José; AUGUSTO, Marta Maria Marquezan; RUIZ, Walter Augusto. **Influência da concentração de soro de leite e de amido modificado sobre algumas características de composição de bebidas lácteas não fermentadas**, Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, v. 64, n. 371, p. 5-12, 2009.

FINOCCHIARO, F.; FERRARI, B.; GIANINETTI, A. A study of biodiversity of flavonoid content in the rice caryopsis evidencing simultaneous accumulation of anthocyanins and proanthocyanidins in a black-grained genotype. **Journal of Cereal Science**, v. 51, n. 1, p. 28–34, 2010.

FLORENTINO, E.R. Production of Coalho Cheese with Pasteurized Milk; **UEPB**: Campina Grande, Brazil, 1997.

FOCUS. On modified starches. **Food Ingredients**, n.1/2, p.60-63, 1993.

FONSECA, L. M.; HALAL, S. L. M. E.; DIAS, A. R. G.; ZAVAREZE, E. DA R. Physical modification of starch by heat-moisture treatment and annealing and their applications: A review. **Carbohydrate Polymers**, 274(September), 118665, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118665>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAOSTAT. **Production of cereals and share in world**. 2019. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data>>. Acesso em: 15 jan. 2022.

FRASSON, S. F. **Modificação de amido de arroz por tratamento térmico de baixa umidade adicionado de óleo de abacate: processo via autoclave versus micro-ondas**. 2022. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Medianeira, 2022.

FREITAS, D. M. **Extração de polissacarídeos do caroço de açaí**, 81 f. Dissertação - São Carlos. UFSCar, Programa de pós-graduação em biotecnologia, 2010.

FREITAS, M. The benefits of yogurt, cultures, and fermentation. In: FLOCH, M. H.; RINGEL, Y.; ALLAN, W. The Microbiota in gastrointestinal pathophysiology: implication for human health, prebiotics, probiotics and dysbiosis. **United States: Academic Press**, 2017. p. 209-223.

GAHRUIE, H. H. ESKANDARI, M. H.; MESBAHI, G.; AMIN, H. Scientific and technical aspects of yogurt fortification: A review. **Food Science and Human Wellness**, [Beijing], v. 4, p. 1-8, 2015.

GOMES, A. M. M.; SILVA, C. E. M. da; RICARDO, N. M. P. S.; SASAKI, J. M.; GERMANI, R. Impact of annealing on the physicochemical properties of unfermented cassava starch (“Polvilho doce”). **Starch/Stärke**, v.56, p.419-423, 2004.

GONZÁLEZ-TOMÁS, L. & BAYARRI, S. & TAYLOR, A.J. & COSTELL, E. Rheology, flavour release and perception of low-fat dairy desserts. **International Dairy Journal**. 18. 858-866. 10.1016/j.idairyj.2007.09.010., 2008

GUNARATNE, A.; HOOVER, R. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 49, n. 4, p. 425–437, 2002.

GUO, P., YU, J., WANG, S., WANG, S., & COPELAND, L. Effects of particle size and water content during cooking on the physicochemical properties and *in vitro* starch digestibility of milled durum wheat grains. **Food Hydrocolloids**, 77, 445–453, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.10.021>.

HALLEY, P. J. & AVEROUS, L. Starch Polymers From Genetic Engineering to Green Application. **Elsivier**, 2014.

HARNLY, J. M.; DOHERTY, R. F.; BEECHER, G. R.; et al. Flavonoid Content of U. S. Fruits , Vegetables , and Nuts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 26, p. 9966–9977, 2006.

HENARES, J. F. **Caracterização do efluente de laticínio: análise e proposta de tratamento**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

HORA DE SOUZA, M. D., PALMA, E. A., DINIZ, A. P. B., & AMPARO, V. P. DO. **Contributions of land reform to food production and distribution in Brazil: Contribuições da reforma agrária na produção e distribuição de alimentos no Brasil**. *Concilium*, 23(12), 139–150, 2023. <https://doi.org/10.53660/CLM-1510-23H39>

HULL, P. *Glucose Syrups Technology and Applications*. **Wiley Blackwell**, 2010.

HÜTTNER KRINGEL, D.; HALAL S. L. M. E.; ZAVAREZE E. R.; DIAS A. R. G. Methods for the Extraction of Roots, Tubers, Pulses, Pseudocereals, and Other Unconventional Starches Sources: A Review. **Starch: Biosynthesis, Nutrition, Biomedical** [s. l.], 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.201900234>. Acesso em: 13 jan. 2022.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 mai. 2017.

ICEPA. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina**. Florianópolis, 2009.

