

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

LARISSA SILVA COUTO

**Amido de milho modificado por fermentação com ou sem
iniciadores e secagem ao sol, e aplicação em biscoitos enriquecidos
com gérmen de milho**

Goiânia
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

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

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

1. Identificação do material bibliográfico

☒ Dissertação ☐ Tese ☐ Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Larissa Silva Couto

3. Título do trabalho

Amido de milho modificado por fermentação com ou sem iniciadores e secagem ao sol, e aplicação em biscoitos enriquecidos com gérmen de milho

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

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

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

- a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);
 - b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.
- O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

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

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



Documento assinado eletronicamente por **Larissa Silva Couto, Discente**, em 28/03/2023, às 14:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Manoel Soares Soares Júnior, Professor do Magistério Superior**, em 10/04/2023, às 16:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3618135** e o código CRC **B29FD80B**.

LARISSA SILVA COUTO

Amido de milho modificado por fermentação com ou sem iniciadores e secagem ao sol, e aplicação em biscoitos enriquecidos com gérmen de milho

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, como exigência para a obtenção de título de mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos

Orientador: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior
Co-orientador: Prof. Dr. Márcio Caliar

Goiânia
2023

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

Couto, Larissa Silva

Amido de milho modificado por fermentação com ou sem iniciadores
e secagem ao sol, e aplicação em biscoitos enriquecidos com germen
de milho [manuscrito] / Larissa Silva Couto. - 2023.
LXXXV, 85 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior, co-orientador
Dr. Márcio Calian.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola
de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos, Goiânia, 2023.

Bibliografia. Anexos. Apêndice.

Inclui gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. FTIR. 2. Raio X. 3. Propriedade térmica. 4. Ângulo Hue. 5.
Biscoito Chipa. I. Júnior, Manoel Soares Soares, orient. II. Título.

CDU 664



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE AGRONOMIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 107 da sessão de Defesa de Dissertação de Larissa Silva Couto, que confere o título de Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos, na área de concentração em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aos vinte e oito dias do mês de março do ano de dois mil e vinte e três, a partir das dez horas, via videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “Amido de milho modificado por fermentação com ou sem iniciadores e secagem ao sol, e aplicação em biscoitos enriquecidos com gérmen de milho”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Doutor Manoel Soares Soares Júnior (EA/UFG), com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Doutor Rodrigo Barbosa Monteiro Cavalcante (FN/UFG), membro titular interno; Doutora Tania Aparecida Pinto De Castro Ferreira (EA/UFG), membro titular interno e Doutora Aryane Ribeiro Oliveira, membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca não fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata aprovada pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **ARYANE RIBEIRO OLIVEIRA, Usuário Externo**, em 29/03/2023, às 16:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Manoel Soares Soares Júnior, Professor do Magistério Superior**, em 30/03/2023, às 16:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Barbosa Monteiro Cavalcante, Professor do Magistério Superior**, em 30/03/2023, às 17:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tania Aparecida Pinto De Castro Ferreira, Professora do Magistério Superior**, em 30/03/2023, às 17:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3632976** e o código CRC **9476E9E7**.

DEDICATÓRIA

Ao meu avô, Genaro Galdino (*in memoriam*), que sempre me incentivou a buscar o melhor, dedico.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo agradeço a Deus pela oportunidade de conquistar este tão almejado título, além de colocar em minha trajetória pessoas maravilhosas que tornaram o caminho menos árduo. Por isso, deixo aqui o meu agradecimento à minha mãe, Suelena Maria da Silva, que é a pessoa que me possibilita sonhar e realizar, ela que é a minha base e inspiração como mulher e profissional. Assim agradeço também ao meu irmão, Marcos Vinícius, meu pai, Elias Couto, e todos os membros da minha família e amigas que me apoiaram.

Ao meu orientador, Dr. Manoel Soares, pelo direcionamento, apoio, incentivo, confiança, disponibilidade e por ter acreditado no meu potencial. Assim, agradeço também ao meu co-orientador, Dr. Márcio Caliari, pelo apoio e disponibilidade.

À Dr^a. Alline Ribeiro por me direcionar ao longo da execução da parte experimental do trabalho, além do suporte prestado sem poupar esforços e pela amizade construída ao longo do processo que extrapolou os muros da faculdade.

Agradeço às minhas colegas de laboratório, especialmente a Gabriella Leite, Gabriela Coutinho, Priscylla Prado, Greicy Hellen e Alice Duarte, pelo companheirismo, parceria, além das trocas de conhecimento e amizade construída, vocês tornaram o processo mais leve. Estendo este agradecimento ao técnico de laboratório, Victor Hugo, pela prestatividade em relação à execução das análises que constituem este trabalho e à toda a equipe do Laboratório de Aproveitamento de Resíduos e Subprodutos Agroindustriais – Labdarsa da Escola de Agronomia.

A todos os colegas, professores e técnicos administrativos que fazem parte do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás.

À fecularia Febela Agroindústria LTDA e a indústria Milhão Ingredients por terem gentilmente cedido as matérias-primas necessárias para a execução do presente trabalho, amido de milho e gérmen de milho respectivamente.

Ao Dr. Luciano Lião, por disponibilizar a estrutura necessária para realização das análises de Raios – X e FT – IR. Ao Dr. Julião Pereira e à técnica de laboratório Taís Aragão pelo suporte com a análise de cromatografia gasosa. Ao Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução – LabMic, pela análise de Microscopia Eletrônica de Varredura.

Ao Dr. Rodrigo Barbosa, à Dr.^a Juliana Bento e à Dr.^a Aryane Oliveira, por todas as contribuições dadas tanto no exame de qualificação, quanto na defesa.

Agradeço a todos e todas que contribuíram de forma direta ou indireta para o êxito desse trabalho.

RESUMO

O amido é um carboidrato disponível com aplicabilidades variadas na agroindústria. Entretanto, há a necessidade de modificá-lo a fim de adequar suas propriedades às demandas específicas dos consumidores. A fermentação natural seguida de secagem ao sol é uma forma de modificação de amidos realizada pela ação de enzimas e ácidos produzidos pelos microrganismos. O polvilho é considerado um produto com forte apelo comercial no Brasil, no entanto, o milho tornou-se em 2022 o principal cereal em área plantada e produção mundial. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar as propriedades físicas, químicas, estruturais e tecnológicas de amidos de milho modificados por fermentação natural, com e sem a técnica de *backslopping*, seguida de secagem ao sol; compreender o efeito de diferentes iniciadores (*starters*) sobre o tempo de fermentação do novo ingrediente, e aplicar o amido modificado em biscoito de queijo tipo chipa enriquecido com farinha de gérmen de milho. Um delineamento inteiramente casualizado foi utilizado para a fermentação e para a elaboração dos biscoitos, com três tratamentos (amido de milho sem *starter*, amido de milho com *starter* de amido de milho fermentado, amido de milho com *starter* de polvilho azedo) e cinco tratamentos (0%, 5%, 10%, 15% e 20% de amido de milho modificado com *starter* de polvilho azedo, substituído por gérmen de milho), respectivamente. A fermentação com *starter* de polvilho azedo de mandioca transcorreu em 12 dias, enquanto as fermentações com *starter* de amido de milho fermentado e sem *starter*, foram interrompidas apenas após decorridos 65 dias. A fermentação natural, seguida de secagem ao sol, alterou a superfície dos grânulos do amido, as propriedades de pasta e provocou ligeiras alterações na cristalinidade relativa, assim como no teor de amilose. Os amidos que passaram maior tempo pelo processo fermentativo apresentaram alterações mais expressivas. As técnicas utilizadas foram eficazes para acidificar o amido de milho, e também promoveram mudanças no teor de cinzas, índices de absorção de água e solubilidade em água, mas não foram suficientes para atingir o grau de expansão do polvilho azedo. O amido de milho fermentado com *starter* de polvilho azedo foi aplicado como principal ingrediente da formulação dos biscoitos de queijo enriquecidos com gérmen de milho. O uso de gérmen de milho, em diferentes percentuais, se mostrou eficaz para o enriquecimento dos biscoitos, uma vez que, maiores teores de cinzas (variando de 3,97 % a 9,92 %), proteínas (variando de 7,76 % a 24,51 %), e lipídios (variando de 5,53 % a 14,89 %); e menores teores de carboidratos (variando de 2,38 % a 11,75 %) foram observados para biscoitos com maiores teores de gérmen de milho. Portanto, a fermentação natural com a técnica de *backslopping* é uma alternativa para se obter amido de milho azedo em menor tempo, como também o amido obtido pode ser utilizado na elaboração de produtos panificados em que a propriedade de expansão não seja uma característica fundamental para a qualidade.

Palavras-chave: FTIR; Raio X; Propriedade térmica; Ângulo hue; Biscoito chipa.

Corn starch modified by fermentation with or without starters and drying in the sun, and application in biscuits enriched with corn germ

ABSTRACT

Starch is an available carbohydrate with varied applications in agroindustry. However, there is a need to modify it in order to adapt its properties to specific consumer demands. Natural fermentation followed by sun drying is a form of starch modification performed by the action of enzymes and acids produced by microorganisms. Cassava starch is considered a product with strong commercial appeal in Brazil, however, corn has become in 2022 the main cereal in planted area and world production. Thus, the aim of the present study was to evaluate the physical, chemical, structural and technological properties of corn starches modified by natural fermentation, with and without the backslopping technique, followed by sun drying; to understand the effect of different starters on the fermentation time of the new ingredient, and to apply the modified starch in cheese biscuits type *chipa* enriched with corn germ flour. A completely randomized design was used for the fermentation and preparation of the cheese biscuits, with three treatments (corn starch without starter, corn starch with fermented corn starch starter, corn starch with sour cassava starch starter) and five treatments (0%, 5%, 10%, 15% and 20% modified corn starch with sour cassava starch starter replaced by corn germ), respectively. The fermentation with starter of cassava sour starch was carried out in 12 days, while the fermentations with fermented corn starch starter and without starter were stopped only after 65 days. Natural fermentation followed by sun drying altered the starch granule surface, pasting properties, and caused slight changes in relative crystallinity as well as amylose content. Starches that underwent the fermentation process for a longer time showed more significant changes. The techniques used were effective to acidify corn starch, and also they promoted changes in ash content, water absorption indexes, and water solubility, but were not sufficient to achieve the degree of expansion of sour cassava starch. The fermented corn starch with sour cassava starch starter was applied as the main ingredient in the formulation of the cheese biscuits enriched with corn germ. The use of corn germ, in different percentages, showed to be efficient for the fortification of the biscuits, once higher contents of ashes (varying from 3.97 % to 9.92 %), proteins (varying from 7.76 % to 24.51 %), and lipids (varying from 5.53 % to 14.89 %); and lower contents of carbohydrates (varying from 2.38 % to 11.75 %) were observed for biscuits with higher contents of corn germ. Therefore, natural fermentation with the backslopping technique is an alternative to obtain sour corn starch in less time, as well as the starch obtained can be used in the elaboration of baked products in which the expansion property is not a fundamental characteristic for quality.

Key words: FTIR; X-ray; Thermal property; Hue angle; *Chipa* biscuit.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1	Modelos de regressão e seus parâmetros estatísticos para acidez total titulável (ATT) e potencial hidrogeniônico (pH) ao longo do processo de fermentação de amido de milho normal sem <i>backsolpping</i> (AMF); com <i>backsolpping</i> usando polvilho de mandioca azedo (AMFB1), e com <i>backsolpping</i> usando AMFB1 (AMFB2).	38
Tabela 2	Compostos orgânicos voláteis de amido de milho fermentado sem <i>backsolpping</i> (AMF), amido de milho fermentado com <i>backsolpping</i> com polvilho de mandioca azedo (AMFB1) e amido de milho fermentado com <i>backsolpping</i> com AMFB1 (AMFB2).	42
Tabela 3	Cristalinidade relativa (CR), teor de amilose de amido de milho fermentado sem <i>backsolpping</i> (AMF), amido de milho fermentado com <i>backsolpping</i> com polvilho de mandioca azedo (AMFB1) e amido de milho fermentado com <i>backsolpping</i> com AMFB1 (AMFB2).	45
Tabela 4	Propriedades térmicas de amido de milho nativo (AMN), amido de milho fermentado sem <i>backsolpping</i> (AMF), amido de milho fermentado com <i>backsolpping</i> de polvilho de mandioca fermentado (AMFB1) e amido de milho fermentado com <i>backsolpping</i> de AMFB1 (AMFB2).	48
Tabela 5	Propriedades de pasta de amido de milho nativo (AMN), amido de milho fermentado sem <i>backsolpping</i> (AMF), amido de milho fermentado com <i>backsolpping</i> de polvilho de mandioca fermentado (AMFB1) e amido de milho fermentado com <i>backsolpping</i> de AMFB1 (AMFB2).	49
ANEXO A	Temperaturas ambiente ocorridas nos dias de fermentação.	56
ANEXO B	Análise de variância dos modelos de regressão cubica para acidez total titulável.	58
ANEXO C	Análise de variância dos modelos de regressão cubica para potencial hidrogeniônico.	59
APÊNDICE A	Temperaturas do interior da sala ao longo da fermentação.	60
CAPÍTULO III		
Tabela 1	Proporção dos ingredientes da formulação padrão.	68
Tabela 2	Formulações dos biscoitos inovadores, com amido de milho fermentado com a técnica de <i>backsolpping</i> , com <i>starter</i> de polvilho de mandioca azedo (AMFB1), seguido de secagem solar, substituído com diferentes proporções de farinha de gérmen de milho (FGM).	68

Tabela 3	Potencial hidrogeniônico, acidez total titulável, atividade de água, umidade, cinzas, proteína, teor de amido e parâmetros instrumentais de cor de amido de milho nativo (AMN), amido de milho fermentado (AMF), amido de milho fermentado com <i>backslopping</i> de polvilho de mandioca azedo (AMFB1) e amido de milho fermentado com <i>backslopping</i> de AMFB1 (AMFB2).	72
Tabela 4	Propriedades tecnológicas de amido de milho nativo (AMN), amido de milho fermentado sem <i>backslopping</i> (AMF), amido de milho fermentado com <i>backslopping</i> de polvilho de mandioca fermentado (AMFB1) e amido de milho fermentado com <i>backslopping</i> de AMFB1 (AMFB2).	75
Tabela 5	Volume específico, firmeza, parâmetros instrumentais de cor, atividade de água, acidez total titulável e pH de biscoitos de queijo tipo chipa produzidos com amido de milho fermentado e enriquecidos com farinha de gérmen de milho em 0%, 5%, 10%, 15% e 20%.	77
Tabela 6	Teor de umidade, cinzas, proteínas, lipídios, carboidratos e valor energético total de biscoitos de queijo tipo chipa produzidos com amido de milho fermentado e enriquecidos com farinha de gérmen de milho em 0%, 5%, 10%, 15% e 20%.	79

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1	Estrutura molecular da amilose (a) e amilopectina (b). Adaptado de SUN et al. (2023).	20
Figura 2	Anatomia do grão de milho. Reproduzido de Papalia & Londero (2015).	25