ITO, V. C.; LACERDA, L. G.; Black rice (*Oryza sativa* L.): A review of its historical aspects, chemical composition, nutritional and functional properties, and applications and processing technologies. **Food Chemistry**, v. 301, p.1-36, dez. 2019.

IURCKEVICZ, G.; MARQUES, P. T.; LIMA, V. A. Chemical and Chemometric Analysis of Modified Starch Matrices for Sodium Trimetaphosphate. **Revista Virtual de Química**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 1462-1480, 2017. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20170085>.

JULIANO, B. O. **Rice in human nutrition**. [www.fao.org](http://www.fao.org), 1993.

KATSURAYAMA, A. M.; MARTINS, L.G.; IAMANAKA, B.T.; FUNGARO, M.H.P.; SILVA, J. J.; FRISVAD, J. C.; PITT, J. I.; TANIWAKI, M. H. Occurrence of *Aspergillus* section *Flaviand* aflatoxins in Brazilian rice: From field to market. **International Journal of Food Microbiology**, v. 266, p. 213-221, 2018

KAWASSAKI, F. **Efeito da região de plantio, cultivares, safras e parboilização sobre compostos fenólicos com atividade antioxidante em arroz integral produzido no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Bromatologia) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

KIESERLING, K., VU, T. M., DRUSCH, S., & SCHALOW, S. Impact of pectin-rich orange fibre on gel characteristics and sensory properties in lactic acid fermented yoghurt. **Food Hydrocolloids**. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.051, 2019.

KUMAR, A.; LAL, M. K.; NAYAK, S.; SAHOO, U.; BEHERA, A.; BAGCHI, T. B.; PARAMESWARAN, C.; SWAIN, P.; SHARMA, S. Effect os parboiling on starch digestibility and mineral bioavailability in rice (*Oryza sativa* L.). **LWT**, v. 156, 2022.

KUSHWAHA U. K. S. **Black Rice: Research, History and Development**. **Springer International Publishing**, 2016.

KUSUNOSE, C.; FUJII, T.; MATSUMOTO, H.; Role of Starch Granules in Controlling Expansion of Dough During Baking. **Cereal Chem**, 76, 920, 1999.

LACERDA, L. G.; DA SILVA CARVALHO FILHO, M. A.; BAUAB, T.; DEMIATE, I. M.; COLMAN, T. A. D.; ANDRADE, M. M. P.; SCHNITZLER, E. The effects of heatmoisture treatment on avocado starch granules. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 120, p. 387–393, 2015.

LACERDA, Liziane Dantas. **Desenvolvimento de bioadsorvente à base de amido de arroz hidrolisado enzimaticamente**. 2018. Tese de Doutorado - UFRN, [S. l.], 2018.

LAI, H. M. Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of 688 pregelatinized rice flour. **Food Chemistry**, 72, 455-463, 2001.

LAMBERTS, L.; ROMBOUTS, I.; BRIJS, K.; GEBRUEERBS, K.; DELCOUR, J. A. Impact of parboiling conditions on Maillard precursors and indicators in long-grain rice cultivars. **Food Chemistry**. 110, 4, 916 – 922, 2008.

LI, H.; WANG, R.; LIU, J.; ZHANG, Q.; LI, G.; SHAN, Y.; DING, S. Effects of heatmoisture and acid treatments on the structural, physicochemical, and in vitro digestibility properties of lily starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 148, p. 956–968, 2020.

LI, Z.; WEI, C. Morphology, structure, properties and applications of starch ghost: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 163, p. 2084–2096, nov, 2020.

LIMA, R.H.P.; LOPES, H.M.; MENEZES, B.R.S. Desempenho agrônômico de tipos especiais de arroz sob sistema de irrigação por inundação e transplante de mudas. **Magistra**, v.30, p.331-335, 2019.

LIU, C., LIU, L., LI, L., HAO, C., ZHENG, X., BIAN, K., & WANG, X. (2015). Effects of different milling processes on whole wheat flour quality and performance in steamed bread making. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 310-318, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.030>.

LIU, K.; ZHANG, B.; CHEN, L.; LI, X.; ZHENG, B. Hierarchical structure and physicochemical properties of highland barley starch following heat moisture treatment. **Food Chemistry**, v. 271, n. July 2018, p. 102–108, 2019.

LLOYD, J. R.; KOSSMANN, J. Starch trek: The search for yield. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 9, p. 1–8, jan, 2019.