CAPÍTULO II

Figura 1	Fluxograma de obtenção dos amidos de milho modificados.	34
Figura 2	Acidez (A, B, C) e pH (D, E, F) dos sobrenadantes de amido de milho normal sem <i>backsolpping</i> (AMF); com <i>backsolpping</i> usando polvilho de mandioca azedo (AMFB1), e com <i>backsolpping</i> usando AMFB1 (AMFB2) em função do tempo de fermentação, respectivamente.	40
Figura 3	Cromatogramas de amido de milho fermentado sem <i>backsolpping</i> (AMF) (A), amido de milho fermentado com <i>backsolpping</i> com polvilho de mandioca azedo (AMFB1) (B) e amido de milho fermentado com <i>backsolpping</i> com AMFB1 (AMFB2) (C).	42
Figura 4	Micrografias eletrônicas de varredura de amido de milho nativo com ampliação de 1500x (A) e 5000x (B); amido de milho fermentado sem <i>backsolpping</i> : 1500x (C) e 5000x (D); amido de milho fermentado com <i>backsolpping</i> de polvilho de mandioca fermentado (AMFB1): 1500x (E) e 5000x (F); e amido de milho fermentado com <i>backsolpping</i> usando AMFB1 (AMFB2): 1500x (G) e 5000x (H).	44
Figura 5	Difração de raios X de amido de milho nativo (A); amido de milho fermentado (B); de milho fermentado com <i>backsolpping</i> 1 (C); e amido de milho fermentado com <i>backsolpping</i> 2 (D).	45
Figura 6	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) de amido de milho nativo (AMN); amido de milho fermentado (AMF); amido de milho fermentado com <i>backsolpping</i> 1 (AMFB1); e amido de milho fermentado com <i>backsolpping</i> 2 (AMFB2).	47
Figura 7	Perfis viscoamilógrafos de amido de milho nativo (AMN), amido de milho fermentado sem <i>backsolpping</i> (AMF), amido de milho fermentado com <i>backsolpping</i> de polvilho de mandioca fermentado (AMFB1) e amido de milho fermentado com <i>backsolpping</i> de AMFB1 (AMFB2).	50

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	16
1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 Composição e funcionalidade dos amidos	19
2.2 Modificação do amido por fermentação	21
2.3 Polvilho de mandioca azedo	22
2.4 Biscoito tipo chipa	24
2.5 Farinha de gérmen de milho	25
3 OBJETIVOS	27
3.1 Objetivo geral	27
3.2 Objetivos específicos	27
REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO II	31
Efeito da fermentação com e sem a utilização de iniciadores, seguida de secagem solar, sobre a morfologia, estrutura, propriedades térmicas e de pasta de amido de milho	
1 INTRODUÇÃO	32
2 MATERIAL E MÉTODOS	33
2.1 Material	33
2.2 Fermentação do amido de milho e secagem ao sol	33
2.3 Acidez total titulável, pH e umidade	34
2.4 Compostos orgânicos voláteis	35
2.5 Microscopia eletrônica de varredura	35
2.6 Difração de raios-X	35
2.7 Amilose aparente	36
2.8 Espectroscopia de infravermelho com transformada de fourier (FT-IR)	36
2.9 Propriedades térmicas	36
2.10 Propriedades de pasta	37
2.11 Análise estatística	37
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
3.1 Cinética da fermentação	38
3.2 Compostos orgânicos voláteis	41
3.3 Morfologia dos grânulos dos amidos modificados	43
3.4 Raio-X e cristalinidade relativa	43
3.5 Espectroscopia de infravermelho com transformada de fourier (FT-IR)	46
3.6 Propriedades térmicas	48
3.7 Propriedades de pasta	49

4	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	53
	ANEXO A – Tabela com temperaturas ambiente ocorridas nos dias de fermentação ...	56
	ANEXO B – Análise de variância dos modelos de regressão cubica para acidez total titulável.....	58
	ANEXO C – Análise de variância dos modelos de regressão cubica para potencial hidrogeniônico.....	59
	APÊNDICE A – Tabela com temperaturas do interior da sala ao longo da fermentação	60
	CAPÍTULO III.....	61
	Propriedades físico-químicas e tecnológicas de amido de milho fermentado com e sem a iniciadores e sua aplicação em biscoitos enriquecidos com farinha de gérmen de milho	61
1	INTRODUÇÃO	62
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	64
2.1	Material.....	64
2.2	Fermentação do amido de milho e secagem ao sol	64
2.3	Propriedades físicas e químicas dos amidos	65
2.3.1	Atividade de água, acidez total titulável e ph	65
2.3.2	Umidade, Cinzas, Proteínas e Teor de Amido	65
2.3.3	Parâmetros instrumentais de cor	65
2.4	Propriedades tecnológicas dos amidos	66
2.4.1	Absorção e solubilidade em água e absorção de óleo	66
2.4.2	Índice de expansão e volume	67
2.5	Formulação e processamento das chipas tradicional e enriquecidas	67
2.6	Avaliação tecnológica da qualidade dos biscoitos	69
2.6.1	Volume específico.....	69
2.6.2	Firmeza.....	69
2.6.3	Parâmetros instrumentais de cor	69
2.6.4	Atividade de água, acidez total titulável e pH.....	70
2.7	Composição centesimal e valor energético total	70
2.8	Análise estatística	70
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
3.1	Propriedades físicas e químicas dos amidos	71
3.2	Propriedades tecnológicas dos amidos	74
3.3	Avaliação tecnológica da qualidade dos biscoitos	76
3.4	Composição centesimal dos biscoitos	79
4	CONCLUSÃO	81
	REFERÊNCIAS	82

CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
-----------------------------------	-----------

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

O amido é um dos polissacarídeos mais abundantes na natureza e possui inúmeras aplicações. A principal área que explora esse recurso vegetal é a indústria de alimentos. O uso do amido em alimentos industrializados tem como objetivo aprimorar propriedades físico-químicas e tecnológicas dos produtos. Essas propriedades são possíveis devido a composição molecular do amido, constituído por amilose e amilopectina. Amidos possuem de 25 a 30 % de amilose em sua estrutura, já os amidos cerosos são constituídos basicamente por amilopectina (AGAMA-ACEVEDO; FLORES-SILVA; BELLO-PEREZ, 2018; JIANG et al., 2020).

Amidos nativos, geralmente, não apresentam todas as características satisfatórias à indústria de alimentos, por isso são modificados. Os processos de modificação de amidos podem ser químicos, físicos e enzimáticos (PUNIA, 2020; WANG; LI; ZHENG, 2021). Entretanto, outros métodos têm sido pesquisados, um deles é a modificação através da fermentação, que é um método combinado de modificação, químico e enzimático (OYEYINKA et al., 2020).

O polvilho de mandioca azedo é um tipo de amido modificado através da fermentação e secagem ao sol, cujo processo fermentativo é predominantemente artesanal, espontâneo, pouco controlado e demanda um longo período. Apesar dos pontos negativos encontrados na produção do polvilho de mandioca azedo, o mesmo apresenta excelente propriedade de expansão, aroma e sabor característicos, o que é satisfatório para a indústria de panificação (SANTOS et al., 2021).

A cultura da mandioca é difundida em quase todo o território brasileiro. A produção de mandioca em 2022 foi de 18,23 milhões de toneladas, com uma produtividade média de 14,87 ton ha⁻¹ (CONAB, 2022). No nordeste do Brasil a maior parte da raiz é processada como farinha (SILVA et al., 2017). Porém, os principais produtos da indústria da mandioca, atualmente, são amido ou fécula, amidos modificados e derivados como dextrinas, glicose e xarope (TAPPIBAN et al., 2019).

Apesar de grandiosa, a produção de mandioca sofre flutuações em função do clima e das condições de comercialização (IKUEMONISAN et al., 2020). Por outro lado, o Brasil é um dos maiores produtores de milho, a safra de 2022/2023 foi de 125,06 mil toneladas, com

produtividade de 5.604 kg/ha (CONAB, 2023). O milho possui inúmeras aplicabilidades e é um componente básico da alimentação de humanos em grande parte dos países emergentes da América Latina, África e Ásia (ROSAS-CASTOR et al., 2014). Os grãos de milho podem ser transformados em farinhas, rações, xaropes, dextroses, amido, amidos modificados, entre outros (TABASUM et al., 2019).

O amido de milho ceroso já foi modificado por fermentação e secagem ao sol com o uso de *starter* de polvilho de mandioca, o que acelerou o processo de fermentação, sendo que o amido modificado obtido foi aplicado na produção de pão de queijo, obtendo um produto similar ao tradicional com alta aceitação sensorial (TEIXEIRA et al., 2019; TEIXEIRA et al., 2020). Entretanto, estudos com a utilização do amido de milho normal ainda não foram realizados com a técnica de fermentação com *backslopping* e secagem ao sol, assim como ainda não foi utilizado como *starter* o próprio amido de milho fermentado.

O desenvolvimento do amido de milho fermentado e seco ao sol em menor tempo poderia fornecer um produto para ser utilizado em diversos produtos de panificação, como pão de queijo, biscoito, chipa, chimango, tapioca, etc, tradicionalmente elaborados com polvilho de mandioca. No entanto, tais produtos geralmente possuem baixos teores de fibras alimentares e proteínas. Para melhorar o perfil nutricional de tais produtos pode-se adicionar farinhas alternativas às formulações.

A farinha do gérmen de milho poderia ser uma opção para modular o perfil nutricional de alimentos ricos em amido. Pois, no gérmen de milho encontram-se expressivos teores de compostos bioativos, fibra alimentar, ácidos graxos insaturados e proteínas de alto valor biológico. Inúmeros são os benefícios associados ao consumo adequado de fibras alimentares como a regulação do trânsito intestinal, contribuição para a redução dos níveis de colesterol e glicemia. Tais efeitos, são ocasionados pois o intestino humano é incapaz de digerir esses polímeros (FULLER et al., 2016). As proteínas também possuem um papel importante na saúde humana, visto que está diretamente relacionada com a manutenção e síntese de massa muscular, interferindo diretamente no controle de peso e imunidade (AHNEN; JONNALAGADDA; SLAVIN, 2019). Porém, o gérmen necessita ser estabilizado, antes de ser aplicado, a fim de evitar reações indesejadas (SIYUAN; TONG; LIU, 2018; WANG; LI; ZHENG, 2021).

Neste contexto, o amido de milho poderia ser uma matéria prima da qual se possibilite obter um amido modificado por fermentação com propriedades tecnológicas adequadas para a panificação, mas com oferta de produto mais estável que os coprodutos da mandioca. Além disso, estudos para acelerar o processo fermentativo se fazem necessários, afim de viabilizar o processo e o produto. A aplicação do amido de milho fermentado em produtos de panificação

pode ser uma boa opção para redução de custos das empresas de alimentos, e ao mesmo tempo a produção de alimentos enriquecidos com o gérmen de milho, pode contribuir para a melhoria da nutrição e da qualidade de vida dos consumidores. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi conhecer as propriedades físicas, químicas, estruturais e tecnológicas de amidos de milho modificados por fermentação, com e sem a técnica de *backsloppin*, seguido de secagem ao sol, a fim de compreender a interferência de diferentes iniciadores sobre o tempo de fermentação e avaliar a aplicabilidade do novo ingrediente no desenvolvimento de biscoitos enriquecidos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Composição e funcionalidade dos amidos

O amido, juntamente com a celulose e a quitina, está entre os polissacarídeos mais abundantes na natureza, sendo o único carboidrato produzido pelos vegetais como forma de armazenamento de energia (JIANG et al., 2020). Esse polímero pode ser extraído de diferentes matérias primas e aplicado em diversos produtos, como alimentos, cosméticos, medicamentos, tintas, etc. A indústria que mais utiliza os amidos é a de alimentos, pois o mesmo tem a capacidade de dar funcionalidade aos produtos e conferir características sensoriais desejadas. As principais fontes comerciais de amido são o milho, batata, trigo, arroz e mandioca, entretanto as matérias-primas mais utilizadas pela indústria de alimentos, para o isolamento desse ingrediente, são os cereais. As aplicações dos amidos de cereais têm sido cada vez mais exploradas pela indústria. A aplicação dos amidos em produtos alimentícios tem o intuito de conferir características físico-químicas e tecnológicas, como retenção de água, formação de gel, aumento da viscosidade, entre outras (AGAMA-ACEVEDO; FLORES-SILVA; BELLO-PEREZ, 2018).

As funcionalidades dos amidos são devido à heterogeneidade na sua composição, que é constituída por dois tipos principais de microestruturas, a amilose e a amilopectina (JIANG et al., 2020). A amilose é um polímero de cadeia predominantemente linear em que as unidades de glicose são unidas por ligações α -1,4. Já amilopectina é uma molécula ramificada de unidades de glicose unidas por ligações α -1,4 nas cadeias lineares e α -1,6 nas ramificações (Figura 1). A amilose e a amilopectina são ordenadas em anéis concêntricos no grânulo. Geralmente, o amido possui em sua constituição de 25 a 30 % de amilose e de 70 a 75 % de amilopectina, enquanto aqueles que apresentam alto teor de amilopectina, de 98 a 99 %, são conhecidos como amidos cerosos. A proporção de amilose e amilopectina presente no amido está diretamente relacionada as suas características físico-químicas e tecnológicas. Os amidos denominados cerosos, por exemplo, possuem alta viscosidade e baixa tendência à retrogradação (AGAMA-ACEVEDO; FLORES-SILVA; BELLO-PEREZ, 2018).

A relação amilose e amilopectina também afeta a temperatura de gelatinização, na qual ocorre a ruptura irreversível do grânulo durante o aquecimento do amido em excesso de água, geralmente entre 60 e 70 °C. Esse processo ocasiona um inchaço máximo do grânulo, levando-o a ruptura e separação da amilose e da amilopectina, anteriormente ligadas (OJOGBO;

OGUNSONA; MEKONNEN, 2020). Conforme a temperatura aumenta, o grau de gelatinização também aumenta. O grânulo de amido é organizado em duas estruturas, denominadas zona amorfa e zona cristalina. À medida que a temperatura de início da gelatinização é atingida a zona amorfa, estrutura relativamente instável, é destruída. No amido nativo a zona cristalina da amilopectina possui um agrupamento denso, por isso, apresenta temperatura de gelatinização maior. Em solução aquosa de baixa temperatura o amido absorve água e apresenta, somente, um pequeno inchaço. Devido a conformação estrutural, é mais fácil para a água invadir a zona amorfa que a zona cristalina (CHANG et al., 2021).

Após a entrada da água, o espaço entre as cadeias de amido aumenta e os cristais se mantêm intactos. Somente com a exposição do sistema amido-água a altas temperaturas ocorre a destruição das interações entre as cadeias laterais curtas de amilopectina, o que possibilita que as cadeias de amido sejam plastificadas pelas moléculas de água. Isso torna as cadeias de amido móveis e faz com que a birrefringência do mesmo desapareça. O alongamento da cadeia de amido leva à perda da compactação e destruição da estrutura ordenada do amido nativo (CHANG et al., 2021). A lixiviação das moléculas ocasiona alteração de viscosidade da suspensão de amido. O aquecimento constante do amido gelatinizado provoca a formação de uma pasta com propriedades reológicas características (ZHANG et al., 2021).

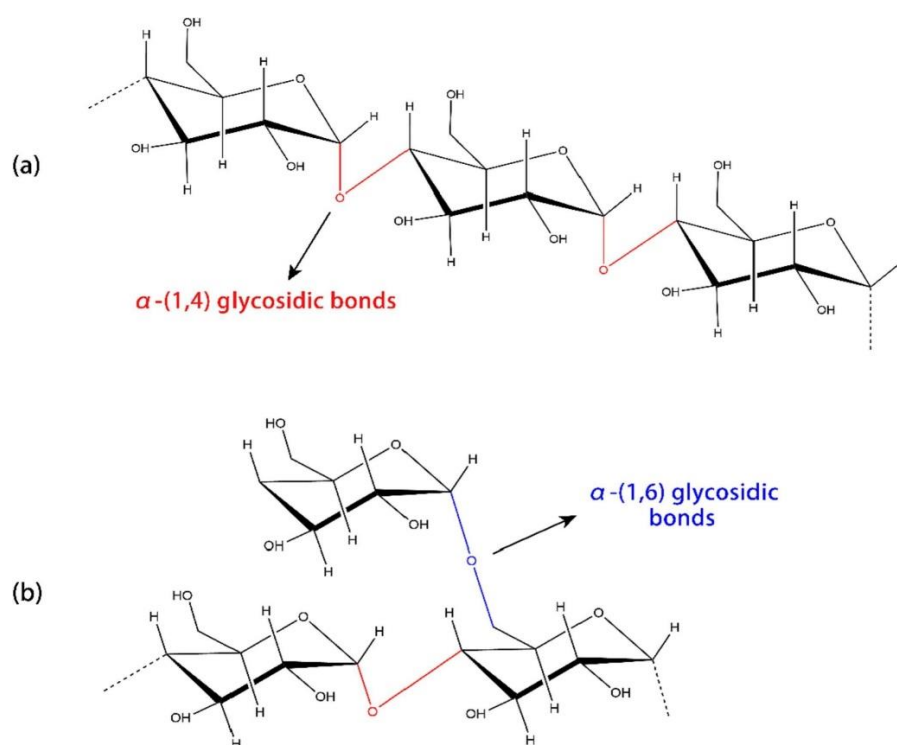


Figura 1. Estrutura molecular da amilose (a) e amilopectina (b). Adaptado de SUN et al. (2023).

Outra característica importante é revelada quando ocorre o resfriamento do amido gelatinizado, a retrogradação. Normalmente, após resfriar, as moléculas de amilose e amilopectina tendem a se realinhar e então acontece expulsão de água, aumento da viscosidade e formação de gel (OJOGBO; OGUNSONA; MEKONNEN, 2020). Esse processo de geleificação é responsável por dar consistência a inúmeros alimentos à base de amido (ZHANG et al., 2021). Por isso, a viscosidade é um parâmetro importante na caracterização das propriedades reológicas do amido (AI; JANE, 2015).

A viscosidade é utilizada para medir a resistência ao escoamento de um fluido ou semifluido após a aplicada uma tensão de cisalhamento. O processo de desenvolvimento da viscosidade é denominado propriedade de pasta. As características reológicas do gel formado dependem de fatores como a estrutura química do amido, concentração de amido, condições da formação da pasta e condições de armazenamento. A amilopectina é o componente do amido responsável pela capacidade de intumescimento do grânulo e desenvolvimento da viscosidade, já a amilose é propensa a se entrelaçar com a amilopectina o que restringe o intumescimento dos grânulos (AI; JANE, 2015; JUNEJO et al., 2022).

Existe uma correlação negativa entre o pico de viscosidade ou viscosidade máxima e o teor de amilose do amido, pois a mesma pode formar complexos com outros componentes menores do grânulo, o que afeta esta propriedade de pasta. A amilose é a principal responsável pela alta tendência à retrogradação dos amidos, uma vez que, após a gelatinização a mesma é capaz de se rearranjar com maior facilidade, quando comparada a amilopectina, devido à sua estrutura que requer pouco espaço para rearranjo. A amilopectina também pode se retrogradar, entretanto é necessário maior tempo (AI; JANE, 2015; CHANG et al., 2021).

O amido de milho representa mais de 80 % da produção total de amido. Entretanto, a aplicação do amido nativo é limitada devido a sua baixa estabilidade térmica, baixa resistência a meios ácidos, baixa viscosidade, alta taxa de retrogradação e sinérese, fatores que interferem na qualidade de produtos amiláceos (NIU et al., 2018). Principalmente por esses motivos, os amidos são modificados.

2.2 Modificação do amido por fermentação

O amido extraído do vegetal sem sofrer alterações é denominado amido nativo, já quando o mesmo é submetido a algum tipo de tratamento que resulta na alteração de suas propriedades, é conhecido como amido modificado (CHAVAN et al., 2021). Apesar das

inúmeras aplicações do amido na indústria de alimentos, nem todas as propriedades apresentadas pelos amidos nativos são satisfatórias para o processamento. Nesse sentido, a fim de melhorar características físicas, químicas e funcionais tecnológicas, os amidos nativos são modificados. Os amidos podem ser modificados por métodos químicos, físicos e enzimáticos (PUNIA, 2020; WANG; LI; ZHENG, 2021).

Os métodos de modificação mais utilizados são químicos, porém devido a questões de segurança do alimento, bem como ecológicas, metodologias alternativas estão sendo estudadas (OYEYINKA et al., 2020). Por isso, o interesse em modificar o amido por meio da fermentação tem crescido (YE et al., 2019). Não foram encontrados, na literatura, estudos que realizaram a fermentação natural utilizando como matéria-prima o amido de milho normal, entretanto há relatos bem-sucedidos utilizando outras fontes de amido.

Zhao et al. (2019) pesquisaram o efeito da fermentação natural nas propriedades físico-químicas do amido de trigo e reportaram que a fermentação pode danificar a superfície do grânulo de amido, alterar a região amorfa, reduzir a quantidade de amilose e o peso molecular do amido e assim modificar as propriedades de gelatinização. Os mesmos resultados foram encontrados por Ye et al. (2019), ao aplicar a fermentação espontânea em amido de batata doce, em que a estrutura molecular do amido foi alterada e consequentemente suas propriedades funcionais foram modificadas. Resultados semelhantes também foram publicados por Teixeira et al. (2019), que fermentaram amido de milho ceroso seguida de secagem ao sol. Como exemplo de amido modificado por fermentação seguida de secagem ao sol tem-se também o polvilho de mandioca azedo (SANTOS et al., 2021).

2.3 Polvilho de mandioca azedo

A mandioca é considerada um dos principais ingredientes da alimentação humana em continentes como África e América Latina (SILVA et al., 2017). Além de alimento destinado à nutrição humana, derivados da mandioca são utilizados como ração animal, matéria-prima para papel, têxteis, bebidas alcoólicas e bioetanol (TAPPIBAN et al., 2019). No Brasil, o crescimento e o uso da mandioca como alimento está diretamente relacionado com a cultura indígena do país. Por esse motivo, produtos como farinha de mandioca e tapioca, gradativamente, se tornaram elementos que caracterizam a cultura alimentar brasileira (SILVA et al., 2017).

O polvilho de mandioca azedo é tradicionalmente produzido por indústrias rurais de países da América Latina, como Colômbia, Paraguai e Brasil (DÍAZ et al., 2018). Quando comparado com o polvilho de mandioca doce, este detém algumas propriedades que os difere, como pH, acidez, viscosidade, densidade e outras características físico-químicas (PEREIRA et al., 2016). É comumente utilizado como matéria prima principal em alimentos panificados (apesar da não formação da rede de glúten), como pão de queijo, e dispensa o uso de fermentos. Outro aspecto importante é a expansão sofrida pelos produtos que contém essa matéria prima, proporcionada pela alta capacidade de retenção de gases em comparação com o polvilho doce (DÍAZ et al., 2018).

Para obter o polvilho de mandioca azedo primeiramente é realizada a extração da fécula ou amido por meio da imersão das raízes trituradas em água. Posteriormente, a solução aquosa com amido é armazenada por aproximadamente 20 a 30 dias, para que ocorra a fermentação espontânea. Por fim, faz-se a remoção do líquido sobrenadante e a parte sólida decantada é seca ao sol (DÍAZ et al., 2019). Apesar de o processo de fermentação envolvido na produção do polvilho de mandioca azedo ser em grande parte artesanal, sabe-se que a população microbiana responsável é predominantemente composta por bactérias lácticas. Um dos pontos negativos relativos à fabricação artesanal é a heterogeneidade da qualidade do produto (OYEYINKA et al., 2020; PENIDO et al., 2018).

Muitos são os estudos realizados com o intuito de elucidar o tipo de modificação que a molécula de amido sofre durante a fermentação e secagem ao sol para desenvolver as propriedades de panificação. Sabe-se que a degradação do amido de mandioca gerada por bactérias lácticas é crucial para a sua aplicação em produtos de panificação. Entretanto, apenas a acidificação não é suficiente para ocasionar a expansão da massa. O desenvolvimento da propriedade de expansão do amido é dependente da sua interação com os ácidos e a exposição à luz solar (SANTOS et al., 2021). Durante a etapa de secagem ao sol ocorre uma reação determinante para a definição das propriedades de panificação do amido de mandioca, em que a exposição aos raios UV leva à formação de grupos carboxila e carbonila que passam a compor as moléculas de amilose e amilopectina (DÍAZ et al., 2019)

Por apresentar propriedades interessantes aos produtos panificados, o polvilho de mandioca azedo tem sido amplamente utilizado. Entretanto, algumas questões dificultam seu uso pelas grandes indústrias, como a falta de padronização na obtenção do mesmo e processo de fabricação longo. Por isso, entender as etapas de elaboração, bem como descobrir métodos que acelerem o processo de fermentação é necessário. A exemplo do estudo de Penido et al. (2018), que avaliaram algumas culturas *starter* para a produção de polvilho de mandioca azedo.

Além desses fatores, tem-se a necessidade de diversificar a matéria prima para obtenção de produtos similares, a fim de diversificar o mercado. Nesse sentido, o amido de milho poderia ser um bom meio de se obter produto inovador com propriedades físico-químicas, funcionais tecnológicas e sensoriais similares às do polvilho de mandioca azedo.

2.4 Biscoito tipo chipa

As chipas são produtos panificados a base de polvilho tradicionais na América Latina. No Brasil a chipa tem sua formulação adaptada dos biscoitos de queijo mineiros (SANTOS; GRECHI; SILVA, 2022). Segundo a RDC nº 263/2005, biscoitos são produtos obtidos pela mistura de farinhas, amidos e féculas com outros ingredientes, submetidos a processos de amassamento e cocção, fermentados ou não (BRASIL, 2005).

Os biscoitos que contém polvilho em sua constituição, se caracterizam por ser um produto crocante, aspecto comum em produtos que se encontram em estado vítreo. Após ser assado, devido à rápida perda de água, os componentes do biscoito se encontrarão em estado vítreo, com baixa mobilidade molecular. A manutenção desse estado depende das condições de armazenamento, pois com a absorção de umidade, o mesmo pode passar do estado vítreo para gomoso (RODRIGUES; CALIARI; ASQUIERI, 2011).

No mercado é possível encontrar inúmeras formulações de biscoito de polvilho que incluem além do polvilho de mandioca doce, polvilho de mandioca azedo, farinha de milho, água, leite, queijo, ovos e sal. Nos biscoitos, o polvilho de mandioca azedo tem como função proporcionar sabor agradável, crosta fina, crocância, volume e maior absorção em água, afetando diretamente o rendimento dos mesmos. Ao longo do forneamento, ocorre a desidratação dos grânulos da superfície e os do interior são gelatinizados o que ocasiona a expansão (APLEVICZ; DEMIATE, 2007). Entretanto, produtos como o biscoito de polvilho, que tem por base o amido, são tidos como alimentos de baixo valor nutricional, por serem altamente energéticos e possuírem baixo teor de fibras, proteínas, vitaminas e demais nutrientes. Uma alternativa para melhorar a composição desses alimentos pode ser o enriquecimento com farinhas capazes de conferir as características desejadas, como a farinha de gérmen de milho.

2.5 Farinha de gérmen de milho

Os grãos integrais são importantes fontes de fibras alimentares e proteínas vegetais, além de conterem inúmeros compostos bioativos, vitaminas e ácidos graxos insaturados. Fibras alimentares são polímeros de carboidratos não digeridos pelo intestino humano passíveis de fermentação pela microbiota intestinal. Efeitos fisiológicos benéficos à saúde, são relatados na literatura, como resultado do consumo de fibras, sendo eles, aumento do trânsito intestinal, redução dos níveis séricos de colesterol e glicemia, produção de ácidos graxos de cadeia curta, auxílio à perda de peso, adiposidade corporal, saciedade, redução da pressão arterial e prevenção do câncer de cólon (FULLER et al., 2016). Já o consumo adequado de proteínas está relacionado ao controle de peso, aumento da termogênese e saciedade. Além disso, a ingestão de proteínas de origem vegetal está relacionada à redução dos fatores de risco da síndrome metabólica, prevenção de alguns tipos de câncer, melhora da saúde digestiva, entre outros (AHNEN; JONNALAGADDA; SLAVIN, 2019).

O gérmen de milho é um subproduto que possui excelentes características nutricionais. Grande parte dos fitoquímicos presentes no milho, responsáveis pelos benefícios à saúde humana, são encontrados nas frações farelo e gérmen. Portanto, farinhas com o gérmen moído juntamente com endosperma e farelo, possuem maior teor de compostos bioativos, se comparado a farinhas com o amido de milho refinado (Figura 2) (SIYUAN; TONG; LIU, 2018).

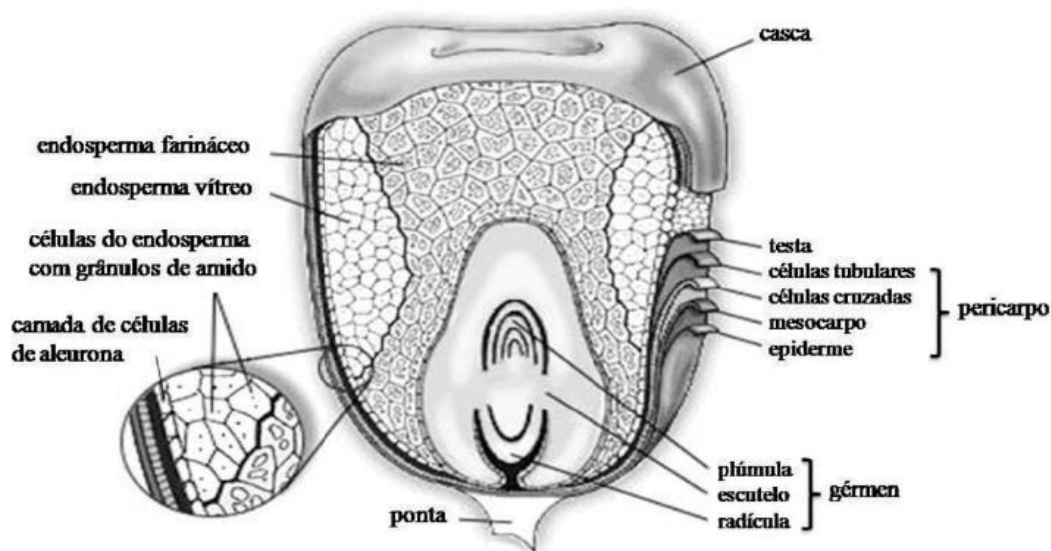


Figura 2. Anatomia do grão de milho. Reproduzido de Papalia & Londero (2015).

Além disso, o gérmen é fonte de ácidos graxos insaturados, importantes na redução dos fatores de risco associados à saúde cardiovascular, aminoácidos essenciais, fibra dietética e vitaminas (WANG et al., 2021; ESPINOSA-PARDO et al., 2020).