LOPES, R. P., MOTA, M. J., PINTO, C. A., SOUSA, S., LOPES DA SILVA, J. A., GOMES, A. M., SARAIVA, J. A. Physicochemical and microbial changes in yogurts produced under different pressure and temperature conditions. **LWT**. [doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.074](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.074), 2019.

MACKON, E.; MACKON, G.C.J.D.E.; MA, Y.; KASHIF M.H., ALI, N.; USMAN, B.; LIU P. Recent Insights into Anthocyanin Pigmentation, Synthesis, Trafficking, and Regulatory Mechanisms in Rice (*Oryza sativa* L.) Caryopsis. **Biomolecules**. v. 11(3), n. 394. 2021.

MAGANHA, M. F. B. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Produtos Lácteos**. São Paulo: CETESB, 2006.

MAKROO, H. A. NAQASH, S.; SAXENA, J.; SHARMA, S. Recovery and characteristics of starches from unconventional sources and their potential applications: A review. **Applied Food Research**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 100001, 2021.

MANIGLIA, B. C.; TAPIA-BLÁCIDO, D. R. Isolation and characterization of starch from babassu mesocarp. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 55, p. 47–55, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.11.001>

MARBOH, V.; MAHANTA, C. L. Physicochemical and rheological properties and in vitro digestibility of heat moisture treated and annealed starch of sohphlang (*Flemingia vestita*) tuber. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 168, p. 486–495, 2021.

MATHOBO, V. M.; SILUNGWE, H.; RAMASHIA, S. E.; ANYASI, T. A. Effects of heatmoisture treatment on the thermal, functional properties and composition of cereal, legume and tuber starches—a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, p. 412-426, 2021.

MCGRANCE, S. J., CORNELL, H. J., RIX, C. J. A simple and rapid colorimetric method for the determination of amylose in starch products. **Starch-Stärke**, 50(4), 158-163, 1998. Doi: 10.1002/(SICI)1521-379X(199804)50:4%3C158::AID-STAR158%3E3.0.CO;2-7.

MCKINLEY, M. The nutrition and health benefits of yoghurt. **International Journal of Dairy Technology**, Huntingdon, v. 58, p. 1-12, 2005.

MICHAEL, M.; PHEBUS, R.; SCHMIDT, K. Impact of a plant extract on the viability of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* in nonfat yogurt. **International Dairy Journal, Barking**, v. 20, n. 10, p. 665-672, 2010.

MILANI, P. CARNAHAN, E.; KAPOOR, S.; ELLISON, C.; MANUS, C.; SPOHRER, R.; BERG, G.; WOLFSON, J.; KREIS, K. Social marketing of a fortified staple food at scale: Generating demand for fortified rice in Brazil. **Journal of Food Products Marketing**, v. 23, n. 8, p. 955-978, 2017.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for the determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, 31(3), 426-428, 1959. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>.

MIN, B.; MCCLUNG, A. M.; CHEN, M. H. Phytochemicals and antioxidant capacities in rice brans of different color. **Journal of Food Science**, v. 76, p. C117–C126, 2011.

MINAS GERAIS. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Laticínios**. 68p., 2020.

MINOLTA. **Chroma meter CR-400/410**: instruction manual. Osaka, 2007. 156 p.

MIRANDA, V. R.; CARVALHO, A. J. F. Blendas compatíveis de amido termoplástico e polietileno de baixa densidade compatibilizadas com ácido cítrico. **Polímeros**, 21, 353, 2011.

MOAD, G. Progress in Polymer Science Chemical modification of starch by reactive extrusion. **Prog. Polym. Sci.** 36, 218–237, 2011.

MORREALE, F.; BENAVENT-GIL, Y.; ROSELL, C. M. Inulin enrichment of gluten free breads: Interaction between inulin and yeast. **Food Chemistry**, v. 278, p.545-551, abr. 2019.

MOSCOSO, J.S.C.; SOUZA, R.F.S.; ARAÚJO, L.M. Uso de adubação orgânica na cultura do arroz vermelho sob estresse hídrico: formas de potencializar a produtividade e conservar o meio ambiente. **Revista EDUCAmazônia**, v.13, n.2, p.238-260, 2019.

MOUNSEY, J. S.; O'RIORDAN, E. D. Characteristics of imitation cheese containing native starches. **Journal of Food Science**, v.66, n.4, p. 586-591, 2001.

MUNHOZ, M. P.; WEBER, F. H.; CHANG, Y. K. Influência de hidrocolóides na textura de gel de amido de milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [S. l.], 24.3: 403-406, 2004.

MUNTANA, N.; PRASONG, S. Study on Total Phenolic Contents and their Antioxidant Activities of Thai White, Red and Black Rice Bran Extracts. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, 13: 170-174, 2010.