A distribuição dos aminoácidos, presentes no gérmen, é melhor que do endosperma, e se assemelha com as proteínas de alto valor biológico. Além disso, as proteínas presentes no gérmen, são dotadas de propriedades de formação de espuma e emulsificação, importantes para uso em produtos alimentícios (ESPINOSA-PARDO et al., 2020). Portanto, a farinha de gérmen de milho pode ser um excelente ingrediente para enriquecer produtos à base de amido. Entretanto, para ser utilizado, o gérmen deve ser estabilizado, para evitar as reações de oxidação e a consequente diminuição da sua aceitação sensorial (WANG et al., 2021).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Conhecer as propriedades físicas, morfológicas, estruturais, químicas e tecnológicas de amidos de milho modificados por fermentação seguida de secagem ao sol, com e sem o uso de iniciadores da fermentação, bem como, compreender a influência destes iniciadores sobre o tempo de fermentação, além de entender a aplicabilidade do amido fermentado na formulação de biscoito enriquecido com farinha de gérmen de milho.

3.2 Objetivos específicos

- Acompanhar a cinética da modificação do amido de milho através do processo de fermentação, com e sem *starter*, e secagem ao sol.
- Avaliar o uso de polvilho azedo de mandioca e do próprio amido de milho fermentado seco ao sol como *starter* e seu efeito no tempo de fermentação;
- Avaliar as propriedades morfológicas, estruturais, físicas, químicas e tecnológicas dos amidos de milho nativo e modificados por fermentação natural e secagem ao sol, com e sem iniciadores;
- Analisar a viabilidade tecnológica do amido de milho experimental selecionado, por meio da sua aplicação como ingrediente principal em biscoitos de queijo tipo chipa;
- Aplicar diferentes quantidades de farinha de gérmen de milho aos biscoitos formulados e verificar os percentuais de enriquecimento nutricional dos mesmos.

REFERÊNCIAS

- AHNEN, R. T.; JONNALAGADDA, S. S.; SLAVIN, J. L. Role of plant protein in nutrition, wellness, and health. **Nutrition Reviews**, New York, v. 77, n. 11, p. 735-747, 2019.
- AI, Y.; JANE, J. Gelatinization and rheological properties of starch. **Starch-Starke**, Weinheim, v. 67, n. 3-4, p. 213–224, 2015
- APLEVICZ, K. S.; DEMIATE, I. M. Characterization of native and modified cassava starches and their use in baked products. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 478-484, 2007.
- AGAMA-ACEVEDO, E.; FLORES-SILVA, P. C.; BELLO-PEREZ, L. A. Cereal starch production for food applications. In:_____. **Starches for Food Application**, México: Centro de Desarrollo de Productos Cíóticos del Instituto Politécnico Nacional, 2018, cap. 3, p. 71 - 102.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC ANVISA/MS nº. 263, de 02 de janeiro de 2005. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**. Brasília, 22 de setembro de 2005.
- CHANG, Q.; ZHENG, B.; ZHANG, Y.; ZENG, H. A comprehensive review of the factors influencing the formation of retrograded starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 189, n. 2021, p. 163-173, 2021.
- CHAVAN, P.; SINHMAR, A.; NEHRA, M.; THORY, R.; PATHERA, A. K.; SUNDARRAJ, A. A.; NAIN, V. Impact on various properties of native starch after synthesis of starch nanoparticles: A review. **Food Chemistry**, Barking, v. 364, n. 6, p. 1-8, 2021.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). **Relatório Análise Mensal – Mandioca Dezembro**. Brasília, DF: CONAB, 2022. 7p.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). **Acompanhamento da safra de brasileira de grãos – Quarto levantamento**. Brasília, DF: CONAB, 2023, 83p.
- DÍAZ, A.; DINI, C.; VIÑA, S. Z.; GARCÍA, M. A. Technological properties of sour cassava starches: Effect of fermentation and drying processes. **LTW - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 93, n. 2018, p. 116–123, 2018.
- DÍAZ, A.; DINI, C.; VIÑA, S. Z.; GARCÍA, M. A. Fermentation and drying effects on bread-making potential of sour cassava and ahipa starches. **Food Research International**, Essex, v. 116, n. 2019, p. 620–627, 2019.
- ESPINOSA-PARDO, F. A.; SAVOIRE, R.; SUBRA-PATERNAULT, P.; HARSCOAT-SCHIAVO, C. Oil and protein recovery from corn germ: Extraction yield, composition and protein functionality. **Food and Bioproducts Processing**, Amsterdam, v. 120, n. 2020, p. 131-142, 2020.
- FULLER, S.; BECK, E.; SALMAN, H.; TAPSELL, L. New horizons for the study of dietary fiber and health: A Review. **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 71, n. 1, p. 1-12, 2016.
- IKUEMONISAN, E. S.; MAFIMISEBI, T. E.; AJIBEFUN, I.; ADENEGAN, K. Cassava production in Nigeria: trends, instability and decomposition analysis. **Heliyon**, Cambridge, v. 6, n. 10, p. 1-9, 2020.

JIANG, T.; DUAN, Q.; ZHU, J.; LIU, H.; YU, L. Starch-based biodegradable materials: Challenges and opportunities. **Advanced Industrial and Engineering Polymer Research**, Guangzhou, v. 3, n. 1, p. 8–18, 2020.

JUNEJO, S. A.; FLANAGAN, B. M.; ZHANG, B.; DHITAL, S. Starch structure and nutritional functionality – Past revelations and future prospects. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 277, p. 118837, 2022.

NIU, H.; HAN, Q.; CAO, C.; LIU, Q.; KONG, B. Short-term retrogradation behaviour of corn starch is inhibited by the addition of porcine plasma protein hydrolysates. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 115, n. 2018, p. 393-400, 2018.

OJOGBO, E.; OGUNSONA, E. O.; MEKONNEN, T. H. Chemical and physical modifications of starch for renewable polymeric materials. **Materials Today Sustainability**, Amsterdam, v. 7–8, n. 2020, p. 1 - 25, 2020.

OYEYINKA, S. A.; ADELOYE, A. A.; OLAOMO, O. O.; KAYITESI, E. Effect of fermentation time on physicochemical properties of starch extracted from cassava root. **Food Bioscience**, Amsterdam, v. 33, n. 2020, p. 1-8, 2020.

PAPALIA, I. S.; LONDERO, P. M. G. Extração de zeína e sua aplicação na conservação dos alimentos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 3, p. 552–559, 2015.

PENIDO, F. C. L.; PILÓ, F. B.; SANDRES, S. H. C.; NUNES, A. C.; COLEN, G.; OLIVEIRA, E. S.; ROSA, C. A.; LACERDA, I. C. A. Selection of starter cultures for the production of sour cassava starch in a pilot-scale fermentation process. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 49, n. 4, p. 823–831, 2018.

PEREIRA, J. M.; AQUINO, A. C. M. S.; OLIVEIRA, D. C.; ROCHA, G.; FRANCISCO, A.; BARRETO, P.; L. M.; AMANTE, E. R. Characteristics of cassava starch fermentation wastewater based on structural degradation of starch granules / Características das águas residuais da fermentação do amido de mandioca com base na degradação estrutural dos grânulos de amido. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 4, p. 732-738, 2016.

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

RODRIGUES, J. P. M.; CALIARI, M.; ASQUIERI, E. R.; Caracterização e análise sensorial de biscoitos de polvilho elaborados com diferentes níveis de farelo de mandioca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 12, p. 2196-2202, 2011.

ROSAS-CASTOR, J. M.; GUZMÁN-MAR, J.L.; HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, A.; GARZA-GONZÁLEZ, M. T.; HINOJOSA-REYES, L. Arsenic accumulation in maize crop (*Zea mays*): A review. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 488-489, n. 1, p. 176-187, 2014.

SANTOS, B. D.; GRECHI, D. C.; SILVA, L. F. Culinária típica da fronteira Brasil-Paraguai: o reconhecimento da chipa como patrimônio alimentar. **Integrações**, Campo Grande, v. 23, n. 3, p. 635-652, 2022.

SANTOS, T. P. R.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. CABELLO, C. Study and application of photo-modified cassava starch with lactic acid and UV-C irradiation. **LTW - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 139, n. 2021, p. 1-7, 2021.

SILVA, I. R. C.; CARDOSO, R. C. V.; GÓES, J. A. W.; DRUZIAN, J. I.; JÚNIOR, P. O. V.; ANDRADE, A. C. B. Food safety in cassava “flour houses” of Copioba Valley, Bahia, Brazil:

Diagnosis and contribution to geographical indication. **Food Control**, Vurrey, v. 72, n. 2017, p. 97-104, 2017.

SIYUAN, S.; TONG, L.; LIU, T. Corn phytochemicals and their health benefits. **Food Science and Human Wellnes**, Pequim, v. 7, n. 3, p. 185-195, 2018.

SUN, C.; WEI, Z.; XUE, C.; YANG, L. Development, application and future trends of starch-based delivery systems for nutraceuticals: A review. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 308, p. 120675, 2023.

TABASUM, S.; YOUNAS, M.; ZAEEM, M. A.; MAJEED, I.; MAJEED, M.; NOREEN, A.; IQBAL, M. N.; ZIA, K. M. A review on blending of corn starch with natural and synthetic polymers, and inorganic nanoparticles with mathematical modeling. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 122, n. 1, p. 969-996, 2019.

TAPPIBAN, P.; SMITH, D. R.; TRIWITAYAKORN, K.; BAO, J.; Recent understanding of starch biosynthesis in cassava for quality improvement: A review. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 83, n. 2019, p. 167-180, 2019.

TEIXEIRA, C. S.; NEVES, G. A. R.; CALIARI, M.; JÚNIOR, M. S. Waxy maize starch modified by sun-drying after spontaneous or backslopping fermentation. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 135, n. 2019, p. 553–559, 2019.

TEIXEIRA, C. S.; NEVES, G. A. R.; OLIVEIRA, T. F.; CALIARI, M.; JÚNIOR, M. S. Brazilian cheese bread rolls from fermented and native waxy maize starch. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 44, e012920, p. 1-7, 2020.

WANG, Q.; LI, L.; ZHENG, X. Recent advances in heat-moisture modified cereal starch: Structure, functionality and its applications in starchy food systems. **Food Chemistry**, Barking, v. 344, n. 2021, p. 1-15, 2021.

WANG, J.; TANG, J.; RUAN, S.; LV, R.; ZHOU, J.; TIAN, J.; CHENG, H.; XU, E.; LIU, D. A comprehensive review of cereal germ and its lipids: Chemical composition, multi-objective process and functional application. **Food Chemistry**, Barking, v. 362, n. 2021 p. 1-11, 2021.

YE, F.; XIAO, L.; LIANG, Y.; ZHOU, Y.; ZHAO, G. Spontaneous fermentation tunes the physicochemical properties of sweet potato starch by modifying the structure of starch molecules. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 213, n. 2019, p. 79–88, 2019.

ZHANG, B.; QUIAO, D.; ZHAO, S.; LIN, Q.; WANG, J.; XIE, F. Starch-based food matrices containing protein: Recent understanding of morphology, structure, and properties. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 114, n. 2021, p. 212–231, 2021.

ZHAO, T.; LI, X.; ZHU, R.; MA, Z.; LIU, L.; WANG, X.; HU, X.; Effect of natural fermentation on the structure and physicochemical properties of wheat starch. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 218, n. 2019, p. 163–169, 2019.

CAPÍTULO II

Efeito da fermentação natural, com e sem a utilização de iniciadores, seguida de secagem solar, sobre a morfologia, estrutura, propriedades térmicas e de pasta de amido de milho

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi acompanhar a cinética de fermentação de amido de milho (AMF), de amido de milho com a técnica de *backslopping* com polvilho azedo de mandioca (AMFB1) e de amido de milho com *backslopping* de amido de milho fermentado (AMFB2), todos seguidos de secagem ao sol; como também avaliar seus efeitos na morfologia, estrutura, propriedades térmicas e de pasta dos respectivos amidos. Todos os amidos ficaram expostos por 9 horas ao sol, para atingir a umidade preconizada (14 %). A fermentação foi mais acelerada para o amido de milho com *starter* de polvilho azedo de mandioca, que sofreu rápida acidificação e teve a fermentação encerrada no 12º dia, enquanto os demais tiveram a fermentação encerrada no 65º dia. O processo de acidificação se deu pela produção de ácidos orgânicos pelos microrganismos, principalmente de ácido butírico e acético. Os grânulos de amido sofreram degradações superficiais após a fermentação, evidenciada pelos poros e rugosidades observadas na microscopia eletrônica de varredura. Apesar das alterações provocadas no grânulo, a fermentação não foi capaz de alterar o padrão de difração tipo A do amido de milho. Os espectros de infravermelho, também não evidenciaram alterações estruturais expressivas. As propriedades térmicas também não sofreram alterações significativas. Houve redução dos valores das propriedades de pasta dos amidos fermentados quando comparados com o amido nativo, sendo que houve redução da temperatura de pasta entre 0,06 % (AMF) e 1,1 % (AMFB1), da viscosidade máxima entre 6,78 % (AMFB1) e 21,11 % (AMF), da viscosidade final entre 18,22 % (AMFB1) e 42,24 % (AMFB2), da tendência a retrogradação (TR) entre 19,98 % (AMFB1) e 58,34 (AMFB2), e do tempo de pico entre 1,3 % (AMFB1) e 3,15 % (AMFB2), aumentando apenas a viscosidade de quebra na ordem de 14,24 % (AMF) a 28,82 % (AMFB2). A fermentação natural com secagem ao sol modificou as características do amido de milho, como observado nas propriedades de pasta, ampliando as possibilidades de aplicação em produtos alimentícios. O uso da técnica *backslopping* com polvilho azedo de mandioca é uma boa opção para acelerar a fermentação e produção de amido azedo de milho, com duração da fermentação por apenas 12 dias.

Palavras-chave: Cinética da fermentação; Microscopia Eletrônica de Varredura; Difractometria de raios-X; Infravermelho com transformada de Fourier; Propriedades tecnológicas.

1 INTRODUÇÃO

O amido é um carboidrato de extrema importância e versatilidade, pois pode ser aplicado desde produtos farmacêuticos até produtos alimentícios, em larga escala. A origem botânica exerce forte influência sobre a morfologia, estrutura e propriedades físico-químicas e tecnológicas dos amidos, sendo a mandioca e o milho as principais fontes deste polímero (BATISTA et al., 2020). Entretanto, os amidos nativos apresentam algumas desvantagens que restringem sua aplicação, como a baixa estabilidade térmica, baixa resistência a meios ácidos, baixa viscosidade e alta taxa de retrogradação e sinérese, por esse motivo inúmeras estratégias têm sido investigadas para a modificação dos mesmos (NIU et al., 2018; ZHAO et al., 2020).

A fermentação é conhecida por ser um método antigo aplicado no processamento de alimentos, geralmente utilizado no preparo e conservação destes, e tem chamado atenção por ocasionar alterações tanto estruturais, quanto nas propriedades intrínsecas ao amido, como a retrogradação a curto prazo (ZHAO et al., 2020; YE et al., 2019). A fermentação anaeróbica combinada à secagem ao sol é, normalmente, aplicada para modificar a fécula de mandioca. A exposição de féculas de mandioca fermentadas ao sol, ocasiona a formação de novos grupos funcionais, carbonila e carboxila, nas moléculas de amilose e amilopectina, o que melhora suas características de panificação (DÍAZ et al., 2019). Apesar de esta técnica demandar um longo período e a secagem ao sol estar sujeita às condições climáticas, o que dificulta sua produção em larga escala, resultados com acidificação artificial e irradiação ultravioleta não apresentaram expansão satisfatória (QI et al., 2020).