NADIHA, M. N., FAZILAH, A., BHAT, R., KARIM, A. A. Comparative susceptibilities of sago, potato and corn starches to alkali treatment. **Food Chemistry**, 121(4), 1053-1059, 2010. Doi: 10.1016/j.foodchem.2010.01.048.

NAWAZ, H. et al. Physical and Chemical Modifications in Starch Structure and Reactivity. **Chemical Properties of Starch**. IntechOpen, 2020.

NEVES, I. L. 2019, Ponta Grossa. **EXTRAÇÃO DE ANTOCIANINAS E COMPOSTOS FENÓLICOS DO ARROZ PRETO (*ORYZA SATIVA* L.) POR METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA COM SOLVENTE ATÓXICO**. Ponta Grossa: Eaic, 2019. 4 p.

OGAWA, M. Red rice. **Chemistry and organisms**, [Japan]. v.30, n.6, p.385-388, 1992.

OLIVEIRA, C. M. **Bactérias degradadoras de lactose e glúten presentes em queijos e iogurtes encontrados no mercado de Manaus: alternativas para a intolerância à lactose e à Doença Celíaca**. 2017. Tese de Doutorado - UFAM, [S. l.], 2017.

OLIVEIRA, L. N.; MARINHO, V. T.; ZAMAGNO, M. V.; LAURO, M. A.; BARBOSA J. A. N.; SILVA, P. H. F. Avaliação do índice de soroproteína não-desnaturada como um indicador de tratamento térmico para leite UHT e leite em pó. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, 70, 78-84, 2019.

OLIVEIRA, M. S. C.; JESUS, J. H.; BRONDANI, F. M. M.; LIMA, R. R. O.; VIEIRA, R. Physical-chemical properties of carach starch (*Dioscorea cayannensis*) native and modified by acetation. **The Journal of Engineering and Exact Sciences – JCEC**, v. 04, n. 04, 2018.

OMOREGIE EGHAREVBA, H. Chemical Properties of Starch and Its Application in the Food Industry. In: **Chemical properties of starch**. [S. l.]: IntechOpen, 2020. v. 32, p. 137–144. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.87777>.

PAIVA, F. F.; VANIER, N. L.; BERRIOS, J. D. J.; PINTO, V. Z.; WOOD, D.; WILLIAMS, T.; PAN, J.; ELIAS, M. C. Polishing and parboiling effect on the nutritional and technological properties of pigmented rice. **Food Chemistry**, v. 191, p. 105–112, 2014.

PANTONE, D.J., BAKER, J.B. Reciprocal yield analysis of red rice (*Oryza sativa*) competition in cultivated rice. **Weed Science**, Champaign, v.39, n.1, p.42-47, 1991.

PAPADOPOULOU, V.; KOSMIDIS, K.; VLACHOU, M.; MACHRAS, P. On the use of the Weibull function for the discernment of drug release mechanisms. **International Journal of Pharmaceutics**, 309, 44, 2006.

PARK, E. Y.; KIM, H.; KIM, J.; LIM, S. Pasting properties of potato starch and waxy maize starch mixtures. **Starch/Stärke**, v. 61, p. 352-357, 2009.

PASEEPHOL, T.; SMALL, D. M.; SHERKAT, F. Rheology and texture set yogurt as affected by inulin addition. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 39, p. 617-634, 2008.

PEDROSO, B. A. Biologia e importância do arroz vermelho. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.38, n.359, p.37-38, 1985.

PEIXOTO, R. **Estudo indica cultivares de arroz vermelho e preto com maior atividade antioxidante**. 2019. EMBRAPA Arroz e Feijão. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/41197731/estudo-indica-cultivares-de-arroz-vermelho-e-preto-com-maior-atividade-antioxidante>. Acesso em: 23 jul. 2023.

PENNA, A. L. B.; OLIVEIRA, M. N.; TAMINE, A. Y. Influence of carrageenan and total solids content on the rheological properties of lactic beverage made with yogurt and whey. **Journal of Texture Studies**, 34, 95 – 113, 2003.

PEREIRA, J. A. O arroz-vermelho cultivado no Brasil (96p.). Teresina, PI: **Embrapa Meio-Norte**, 2004.

PEREIRA, J.A.; MORAIS, O.P.; BASSINELO, P.Z. Atributos agronômicos de linhagens de arroz vermelho desenvolvidas para o nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO. **Anais Itajaí: Epagri**, p.240-243, 2011.