Assim, para tornar o processo de fermentação de amido viável comercialmente, se faz necessário utilizar técnicas que encurtem a obtenção do produto. Uma opção é a técnica *backslopping*, que consiste em utilizar um produto oriundo de uma fermentação anterior como carreador de culturas iniciadoras (TEIXEIRA et al., 2019). A técnica *backslopping* foi capaz de acelerar a fermentação do amido de milho ceroso, além de modificar as características físico-químicas e tecnológicas do mesmo, tornando-o um excelente substituto do polvilho azedo de mandioca na elaboração de pão de queijo (TEIXEIRA et al., 2019; TEIXEIRA et al., 2020).

Nesse contexto, objetivo do presente estudo foi acompanhar a cinética de fermentação do amido de milho, com e sem *backslopping*, seguida por secagem ao sol, e investigar a influência deste processo na morfologia, estrutura, propriedades térmicas e de pasta dos amidos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

O amido de milho nativo, utilizado na obtenção dos amidos modificados, foi doado pela Fecularia Bela Vista – Febela, localizada em Bela Vista, Goiás, Brasil, enquanto o polvilho azedo de mandioca comercial Yoki® foi adquirido no comércio local de Goiânia.

2.2 Fermentação do amido de milho e secagem ao sol

O amido de milho nativo (AMN) foi submetido à fermentação seguida de secagem ao sol. Para que houvessem condições semelhantes ao longo da pesquisa, a temperatura ambiente estabelecida foi de 25 °C, por meio da utilização de sala refrigerada com ar condicionado para a fermentação. Em uma primeira etapa, caixas de polipropileno foram preenchidas com 8 L de água e 5 kg de AMN. Foram adicionados 375 g de polvilho azedo de mandioca, afim de obter o amido de milho fermentado com *backslopping* (AMFB1), de acordo com o método descrito por Teixeira et al. (2019), para ser utilizado posteriormente como *starter*.

Em uma segunda etapa, o processo repetiu-se, no entanto, foram obtidos amido de milho fermentado (AMF), amido de milho fermentado com *backslopping* de polvilho de mandioca azedo (AMFB1) e amido de milho fermentado com *backslopping* de AMFB1 (AMFB2), simultaneamente (Figura 1). O processo de fermentação foi encerrado quando se atingiu 4,5 % de acidez ou após decorridos 65 dias, em seguida as soluções foram drenadas e os amidos resultantes secos ao sol, em bandejas de alumínio, até atingirem umidade inferior a 14 % (BRASIL, 2005).

Encerradas as etapas de fermentação e secagem, os amidos foram passados em peneira com malha de 0,250 mm com o prévio auxílio de gral e pistilo. Em seguida, acondicionados em embalagens de polietileno de baixa densidade (PEBD) e armazenados em freezer à temperatura de -16 °C, para posterior realização das análises de microscopia eletrônica de varredura, compostos orgânicos voláteis, difração de raios-X, amilose aparente, espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier, propriedades térmicas e de pasta. Delineamento

experimental inteiramente casualizado foi utilizado, com 3 tratamentos (AMF, AMFB1 E AMFB2) (Figura 1), e duas repetições originais.

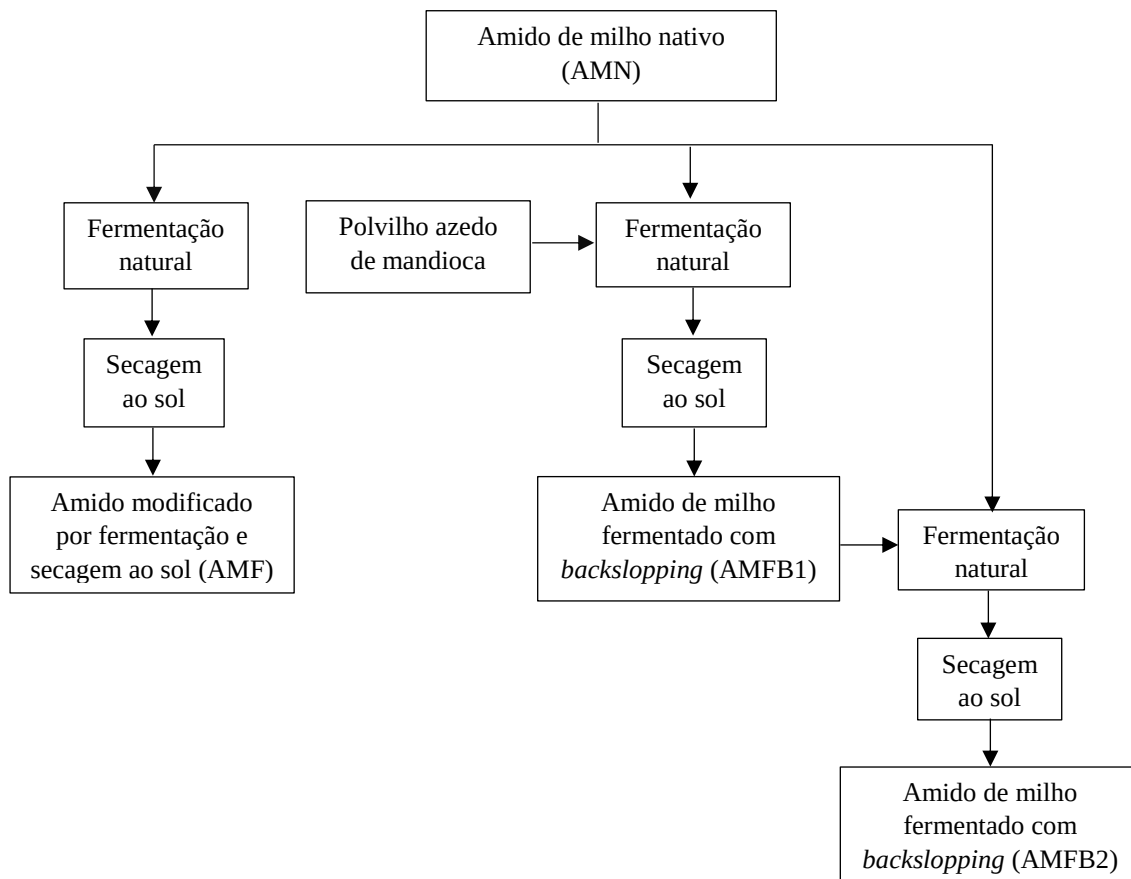


Figura 1. Fluxograma de obtenção dos amidos de milho modificados.

2.3 Acidez total titulável, pH e umidade

Ao longo da fermentação, a acidez total titulável, bem como o pH foram mensurados a cada dois dias. Para determinar a acidez, alíquotas do sobrenadante eram recolhidas com o auxílio de pipetador automático, adequadamente diluídas e posteriormente tituladas com NaOH 0,1 N e fenolftaleína como indicador, até que a solução apresentasse coloração rósea persistente.

Para determinação do pH foi utilizado potenciômetro (Tecnal, R-TEC-3P-MP, Piracicaba, Brasil), previamente calibrado com solução tampão pH 4 e 7. Tais medidas foram realizadas nas amostras antes da titulação (AOAC, 2016).

Ao longo da exposição ao sol, a cada 3 h, foram recolhidas amostras dos amidos para aferição do teor de umidade, com o auxílio de uma balança determinadora de umidade por infravermelho (M5 Thermo, Monza, Itália).

2.4 Compostos orgânicos voláteis

A análise de compostos orgânicos voláteis foi realizada conforme descrito por Starowicz et al. (2023), com adaptações. As amostras (0,5 g), dos amidos fermentados secos ao sol, foram analisadas em cromatógrafo gasoso acoplado ao espectrômetro de massas (Shimadzu, Nexis GC2030, Kyoto, Japão), equipado com coluna SH-Stabilwax-ms (30 m x 250 μ m, 0.25 μ m).

As amostras foram previamente aquecidas via *headspace* a 100 °C por 60 min e um volume de 1,0 mL foi injetado no cromatógrafo. O modo Split foi empregado com razão de 10:1 com tempo de equilíbrio de 3 min. A programação da temperatura do forno foi inicialmente a 40 °C mantida por 1 min, a rampa de aquecimento foi de 5 °C/min até 160 °C, e aumentou-se para 10 °C/min até 250 °C. O tempo de análise foi de 49 min. Hélio 5.0 foi usado como gás de arraste, com pressão 4.7 psi, 0,81 mL/min de vazão e velocidade linear de 32,4 cm/s. A temperatura do injetor, da interface e da fonte de íons foi mantida a 250 °C. O espectrômetro de massas operou em modo *scan* registrando íons na faixa de 20 a 400 m/z com tempo *scan* de 150 ms e foram comparados com os compostos de referência da biblioteca NIST 17.

2.5 Microscopia eletrônica de varredura

As características morfológicas das amostras foram determinadas através de microscopia eletrônica de varredura, sendo fixadas em suportes de alumínio (stubs) e recobertas com uma película de ouro. O aspecto geral das amostras foi observado em microscópio eletrônico de varredura (Jeol, JSM-6610, Tokyo, Japão), com ampliação da ordem de 1500 e 5000 vezes.

2.6 Difração de raios-X

Os padrões de difração de raios X das amostras foram obtidos utilizando um difratômetro (Shimadzu, DXR-6000, Kyoto, Japão) com faixa de medição de 10° a 30° na velocidade de 2°

por minuto, radiação de 40 kV e corrente de 30 mA. A cristalinidade relativa foi calculada conforme descrito por Nara e Komiya (1983), utilizando o software Origin 2023 (Microcal Inc., EUA).

2.7 Amilose aparente

O teor de amilose foi determinado, pelo método de afinidade com iodo, conforme Juliano (1971), com adaptações. Basicamente, em 150 mg de amostra foi acrescentado 1 mL de álcool etílico 95 % e 9 mL de solução NaOH 1 N sem movimentação, em banho-maria à 70 °C para gelatinização do amido por 9 min e posterior resfriamento. Logo após, foi feita a transferência para balão de 100 mL, o volume completado com água destilada e imediatamente homogeneizado. Alíquotas foram pipetadas para tubos de ensaio e adicionou-se ácido acético 1 N, solução de iodo e água. Os tubos foram deixados em repouso por 30 min, e posteriormente a absorbância foi lida em espectrofotômetro (Bel, SP 2000 UV, São Paulo, Brasil) a 590 nm. Para a quantificação do teor de amilose foi utilizado a equação da curva padrão, obtida com amilose de batata pura (Sigma) e os valores da absorbância (Abs) das amostras (Equação 1). Onde os valores a e b foram os da equação da curva padrão ($y = ax + b$).

$$[Amilose] = \frac{Abs\ amostra - b}{a} \quad \text{(Equação 1)}$$

2.8 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

Os espectros foram detectados em espectrofotômetro IV (Perkin Elmer, Spectrum 400, Waltham, EUA), com condições de operação na região de 400 a 4000 cm^{-1} . Aproximadamente 1 mg de amostra foi misturada com 100 mg de brometo de potássio (KBr) e comprimida sob alta pressão em pastilhador para a obtenção de uma pastilha translúcida, e posteriormente foi realizada a leitura no equipamento (YE et al., 2017).

2.9 Propriedades térmicas

As temperaturas de gelatinização (inicial, pico e final) e a variação de entalpia (ΔH) das amostras foram determinadas por meio de um calorímetro diferencial de varredura (TA Instruments, Q20, New Castle, UK), com auxílio do aplicativo TA Universal Analysis (TA Instruments, New Castle, UK), de acordo com a metodologia descrita por Weber, Collares-Queiroz, Chang (2009). Amostra de 2 mg (b.s) foi pesada em porta amostras de alumínio, próprio para o equipamento. Água destilada (6 μL) foi adicionada, e os porta amostra selado hermeticamente em prensa específica. Em seguida, o mesmo foi mantido por 12 h a temperatura ambiente, para uniformização. A amostra foi aquecida de 35 a 100 °C. Um porta amostra de alumínio vazio, selado hermeticamente, foi utilizado como referência.

2.10 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta (temperatura de pasta, viscosidade máxima, viscosidade de quebra ou *breakdown*, viscosidade final e tendência a retrogradação ou *setback*) foram obtidas em equipamento Rapid Visco Analyser (Perten, RVA 4500, Huddinge, Suécia) na concentração de 2,5 g por 25 mL de água destilada. Foram efetuadas correções na quantidade de amostra e de água adicionada para 14 % de umidade. A suspensão formada pelo amido e a água foi mantida a 50 °C por 1 min, aquecida a 95 °C sob velocidade constante de 6 °C min⁻¹, mantida nessa temperatura por 5 min e resfriada a 50 °C sob a mesma velocidade.

2.11 Análise estatística

Os dados obtidos foram avaliados através de análise de variância e regressão. Todos os gráficos foram confeccionados no software Origin 2023 (Microcal Inc., EUA), as equações dos modelos, bem como, seus respectivos valores de significância (p), coeficiente de determinação (R^2) e falta de ajuste (FA) foram determinados com o software Statistica (Statsoft Inc., Statistica 14.0, Tulsa, EUA). Os demais dados foram avaliados por análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$), com auxílio do software Statistica. Os resultados foram expressos em Média $\pm$ Desvio Padrão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cinética da fermentação

De acordo com a análise de regressão, o modelo cúbico para acidez total titulável (ATT) em função do tempo de fermentação de AMFB1 foi significativo ($p = 0,000000$), tanto para o tempo quadrático quanto para o tempo cúbico, com coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) de 0,98, e falta de ajuste não significativa ($FA = 18,72$) (Tabela 1).

Tabela 1. Modelos de regressão e seus parâmetros estatísticos para acidez total titulável (ATT) e potencial hidrogeniônico (pH) ao longo do processo de fermentação de amido de milho normal sem *backsolpping* (AMF); com *backsolpping* usando polvilho de mandioca azedo (AMFB1), e com *backsolpping* usando AMFB1 (AMFB2).

Variável	Tratamento	Modelo	P	R^2	R^2 ajustado	Falta Ajust
ATT	AMF	$y = -0,114645 + 0,326862x - 0,010733x^2 + 0,000091x^3$	0,000000	0,78	0,77	77,12
	AMFB1	$y = 0,807671 - 0,438971x + 0,113942x^2 - 0,004316x^3$	0,000000	0,98	0,98	18,72
	AMFB2	$y = 0,398435 + 0,244837x - 0,007272x^2 + 0,000057x^3$	0,000000	0,75	0,74	64,51
pH	AMF	$y = 4,574287 - 0,074708x + 0,001855x^2 - 0,000014x^3$	0,000000	0,65	0,64	39,96
	AMFB1	$y = 4,689648 - 0,316582x + 0,044408x^2 - 0,002126x^3$	0,000938	0,79	0,73	12,76
	AMFB2	$y = 4,590521 - 0,087125x + 0,002381x^2 - 0,000019x^3$	0,000000	0,53	0,50	23,81

O modelo cúbico para ATT para AMF, também foi significativo ($p = 0,000000$), apresentando R^2 de 0,78, R^2_{aj} de 0,77, e falta de ajuste não significativa ($FA = 77,12$). Para AMFB2 o modelo cúbico de ATT em relação ao tempo foi significativo ($p = 0,000000$), com R^2 de 0,75, R^2_{aj} de 0,74 e falta de ajuste não significativa ($FA = 64,51$). Todos podendo ser considerados preditivos (Tabela 1).