PÉREZ, S.; BALDWIN, P. M.; GALLANT, D. J. Structural features of starch granules I. In: BEMILLER, J.; WHISTLER, R. Starch: chemistry and technology. **Burlington: Academic Press**, chap. 5, p. 149-192, 2009.

PINHEIRO, M. V. S.; PENNA, A. L. B. Substitutos de gordura: tipos e aplicações em produtos lácteos. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, 15.2: 175-186, 2008.

PINTO, V. Z. **Efeito do tratamento térmico de baixa umidade e da oxidação nas propriedades físico-químicas, reológicas e térmicas do amido de pinhão (*Araucaria augustifolia*, Bert, O. Ktze)** (2011). Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia Agroindustrial), Universidade Federal de Pelotas, 2011.

PINTO, V. Z.; VANIER, N. L.; DEON, V. G.; MOOMAND, K.; HALAL, S. L. M. E.; ZAVAREZE, E. R.; LIM, L. T.; DIAS, A. R. G. Effects of single and dual physical modifications on pinhão starch. **Food Chemistry**, v. 187, p. 98–105, 2015.

PLANETA ARROZ. Aquele 1 por cento – O Brasil descobre as cores e sabores dos arrozes especiais. **Planeta Arroz**, edição 63, 2017.

PRATIWI, M.; FARIDAH, D. N.; LIOE, H. N. Structural changes to starch after acid hydrolysis, debranching, autoclaving-cooling cycles, and heat moisture treatment (HMT): A review. **Starch/Stärke**, v. 70, n. 1–2, p. 1–13, 2018.

PRZETACZEK-ROZNOWSKA, I.; FORTUNA, T.; WODNIAK, M.; LABANOWSKA, M.; PAJAK, P.; KRÓLIKOWSKA, K. Propriedades da fécula de batata tratada com radiação de microondas e enriquecida com aditivos minerais. **Jornal Internacional de Macromoléculas Biológicas**, v. 124, p. 229-234, mar. 2018

PUCHONGKAVARIN, H.; VARAVINIT, S.; BERGTHALLER, W. Comparative study of pilot scale rice starch production by an alkaline and an enzymatic process. **Starch/Stärke** 57, 134–144, 2005.

PUNIA, S. Barley starch modifications: Physical, chemical and enzymatic - A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 144, p. 578–585, fev. 2020.

QIN, Y. LIU, C.; JIANG, S.; XIONG, L. Characterization of starch nanoparticles prepared by nanoprecipitation: Influence of amylose content and starch type. **Industrial Crops & Products**, v. 87, p. 182–190, sep, 2016.

QUIROGA, A. L. B. Amidos. **Food ingredients Brasil**, [s. l.], v. n. 35, p. 31–56, 2015.

RAIGOND, P.; EZEKIEL, R.; RAIGOND, B. Resistant starch in food: A review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 10, p. 1968–1978, 2015.

RAIZEL, R.; SANTINI, E.; KOPPER, A.M.; REIS FILHO, A.D. Efeitos do consumo de probióticos, prebióticos e simbióticos para o organismo humano. **Revista Ciência & Saúde**, 4, 2, 66-74 jul./dez. 2011.

RAMÍREZ, M. G. L. **Desenvolvimento de biocompósitos de amido termoplástico reforçados por fibra de coco verde**. 2011. 168 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba., 2011. Disponível em: <https://bityli.com/5RRPK>. Acesso em 06 fev. 2022.

RAMLI, M. E.; SALLEH, R. M.; TAJARUDIN, H. A.; ZULKURNAIN, M. Influence of amylose content on phenolics fortification of different rice varieties with butterfly pea (*Clitoria ternatea*) flower extract through parboiling. **LWT**, 147, 2021.

RAVI, R; SUSELAMMA, N. S. Simultaneous optimization of a multy-response system by desirability function analysis of boondi making: A case study. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 70, p. S539-S547, 2005.

REIS, J. S.; MIYAGI, E. S.; CHANDELIER, R. A.; BERGAMASCO, A. F.; LOBATO, V.; MOURA, C. J. **Fabricação de Derivados do Leite Como uma Alternativa de Renda ao Produtor Rural [Relatório]**. – Lavras - MG: 2010.

Revista Brasileira de Sementes, vol. 29, nº 1, 2007.

RICE-EVANS, C.; MILLER, N.; PAGANGA, G. Antioxidant properties of phenolic compounds. **Trends in Plant Science**, 2(4), 152–159, 1997.

ROA, D. F.; SANTAGAPITA, P. R.; BUERA, M. P.; TOLABA, M. P. Ball Milling of Amaranth Starch-Enriched Fraction. Changes on Particle Size, Starch Crystallinity, and Functionality as a Function of Milling Energy. **Food Bioprocess Technol**, v. 7, p.2723-2731, 2014.