Ao fermentar os amidos, a ATT do meio aumentou nos três sistemas, enquanto os valores de pH diminuíram. Conforme Penido et al. (2018), tal efeito ocorre como consequência da formação de ácidos orgânicos durante a fermentação, o que leva a acidificação do meio (Tabela 2; Figura 3). A acidez total no AMFB1 atingiu 4,5 % em 12 dias, enquanto que nos demais tratamentos essa acidez não foi atingida, encerrando-se a fermentação após decorridos 65 dias, sendo que nestes últimos foi necessária a adição de 2 L de água a cada 30 dias, para que os amidos não ficassem expostos ao ar sujeitos à oxidação. O comportamento inicial, de ambas as fermentações, foi semelhante, porém após o décimo quinto dia, AMF e AMFB2, tenderam a diminuir a taxa de acidificação (Figura 2 A e C). A fermentação com a técnica *backslopping* de polvilho azedo de mandioca propiciou uma rápida acidificação do sobrenadante e imediatamente foi interrompida, ao contrário dos demais tratamentos, que não atingiram o valor de acidez estipulado para o encerramento do processo, conforme descrito no estudo de TEIXEIRA et al. (2019).

Batista et al. (2020), ao fermentar amido de alpiste, observaram flutuações nos parâmetros de acidificação do sobrenadante, com o passar dos dias. Tais autores esclareceram que, por ser um processo de sucessão microbiana, é natural essa observação em fermentações espontâneas, pois o crescimento e desaparecimento de microrganismos é comum devido à competição por nutrientes, o que ocasiona tanto a produção quanto o consumo de ácidos orgânicos. Essa constatação pode explicar a queda de acidez sofrida pelos tratamentos que passaram mais tempo pelo processo fermentativo.

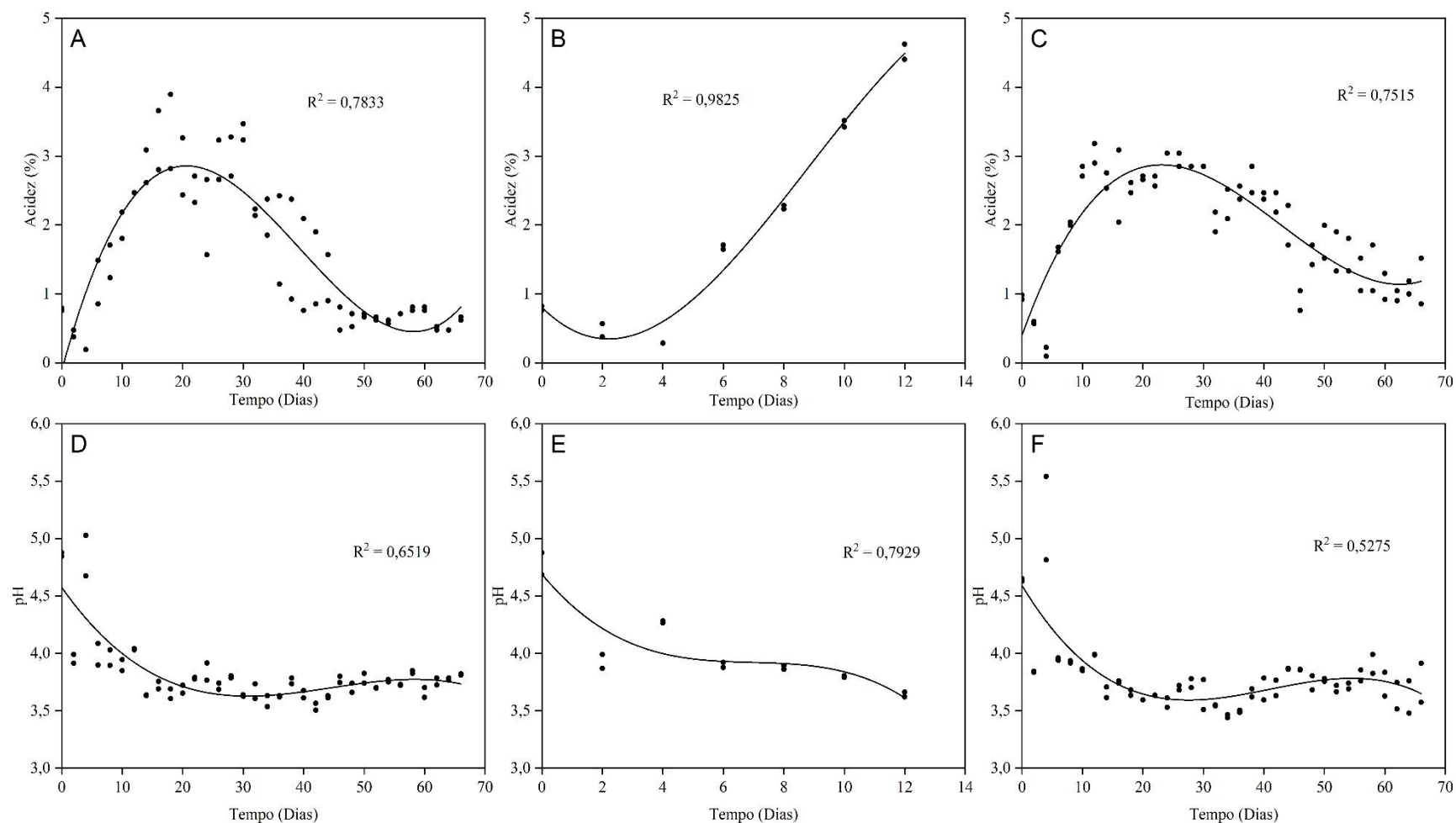


Figura 2. Acidez (A, B, C) e pH (D, E, F) dos sobrenadantes de amido de milho normal sem *backsolpping* (AMF); com *backsolpping* usando polvilho de mandioca azedo (AMFB1), e com *backsolpping* usando AMFB1 (AMFB2) em função do tempo de fermentação, respectivamente.

Os comportamentos de acidificação distintos, entre os sistemas de fermentação, se devem a fatores como a composição do meio, temperatura, quantidade de microrganismos presentes, tipos de microrganismos favorecidos ao longo da fermentação e as vias seguidas (TEIXEIRA et al., 2019; DIAZ et al., 2019). A composição do meio e a quantidade de microrganismos pode ter sido fatores determinantes para a rápida acidificação do AMFB1, uma vez que, a flora microbiana remanescente da fermentação do polvilho de mandioca, foi adaptando-se para atuar em condições similares e serviu como bom *starter*, o que acelerou o processo. Por outro lado, provavelmente, a queda da temperatura ambiente causada por uma frente fria tenha interferido no desempenho dos microrganismos responsáveis pela fermentação nos tratamentos que ainda não tinham sido interrompidos, haja vista que o instrumento de controle de temperatura na sala de fermentação era um equipamento de ar condicionado, com ausência de função de aquecimento, tornando impossível o controle de temperaturas inferiores a 25 °C.

Os modelos de regressão obtidos para pH em relação ao tempo, refletem os resultados encontrados para ATT, ou seja, que ambos são inversamente correlacionados. O modelo cúbico de pH durante a fermentação de AMFB1 foi significativo ($p = 0,000938$), com R^2 de 0,79, R^2 ajustado de 0,73 e falta de ajuste não significativa ($FA = 12,76$). O modelo cúbico de pH em relação ao tempo para AMF, também foi significativo ($p = 0,000000$) e apresentou R^2 de 0,65, R^2 ajustado de 0,64 e falta de ajuste não significativa ($FA = 39,96$). Para AMFB2 o modelo cúbico de pH em relação ao tempo foi significativo ($p = 0,000000$) com R^2 de 0,55, R^2 ajustado de 0,50 e falta de ajuste não significativa ($FA = 23,81$) (Tabela 1).

As curvas do pH dos diferentes tratamentos apresentaram comportamentos semelhantes. No entanto, observou-se que no AMFB1 a redução do mesmo foi mais acelerada e a fermentação se encerrou com uma forte tendência a queda, diferentemente das demais. Durante os primeiros dias, o valor do pH caiu bruscamente e, essa queda, tendeu a se tornar mais lenta com o passar dos dias, provavelmente devido à queda brusca da temperatura nos 16°, 17° e 18° dia (ANEXO A), com consequente provável seleção de outro tipo de microrganismo, mais adaptado a este patamar de temperatura.

3.2 Compostos orgânicos voláteis

O perfil de ácidos orgânicos não foi diferente para os amidos fermentados pelas diferentes técnicas (Tabela 2). Os principais compostos identificados foram o ácido butírico, ácido acético e etanol (Figura 3). Notou-se que a acidificação dos amidos evidenciada pela cinética de

fermentação (Figura 2) foi proveniente, predominantemente, do ácido butírico, seguido pelo ácido acético. Díaz et al. (2019) também relataram predomínio deste ácido em féculas de mandiocas comerciais fermentadas naturalmente. O teor de etanol foi maior que o de ácido acético apenas em AMFB2.

Tabela 2. Compostos orgânicos voláteis de amido de milho fermentado sem *backslopping* (AMF), amido de milho fermentado com *backslopping* com polvilho de mandioca azedo (AMFB1) e amido de milho fermentado com *backslopping* com AMFB1 (AMFB2).

Pico	Composto	Fórmula	Área de Pico %		
			AMF	AMFB1	AMFB2
1	Etanol	C_2H_5OH	3,80	2,11	7,70
2	Ácido Acético	$C_2H_4O_2$	12,52	11,23	5,79
3	Ácido Butírico	$C_4H_8O_2$	83,68	86,66	86,51

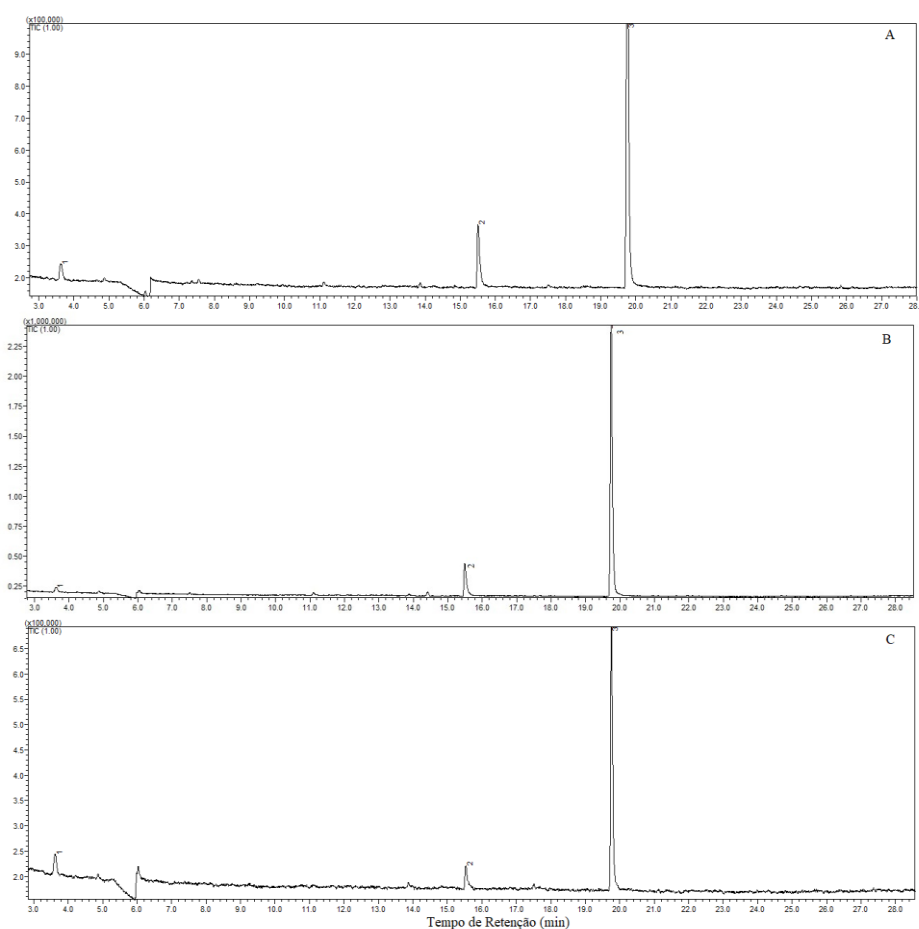


Figura 3. Cromatogramas de amido de milho fermentado sem *backslopping* (AMF) (A), amido de milho fermentado com *backslopping* com polvilho de mandioca azedo (AMFB1) (B) e amido de milho fermentado com *backslopping* com AMFB1 (AMFB2) (C).

3.3 Morfologia dos grânulos dos amidos modificados

As micrografias dos amidos de milho nativo e fermentados revelaram que, o processo fermentativo, provoca alterações degradativas na superfície dos grânulos de amido. O amido nativo (AMN) possui grânulos arredondados ou poliédricos com superfície lisa, já os fermentados (AMF, AMFB1 e AMFB2) apresentaram incidência de poros e rugosidades (Figura 4).

Os amidos que passaram por uma fermentação mais longa, AMF e AMFB2, apresentaram grânulos mais degradados, com poros maiores e rugosidades mais evidentes, quando comparados com AMFB1, que passou menor tempo pelo processo. A ocorrência dos poros se dá, pois, os ácidos e as enzimas produzidas pelos microrganismos hidrolisam as moléculas de amido parcialmente, provocando a formação desses orifícios em grande quantidade e profundidade na superfície do grânulo (ZONG et al., 2022). Nesse sentido, pode-se supor que AMFB1, apresentou menor degradação, em razão do menor tempo de contato com os agentes causadores da mesma.

Oyeyinka et al. (2020), ao analisarem o amido extraído de raízes de mandioca fermentadas, reportaram que a extensão da degradação dos grânulos parece aumentar com o tempo de fermentação, o que corrobora com o resultado encontrado no presente estudo. Resultados semelhantes foram encontrados por Xu et al. (2022), com a fermentação de amido de inhame chinês, que relataram a degradação por exocorrosão, em decorrência da ação de ácidos e enzimas produzidos pelos microrganismos, que se torna mais evidente com o aumento do tempo de fermentação. O mesmo processo foi relatado em grânulos de amido de trigo fermentado naturalmente (ZHAO et al., 2019) e em amidos de arroz fermentados (TU et al., 2021).

3.4 Raio-X e cristalinidade relativa

Todas as amostras apresentaram picos padrões em 15, 17, 18, e 23° (2 θ), característicos de amidos do tipo A, nesse sentido, apesar das degradações evidenciadas pela MEV (Figura 4), a fermentação não foi capaz de alterar a estrutura cristalina dos mesmos (Figura 5). Outros estudos também relataram que a fermentação não foi capaz de alterar o padrão de difração de raios-X de fécula de batata doce (YE et al., 2019) e amido de arroz (TU et al., 2021).

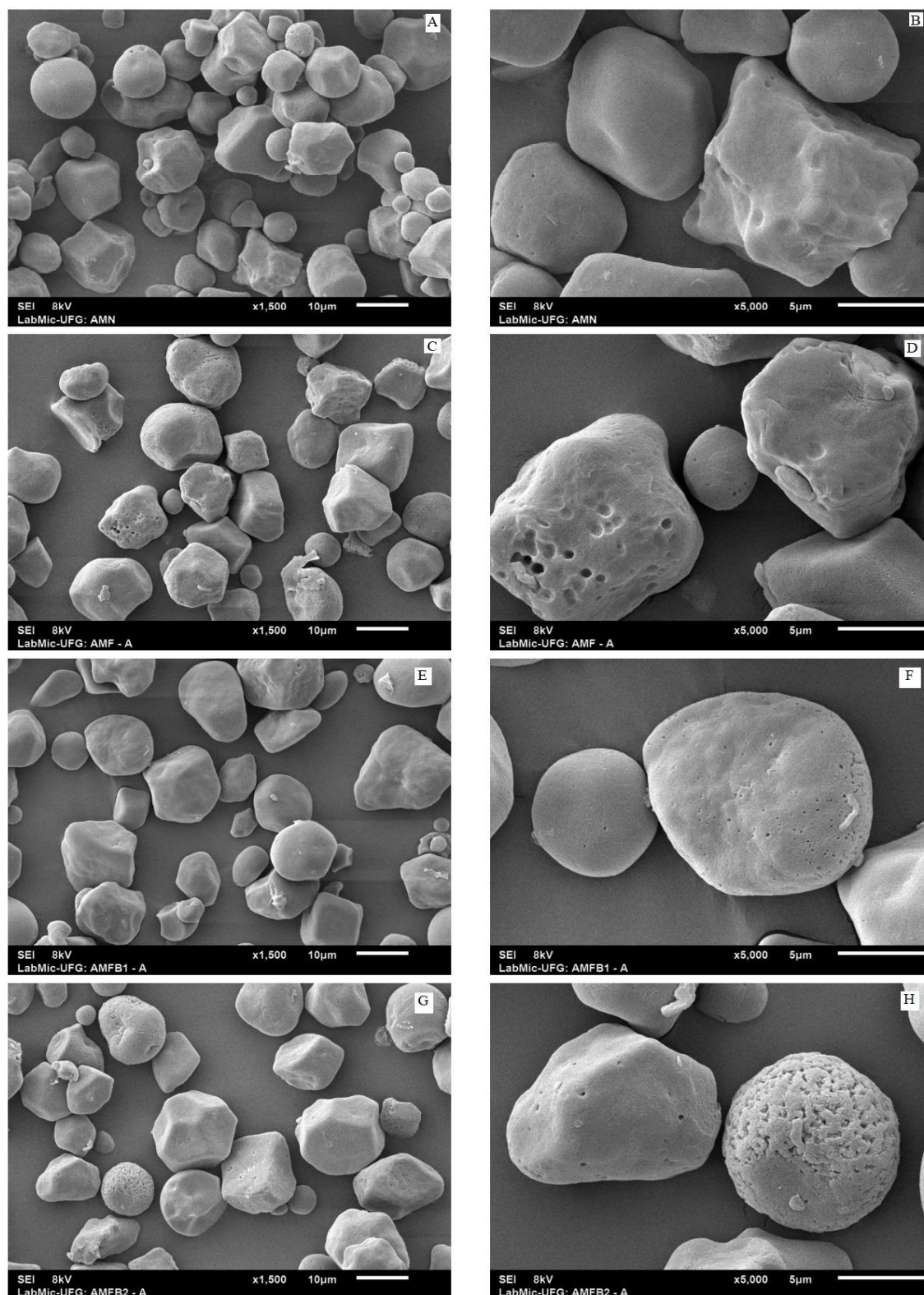


Figura 4. Micrografias eletrônicas de varredura de amido de milho nativo com ampliação de 1500x (A) e 5000x (B); amido de milho fermentado sem *backslopping*: 1500x (C) e 5000x (D); amido de milho fermentado com *backslopping* de polvilho de mandioca fermentado (AMFB1): 1500x (E) e 5000x (F); e amido de milho fermentado com *backslopping* usando AMFB1 (AMFB2): 1500x (G) e 5000x (H).

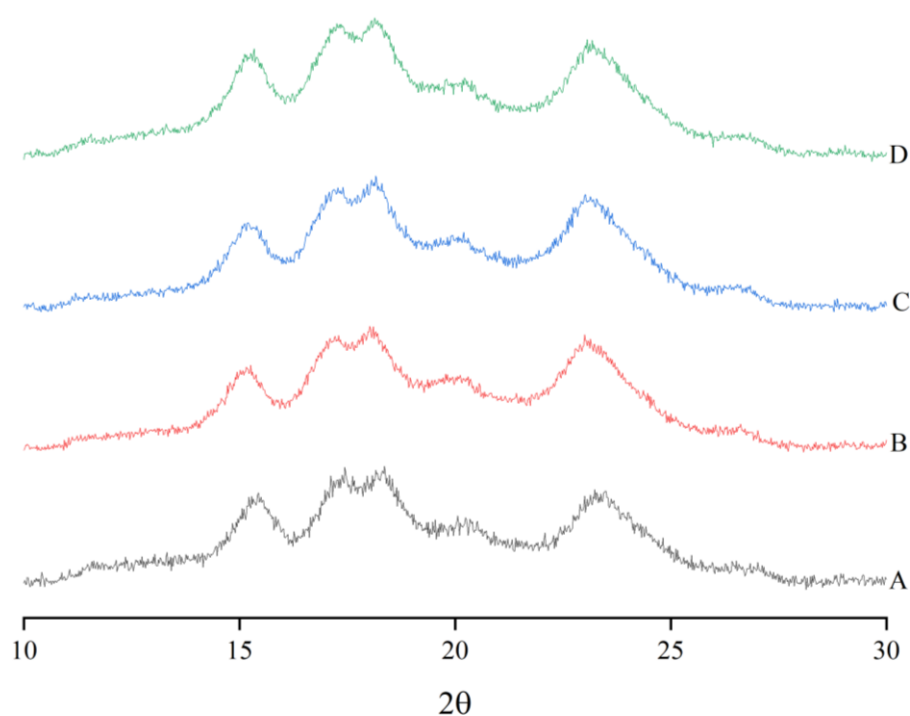


Figura 5. Difração de raios X de amido de milho nativo (A); amido de milho fermentado (B); de milho fermentado com *backslopping* 1 (C); e amido de milho fermentado com *backslopping* 2 (D).

Entretanto, no presente trabalho, a cristalinidade relativa (CR) dos amidos fermentados diminuiu, entre 10,69 % (AMFB1) a 25,43 % (AMF) em relação ao amido de milho nativo, concomitantemente houve elevação no teor de amilose, cujo aumento variou de 6,89 % (AMFB2) a 12,32 % (AMF) (Tabela 3).

Tabela 3. Cristalinidade relativa (CR), teor de amilose de amido de milho fermentado sem *backslopping* (AMF), amido de milho fermentado com *backslopping* com polvilho de mandioca azedo (AMFB1) e amido de milho fermentado com *backslopping* com AMFB1 (AMFB2).

Amostra ¹	CR (%)	Amilose (%)
AMN	42,66 ± 0,63	25,40 ± 0,70
AMF	31,81 ^A ± 2,97	28,53 ^A ± 0,34
AMFB1	38,10 ^A ± 0,67	28,25 ^A ± 1,33
AMFB2	37,54 ^A ± 2,58	27,15 ^A ± 0,89

¹ Dados apresentados em média ± desvio padrão. Valores seguidos de letras iguais em uma coluna não diferem significativamente ($p \leq 0,05$).

Apesar de não ter mudado o tipo de difração, a fermentação juntamente com a secagem ao sol, pode ter ocasionado pequenas mudanças na proporção entre região amorfa e cristalina, percebido pela diminuição da CR e aumento no teor de amilose (Tabela 3). Sabe-se que a amilopectina possui forte correlação com a região cristalina e a amilose com a região amorfa (AL-ANSI et al., 2021). Ao fermentar amido de inhame chinês, Xu et al. (2022), em dado momento da fermentação observaram aumento no teor de amilose e diminuição da CR, e relataram que isso pode ter acontecido, pois os ácidos ou enzimas do processo hidrolisam a amilopectina solta na parte externa da zona cristalina em amilopectina curta e amilose, ocasionando danos à região cristalina. Bian et al. (2022), observaram o mesmo na fermentação espontânea de amido de painço e atribuíram o aumento da amilose à desramificação da amilopectina, por ácidos orgânicos e enzimas, que dá origem a pequenas moléculas de amilose, e a diminuição da CR à hidrólise da zona amorfa e parte da zona cristalina.

Reduções no grau de cristalinidade, sem alterações significativas na estrutura dos amidos, também foram observadas após féculas de mandioca e de batata fermentadas passarem pelo processo de secagem ao sol, e sugere-se que, a radiação favorece uma degradação fotoquímica (QI et al., 2020). Dar et al. (2018), também observaram diminuições na CR de amidos de trigo sarraceno e de aveia, irradiados com radiação gama, e atribuíram a redução à destruição da amilopectina e a desordem das duplas hélices.

Apesar dessas observações ao comparar o amido nativo e os fermentados, a CR, bem como, o teor de amilose entre os amidos fermentados não foram diferentes estatisticamente. Tal resultado sugere que os diferentes processos fermentativos, juntamente com a secagem ao sol, afetaram da mesma forma a estrutura do amido.

3.5 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

A espectroscopia de infravermelho detecta a frequência com que as ligações químicas oscilam, e esta também pode estar relacionada com a conformação e estrutura cristalina do amido (ZHAO et al., 2020). Os espectros FT-IR dos amidos nativo e fermentados são apresentados na Figura 6. Após a fermentação, não houveram mudanças de localização dos picos existentes, assim como não apareceram novos picos, portanto a fermentação não alterou os grupos funcionais e consequentemente não gerou novos grupos, mantendo a estrutura primária do amido.

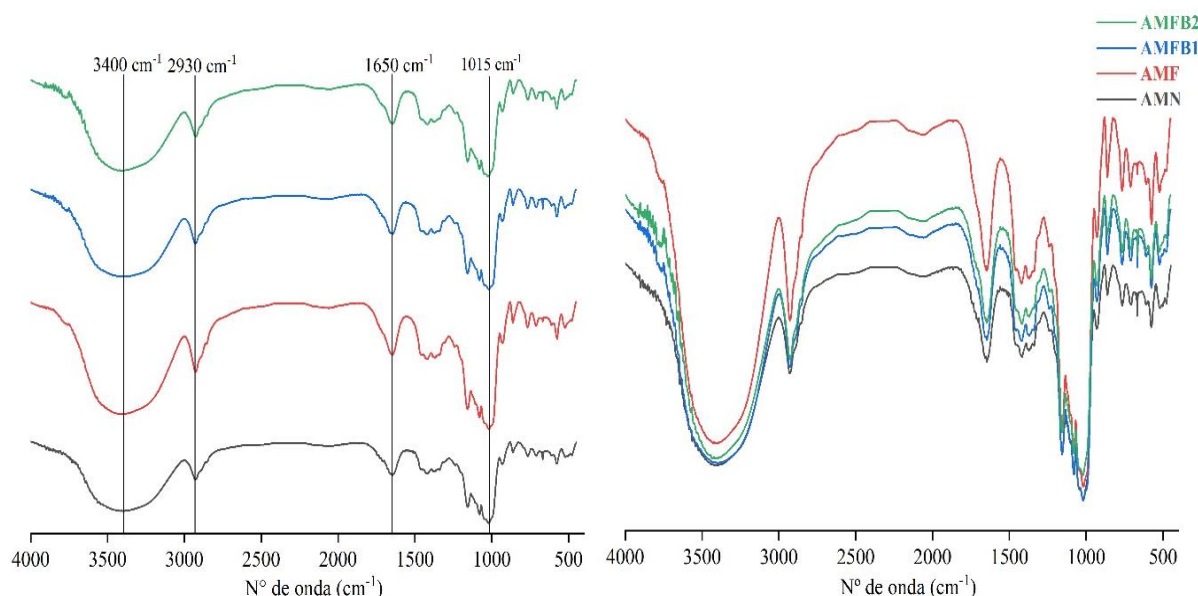


Figura 6. Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) de amido de milho nativo (AMN); amido de milho fermentado (AMF); amido de milho fermentado com backslipping 1 (AMFB1); e amido de milho fermentado com backslipping 2 (AMFB2).

Este comportamento também foi reportado por Ye et al. (2019) após avaliação de amido de batata doce fermentado espontaneamente, assim como Ouyang et al. (2021) em relação aos amidos de milho, batata e ervilha submetidos a diferentes temperaturas de sonicação.

As principais bandas de absorvância típicas para amidos, estão destacadas no gráfico. A banda observada em torno de 3400 cm^{-1} , esta geralmente relacionada com o estiramento das ligações entre as moléculas de oxigênio e hidrogênio dos grupos hidroxila (WANG et al., 2023). Já a banda com absorção ao redor de 2930 cm^{-1} foi frequentemente vinculada à vibração de estiramento e flexão das ligações entre carbono e hidrogênio de grupos metil e metileno, presentes em polissacarídeos (MIRZABABAEI et al., 2022; WANG et al., 2023).

O pico em 1650 cm^{-1} , é característico de absorção de moléculas de água na região amorfa do amido, bem como estiramento de duplas ligações, entre carbono e oxigênio, dos grupos funcionais carbonila (DANKAR et al., 2018; MIRZABABAEI et al., 2022). Os picos encontrados na região próxima à 1015 cm^{-1} são correlacionados com vibrações de estiramento de ligações entre carbono e oxigênio, presentes em ligações glicosídicas (WANG et al., 2023). Basicamente, são os estados vibracionais das moléculas de amilose e amilopectina, que dão origem as bandas características apresentadas pelos amidos submetidos à espectroscopia (MIRZABABAEI et al., 2022).

Apesar de não ter mudado a estrutura de ligação do amido, a sobreposição dos espectros evidenciou um aumento da absorção nas regiões das bandas destacadas em 2930 cm^{-1} e 1650 cm^{-1} , sendo que AMFB1 e AMFB2 apresentaram comportamento semelhante, com maior absorção que AMN, e AMF obteve maior absorção que todos os outros. Tais achados sugerem que a fermentação pode ter provocado reações de hidrólise no amido, o que ocasionou uma provável desramificação das moléculas de amilopectina em moléculas menores de amilose, conforme os achados citados nas análises de CR e teor de amilose (Item 3.4).

3.6 Propriedades térmicas

As propriedades térmicas não sofreram grandes alterações quando comparado o amido nativo aos fermentados (Tabela 4). Dentre os amidos fermentados, houve diferença significativa apenas na temperatura inicial de gelatinização (T_0), em que AMFB1, apresentou uma menor temperatura. Para a temperatura de pico de gelatinização (T_p) e temperatura final de gelatinização (T_f), todos os amidos fermentados tiveram valores semelhantes ou ligeiramente maiores que o amido nativo. A entalpia (ΔH) representa a energia exercida para provocar o rompimento das ligações em dupla hélice das regiões amorfas e cristalinas (WANG et al., 2023). Os amidos fermentados não apresentaram diferença significativa para ΔH , o que sugere que não houve alteração da quantidade de duplas hélices, entre as diferentes técnicas de fermentação.

Tabela 4. Propriedades térmicas de amido de milho nativo (AMN), amido de milho fermentado sem *backslipping* (AMF), amido de milho fermentado com *backslipping* de polvilho de mandioca fermentado (AMFB1) e amido de milho fermentado com *backslipping* de AMFB1 (AMFB2).