ROBERT, J. **Resistant starch is effective in lowering body fat in a rat model of human endocrine obesity**. Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and

Mechanical College in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in The School of Human Ecology By Julina Robert BS, Louisiana State University, 2008.

SADTLER, V. M.; IMBERT, P.; DELLACHERIE, E. Ostwald ripening of oil-in-water emulsions stabilized by phenoxy-substituted dextrans. **Journal of Colloid and Interface Science**, New York, v. 254, p. 355-361, 2002.

SANCHES, F. L. **Utilização de leite de coco na elaboração de sobremesa cremosa sabor cacau** (Trabalho de conclusão de curso). Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 2018.

SANDHU, K. S.; SINGH, N.; KAUR, N.; J. Effect of Processing method on Pasting, Morphological and Sensory Properties of Akamu- a Nigerian Fermented Maize Product. **Food Eng.** 2004, 64, 119.

SANTOS, L. P., MORAIS, D.R.; SOUZA N.E.; COTTICA, S.M.; BOROSKI, M.; VISENTAINER, J.V. Phenolic compounds and fatty acids in different parts of *Vitis labrusca* and *V. vinifera* grapes. **Food Research International**, v. 44, 1414-1418, 2011.

SCANDOLARA, C. **Influência dos Amidos Nativos e Modificados nas Propriedades Físico-químicas e de Textura da Mortadela de Frango**. 2017. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

SCHAFRANSKI, K.; ITO, V. C.; LACERDA, L. G. Impacts and potential applications: A review of the modification of starches by heat-moisture treatment (HMT). **Food Hydrocolloids**, v.117, 2021.

SCHMIELE, M.; SAMPAIO, U. M.; CLERICI, M. T. P. S. Basic Principles: Composition and Properties of Starch. Starches for Food Application, p. 1-22, **Academic Press**, 2019.

SERRANO, P. O.; FRANCO, C. M. L. Modificações hidrotérmicas ("Annealing") e hidrólise enzimática do amido de mandioca. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.8, p.220-232, 2005.

SERT, D., MERCAN, E., & DERTLI, E. Characterization of lactic acid bacteria from yogurtlike product fermented with pinecone and determination of their role on physicochemical, textural and microbiological properties of product. **LWT - Food Science and Technology**. doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.023, 2017.

SHAIKH, F.; ALI, T. M.; MUSTAFA, G.; HASNAIN, A. Comparative study on effects of citric and lactic acid treatment on morphological, functional, resistant starch fraction and glycemic index of corn and sorghum starches. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 135, p. 314–327, 2019.

SHAO, Y.; BAO, J. Polyphenols in whole rice grain: Genetic diversity and health benefits. **Food chemistry**, v. 180, p. 86–97, 2015.

SILVA, M. E. C.; PACHECO, M. T. B.; ANTUNES, A. E. C. Estudo da viabilidade tecnológica da aplicação de coacervado de soro de leite com carboximetil celulose em iogurte probiótico. **Brazilian Journal Food Technology**, 13, 1, 30-37, 2010.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. O Arroz no Brasil: Evidências do Censo Agropecuário 2006 e Anos Posteriores. **Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão**, 2014.

SILVA, R. R.; ASSUMPÇÃO, M.; FERNANDES, P. M.; FELICIANO, T. A.; VIEIRA C. R.; LOMEU, F. L. R. O. Efeito da utilização de gomas na viscosidade e nas características sensoriais de shake à base de farinha de banana verde. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. 152-160, 2018.

SILVA, T. N.; DA COSTA, A. R.; GARCIA-ROJAS, E. E. Textural behavior of gels formed by rice starch and whey protein isolate: Concentration and crosshead velocities. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 41, n. 6, p. 713–723, 2017.

SILVA, W. P., PRECKER, J. W., SILVA, C. M. D. P. S., & SILVA, D. D. P. S. Determination of the effective diffusivity via minimization of the objective function by scanning: Application to drying of cowpea. *Journal of Food Engineering*, 95, 298–304, 2009. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2009.05.008.

SINGH, H. Heat stability of milk. **International Journal of Dairy Technol**, 57, 2004.

SINGH, J., KAUR, L., MCCARTHY, O. J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications — A review. **Food Hydrocoll.** 21, 1–22, 2007.

SITOHY, M. Z.; EL-SAADANY, S. S.; LABIB, S. M.; RAMADAN, M. F.; Physicochemical Properties of Different Types of Starch Phosphate Monoesters, **Starch/Stärke**, 52, 101, 2000.

SJÖÖ, M.; NILSSON, L. Starch in Food: Structure, Function and Applications. 2. nd. **Royston: Woodhead Publishing**, 916 p., 2017.

SOUSA, J. V. **Industrialização e gestão de resíduos de arroz no brasil**. 2019. (Trabalho de conclusão de curso) - Universidade Federal De Uberlândia, [S. l.], 2019.

SOUSA, R.V.; MATA, M.E.R.M.C.; DUARTE, M.E.M. Influência do teor de água nas propriedades físicas dos grãos de arroz vermelho em casca. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.18, n. Especial, p.495-502, 2016.

SOYKEABKAEW, N.; THANOMSILP, C.; SUWANTONG, O. A review: Starch-based composite foams. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 78, p. 246– 263, nov, 2015.

SUMCZYNSKI, D.; KOTÁSKOVÁ, E.; DRUŽBÍKOVÁ, H.; IČEK, J. Determination of contents and antioxidant activity of free and bound phenolics compounds and in vitro digestibility of commercial black and red rice (*Oryza sativa* L.) varieties. **Food Chemistry**, v. 211, p. 339–346, 2016.

SUPAVITIPATANA, P. **Effect of *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* and yogurt ingredients on properties of corn milk yogurts**. 2007. Tese (Doutorado) - Chiang Mai University, Thailand, 2007.

TAGLIAPIETRA, B. L.; FELISBERTO, M. H. F.; SANCHES, E. A.; CAMPELO, P. H.; CLERICI, M. T. P. S. Non-conventional starch sources. **Current Opinion in Food Science**, p. 93–102, 2021.

TAKEDA, Y.; SHIRASAKA, K.; HIZUKURI, S. Examination of the purity and structure of amylose by gel-permeation chromatography. **Carbohydrate Research**, v. 132, p. 83-92, 1984.

TAKEUCHI, K. P.; SABADINI, E.; CUNHA, R. L. Análise das propriedades mecânicas de cereais matinais com diferentes fontes de amido durante o processo de absorção de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 78-85, mar. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612005000100013>.

TAVARES, J. A. S. et al. ANÁLISE MORFOLÓGICA DE FARINHAS DE ARROZ CRUA E SUBMETIDAS À TORRAÇÃO EM MICRO-ONDAS. In: COBRAN, I., 2012, São Paulo. **CNPTIA-EMBRAPA**. São Paulo: Cnptia, 2012. p. 1-4.

THAMMER, K. G.; PENNA, A. L. B. Caracterização de bebidas lácteas funcionais fermentadas por probióticos e acrescida de prebiótico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 26(3), 589 – 595, 2006.

TORRES, F. R. **ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS SENSORIAIS, FÍSICAS E QUÍMICAS EM REQUEIJÃO CREMOSO TRADICIONAL E ADICIONADO DE AMIDO E GORDURA VEGETAL, OBTIDOS NO COMÉRCIO VAREJISTA**. 2015. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-

VACLAVIK, V. A.; CHRISTIAN, E. W. **Essentials of Foods Science**. Springer, 2014.

VALENCIA, M. S. **Desenvolvimento de sobremesa láctea cremosa de chocolate adicionada de fruto-oligossacarídeo e *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* LBC 81**. 2015. 69f. Dissertação (Mestrado em Nutrição) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

VANDEPUTTE, G. E.; DELCOUR, J. A. From sucrose to starch granule to starch physical behaviour: A focus on rice starch. **Carbohydr. Polym.** 58, 245–266, 2004.

VANDEPUTTE, G. E.; VERMEYLEN, R.; GEEROMS, J.; DELCOUR, J. A.; J. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinisation behaviour of granular starch. **Cereal Science**, v. 38, 2003.

VARGAS, C. G. **Caracterização e utilização de arroz vermelho (*Oryzagliaberrima*) e preto (*Oryza sativa*) e seus subprodutos para produção de filmes biodegradáveis**. 2018. Tese (doutorado) (Mestre e nutrição em alimentos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul) - Instituto de ciência e tecnologia de alimentos, [S. l.], 2018.

VARGAS, E. S.; FIEGENBAUN, J. A evolução da agroindústria de laticínios no Brasil com base nos indicadores de estrutura, conduta e desempenho. **Teoria e Evidência Econômica**, Passo Fundo, ano 20, n. 42, p. 9-41, jan/jun. 2014.

VILARDELL, N.; ROFES, L.; ARREOLA, V.; SPEYER, R.; CLAVÉ, P. A Comparative Study Between Modified Starch and Xanthan Gum Thickeners in Post-Stroke Oropharyngeal Dysphagia. **Dysphagia**, v. 31, n. 2, p. 169–179, abr. 2016.

VOET, D.; VOET, J. G. **Biochemistry**. 4ª ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc. p.369-370, 2011.

WAIGA, L. H. **Extração e caracterização térmica, morfológica e de pasta do amido de gengibre nativo e modificado quimicamente**. 2018. 118 f. Dissertação (Mestrado) -

Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2018.

WANG, L.; WANG, Y. Rice starch isolation by neutral protease and high intensity ultrasound. **Journal of Cereal Science**. 291–296, 2004.

WANG, S.; CHAO, C.; CAI, J.; NIU, B.; COPELAND, L.; WANG, S. Starch–lipid and starch–lipid–protein complexes: A comprehensive review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, n. 3, p. 1056–1079, 2020.

WANG, S.; WANG, J.; YU, J.; WANG, S. A comparative study of annealing of waxy, normal and high-amylose maize starches: The role of amylose molecules. **Food Chemistry**, v. 164, p. 332–338, 2014.

WEBER, J. M. **Arroz: características químicas, culinárias e nutricionais das diferentes variedades consumidas no Brasil**. Trabalho de conclusão de curso - UNB, [S. l.], 2012.

WIJAYA, C. DO, Q. D.; JU, Y. H.; SANTOSO, S. P.; PUTRO, J. N.; LAYSANDRA, L.; SOETAREDJO, F. E.; ISMADJI, S. Isolation and characterization of starch from *Limnophila aromatica*. **Heliyon**, [s. l.], v. 5, n. 5, p. e01622, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01622>.

XIE, H.; GAO, J.; XIONG, X.; GAO, Q. Effect of heat-moisture treatment on the physicochemical properties and in vitro digestibility of the starch-guar complex of maize starch with varying amylose content. **Food Hydrocolloids**, v. 83, p. 213–221, 2018.

YAN, H.; ZHENG BIAO, G. U. Morphology of modified starches prepared by different methods. *Food Research International*. **Oxford**, v. 43, n. 1, p. 767–772. 2010.

YANG, X.; CHI, C.; LIU, X.; ZHANG, Y.; ZHANG, H.; WANG, H. Understanding the structural and digestion changes of starch in heat-moisture treated polished rice grains with varying amylose content. **International Journal of Biological Macromolecules**, 139, 785–792, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.051>

YANJIE, X. U., YINING, Y. I. N. G., SHUHONG, O. U. Y. A. N. G., XIAOLIANG, D. U. A. N., HUI, S. U. N., SHUKUN, J. I. A. N. G., & JINSONG, B. A. O. Factors affecting sensory quality of cooked japonica rice. **Rice Science**, 25(6), 330–339, 2018.

YUE, P., WARING, S. Resistant starch in food applications. **Cereal Food World**, 43(9), 690–695, 1998.

ZAVARESE, E. R. **Extração e tratamentos hidrotérmicos de amido de arroz**. 2009, 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2009.

ZAVAREZE, E. D. R.; DIAS, A. R. G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 2, p. 317–328, 2011.

ZHANG, H.; SHAO, Y.; BAO, J.; BETA, T. Phenolic compounds and antioxidant properties of breeding lines between the white and black rice. **Food Chemistry**, v. 172, p. 630–639, 2015.

ZHANG, P.; HAMAKER, B. R. Estrutura e digestibilidade de amido de banana. **Polímeros de carboidratos**, v. 87, p. 1552–1558, 2012.

ZHANG, W.; WANG, H.; ZHANG, Y.; YANG, Y. Effects of resistant starch on insulin resistance of type 2 diabetes mellitus patients. **Chinese Journal of Preventive Medicine**, v.41, n.2, p.101, 2007.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p. 849-868, 2002.

ZHU, F. Modifications of starch by electric field-based techniques. **Trends in Food Science & Technology**, v. 75, p. 158–169, 2020.

ZHU, F.; XIE, Q. Structure and physicochemical properties of starch. In: **Physical Modifications of Starch**. [s.l: s.n.]. p. 1–14, 2018.

ZHU, W.; ZHANG, Z. Preparation and characterization of catechin-grafted chitosan with antioxidant and antidiabetic potential. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 70, p. 150–155, 2014.

ZISKA, L.; McCLUNG, A. Differential response of cultivated and weedy (red) rice to recent and projected increases in atmospheric carbon dioxide. **Agronomy Journal, Madison**, v.100, n.5, p.1259-1263, 2008.