Propriedade ^{1,2}	AMN	AMF	AMFB1	AMFB2
T_0	$69,73 \pm 0,03$	$69,88^A \pm 0,04$	$69,14^B \pm 0,11$	$69,76^A \pm 0,23$
T_p	$73,85 \pm 0,12$	$74,47^A \pm 0,04$	$74,31^A \pm 0,17$	$74,67^A \pm 0,13$
T_f	$81,60 \pm 0,06$	$81,86^A \pm 0,94$	$81,62^A \pm 0,48$	$81,78^A \pm 0,02$
ΔH	$8,57 \pm 0,35$	$8,18^A \pm 0,56$	$8,70^A \pm 0,64$	$9,08^A \pm 0,19$

¹Dados apresentados em média $\pm$ desvio padrão. Valores seguidos de diferentes letras em uma linha diferem significativamente ($p \leq 0,05$). ² T_0 , Temperatura inicial de gelatinização ($^{\circ}\text{C}$); T_p , Temperatura de pico de gelatinização ($^{\circ}\text{C}$); T_f , Temperatura fina de gelatinização ($^{\circ}\text{C}$); ΔH , Entalpia de gelatinização. (J g^{-1}).

3.7 Propriedades de pasta

No presente estudo, a fermentação do amido de milho normal reduziu a temperatura de pasta (TpP) entre 0,06 % (AMF) e 1,1 % (AMFB1), a viscosidade máxima (VM) entre 6,78 % (AMFB1) e 21,11 % (AMF), a viscosidade final (VF) entre 18,22 % (AMFB1) e 42,24 % (AMFB2), a tendência a retrogradação (TR) entre 19,98 % (AMFB1) e 58,34 % (AMFB2), e o tempo de pico (TP) entre 1,3 % (AMFB1) e 3,15 % (AMFB2), e aumentou apenas a viscosidade de quebra (VQ) na ordem de 14,24 % (AMF) a 28,82 % (AMFB2) (Tabela 5 e Figura 7).

Tabela 5. Propriedades de pasta de amido de milho nativo (AMN), amido de milho fermentado sem *backslipping* (AMF), amido de milho fermentado com *backslipping* de polvilho de mandioca fermentado (AMFB1) e amido de milho fermentado com *backslipping* de AMFB1 (AMFB2).

Parâmetro ^{1,2}	AMN	AMF	AMFB1	AMFB2
TpP	71,51 ± 0,04	71,47 ^A ± 0,07	70,72 ^B ± 0,02	70,99 ^B ± 0,16
VM	1651,67 ± 6,60	1303,00 ^B ± 23,57	1539,67 ^A ± 16,03	1337,00 ^B ± 25,46
VQ	400,17 ± 5,89	457,17 ^A ± 44,55	504,50 ^A ± 12,02	507,50 ^A ± 23,80
VF	1913,67 ± 29,23	1222,83 ^B ± 28,99	1565,00 ^A ± 32,99	1105,34 ^B ± 44,78
TR	662,17 ± 28,52	377,00 ^B ± 8,02	529,83 ^A ± 28,99	275,84 ^C ± 4,48
TP	9,22 ± 0,00	9,00 ^{AB} ± 0,00	9,10 ^A ± 0,01	8,93 ^B ± 0,05

¹Dados apresentados em média ± desvio padrão. Valores seguidos de diferentes letras em uma linha diferem significativamente ($p \leq 0,05$). ² TpP, Temperatura de pasta (°C); VM, Viscosidade máxima (cP.); VQ, Quebra de Viscosidade de quebra (cP.); VF, Viscosidade final (cP.); TR, Tendência a retrogradação (cP.); TP, Tempo de pico (minutos).

Temperatura de pasta (TpP) é verificada no início de formação da pasta, quando a viscosidade da suspensão de amido começa a aumentar (TAO et al., 2019). Maiores temperaturas de pasta revelam maior resistência ao intumescimento e ruptura do grânulo de amido (XU et al., 2022). No presente estudo, AMF apresentou valor ligeiramente maior de TpP quando comparado aos demais amidos fermentados. A fermentação com a técnica *backslipping* pode reduzir a temperatura de pasta do amido de milho nativo ou fermentado espontaneamente (Tabela 5).

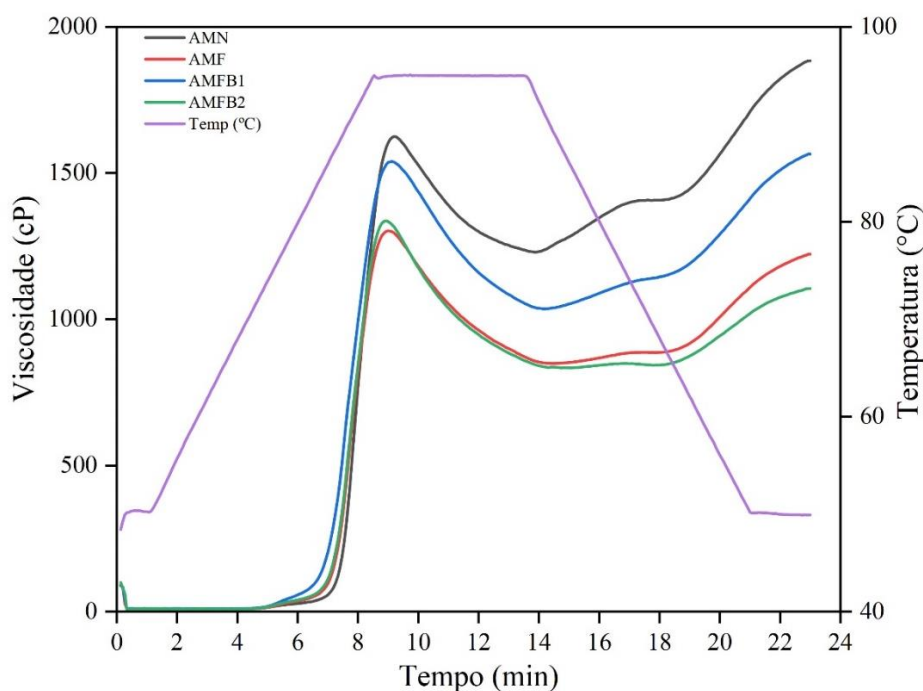


Figura 7. Perfis viscoamilógrafos de amido de milho nativo (AMN), amido de milho fermentado sem *backslopping* (AMF), amido de milho fermentado com *backslopping* de polvilho de mandioca fermentado (AMFB1) e amido de milho fermentado com *backslopping* de AMFB1 (AMFB2).

A viscosidade máxima da suspensão de amido está relacionada com a capacidade do grânulo de expandir antes de se romper, e se correlaciona com a capacidade do amido de reter água (AN et al., 2022). Dentre os amidos de milho fermentados, AMFB1 apresentou pico de viscosidade maior (Tabela 5). Nesse sentido, a fermentação com *backslopping* de polvilho azedo de mandioca colaborou para a conservação da VM elevada.

Ao longo do resfriamento a viscosidade da pasta de amido volta a aumentar, em razão das fortes interações das moléculas de amilose (SHI et al., 2023), sendo que a queda da VF está diretamente relacionada com a extensão da modificação dos grânulos de amido (SANTOS et al., 2021). Dentre os amidos fermentados no presente estudo, o AMFB1 apresentou uma VF significativamente maior que os demais, apesar de todos terem apresentado valores menores que o nativo. A fermentação com *backslopping* de polvilho azedo de mandioca impediu que a VF sofresse alterações tão intensas quanto as ocorridas em AMF e AMFB2, provavelmente devido a presença de microrganismos selecionados pelas sucessivas fermentações que ocorreram no contínuo processamento industrial do polvilho azedo durante o tempo (produto já tradicional), o que possivelmente refletiu na maior velocidade de fermentação (Figura 2), e

consequentemente menor modificação dos grânulos (Figura 4) e menor viscosidade final (Tabela 5). Pois, existem relatos, na literatura, de uma possível relação da baixa viscosidade final de suspensões de amidos fermentados, com a extensa degradação que as enzimas e os ácidos orgânicos, produzidos pelos microrganismos, causam nas moléculas de amido, principalmente nas cadeias curtas da amilopectina (SANTOS et al., 2021; DÍAZ et al., 2018),

Maiores valores de VQ e VF estão relacionados à maior quantidade de moléculas lixiviadas e maior facilidade das mesmas, amilose e amilopectina, se rearranjarem (SHI et al., 2023). Alguns estudos relacionam as propriedades de pasta apresentadas pelos amidos com o teor de amilose, entretanto, outros trabalhos descobriram que tais propriedades não são consequência apenas do teor, mas do comprimento das cadeias de amilose e amilopectina (ZOU et al., 2023; TAO et al., 2019).

A TR ou *setback* indica a tendência que o amido tem de se retrogradar, ou seja, a capacidade que as moléculas de amilose e amilopectina, têm de se rearranjar após o processo de gelatinização e resfriamento, sendo utilizada como parâmetro de firmeza em alimentos amiláceos. A TR está relacionada com o envelhecimento e a estabilidade destes produtos, pois quanto menor o valor de TR, mais estável é o amido (SHI et al., 2023; DAR et al., 2018; ZHAO et al., 2019). Nesta pesquisa todos os amidos fermentados exibiram menor TR que o nativo, além disso, houve diferença significativa entre os amidos modificados com as técnicas de fermentação, sendo que AMFB1 ficou com TR mais elevada, seguido de AMF e AMFB2 (Tabela 5). Assim, pode-se afirmar que alimentos que contenham amidos de milho fermentados e secos ao sol, podem possuir e preservar por mais tempo uma textura macia, quando comparado ao amido de milho nativo, e um resultado mais satisfatório poderia ser alcançado quando utilizado o AMFB2.

O TP é o tempo com que a suspensão de amido leva para atingir a VM quando submetido ao aquecimento. No presente trabalho, o AMFB1 apresentou maior TP, enquanto AMFB2 obteve menor valor, sendo estes estatisticamente diferentes, já AMF teve valor intermediário não diferindo dos demais (Tabela 5).

4 CONCLUSÃO

O tempo de fermentação do amido de milho é reduzido quando aplicada a técnica de *backslopping* com polvilho de mandioca azedo, uma vez que, acelerou o processo fermentativo, através de uma rápida acidificação, o que sugere uma maior adaptação das bactérias remanescente presentes neste produto. A fermentação não foi capaz de alterar o tipo padrão de difração de raios-X do amido de milho, porém houve aumento de poros e rugosidades na superfície dos grânulos observados na MEV, bem como alterações significativas nas propriedades de pasta. Ligeiras alterações na CR e teor de amilose também foram notadas. Tais achados, sugerem que a fermentação natural e a secagem ao sol podem alterar o tamanho das moléculas de amilopectina, por hidrólise, transformando-a em amilose e amilopectina de cadeia curta, porém outras análises são necessárias para confirmar tal hipótese. O tempo de fermentação exerce forte influência sobre a extensão da modificação sofrida pelo amido, independente de as suspensões, atingirem determinada acidez ao longo do processo fermentativo. Esta afirmação é possível pois, a intensidade da ação dos microrganismos, ácidos orgânicos e enzimas, durante o processo fermentativo, nos grânulos de amido, apresentou-se maior quando o tempo de contato entre os mesmos foi mais longo.

REFERÊNCIAS

- AL-ANSI, W.; SAJID, B. M.; MAHDI, A. A.; AL-MAQTARI, Q. A.; AL-ADEEB, A.; AHMED, A.; FAN, M.; LI, Y.; QIAN, H.; JINXIN, L.; WANG, L. Molecular structure, morphological, and physicochemical properties of highlands barley starch as affected by natural fermentation. **Food Chemistry**, Barking, v. 356, p. 129665, 2021.
- AN, D.; LI, H.; LI, D.; ZHANG, D.; HUANG, Y.; OBADI, M.; XU, B. The relation between wheat starch properties and noodle springiness: From the view of microstructure quantitative analysis of gluten-based network. **Food Chemistry**, Barking, v. 393, p. 133396, 2022.
- AOAC. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods**, 11th ed., St. Paul: AOAC, 2016.
- BATISTA, R. D.; CÁSSIA SOUSA MENDES, D. DE; MORAIS, C. C.; THOMAZ, D. V.; RAMIREZ ASCHERI, D. P.; DAMIANI, C.; ASQUIERI, E. R. Physicochemical, functional and rheological properties of fermented and non-fermented starch from canary seed (*Phalaris canariensis*). **Food Hydrocolloids**, New York, v. 99, p. 105346, 2020.
- BIAN, X.; CHEN, J. RU; YANG, Y.; YU, D. HUI; MA, Z. QIAN; REN, L. KUN; WU, N.; CHEN, F. LIAN; LIU, X. FEI; WANG, B.; ZHANG, N. Effects of fermentation on the structure and physical properties of glutinous proso millet starch. **Food Hydrocolloids**, New York, v. 123, p. 107144, 2022.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC ANVISA/MS nº. 263, de 02 de janeiro de 2005. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**. Brasília, 22 de setembro de 2005.
- DANKAR, I.; HADDARAH, A.; OMAR, F. E. L.; PUJOLÀ, M.; SEPULCRE, F. Characterization of food additive-potato starch complexes by FTIR and X-ray diffraction. **Food Chemistry**, Barking, v. 260, p. 7–12, 2018.
- DAR, M. Z.; DEEPIKA, K.; JAN, K.; SWER, T. L.; KUMAR, P.; VERMA, R.; VERMA, K.; PRAKASH, K. S.; JAN, S.; BASHIR, K. Modification of structure and physicochemical properties of buckwheat and oat starch by γ -irradiation. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 108, p. 1348–1356, 2018.
- DÍAZ, A.; DINI, C.; VIÑA, S. Z.; GARCÍA, M. A. Fermentation and drying effects on bread-making potential of sour cassava and ahipa starches. **Food Research International**, Essex, v. 116, n. 2019, p. 620–627, 2019.
- DÍAZ, A.; DINI, C.; VIÑA, S. Z.; GARCÍA, M. A. Technological properties of sour cassava starches: Effect of fermentation and drying processes. **LWT – Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 93, p. 116–123, 2018.
- JULIANO, B. O. A Simplified assay for milled-rice amylose. **Cereal Science Today**, Saint Paul, v. 16, n. 11, p. 334 – 360, 1971.
- MIRZABABAEI, S. M.; OZMEN, D.; HESARINEJAD, M. A.; TOKER, O. S.; YEGANEHZAD, S. A study on the structural, physicochemical, rheological and thermal properties of high hydrostatic pressurized pearl millet starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 223, p. 511–523, 2022.

NARA, T.; KOMIYA, T. Studies on the relationship between water-saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. **Starch-Starke**, Weinheim, n. 12, p. 407 – 410, 1983.

NIU, H.; HAN, Q.; CAO, C.; LIU, Q.; KONG, B. Short-term retrogradation behaviour of corn starch is inhibited by the addition of porcine plasma protein hydrolysates. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 115, n. 2018, p. 393-400, 2018.

OUYANG, Q.; WANG, X.; XIAO, Y.; LUO, F.; LIN, Q.; DING, Y. Structural changes of A-, B- and C-type starches of corn, potato and pea as influenced by sonication temperature and their relationships with digestibility. **Food Chemistry**, Barking, v. 358, p. 129858, 2021.

OYEYINKA, S. A.; ADELOYE, A. A.; OLAOMO, O. O.; KAYITESI, E. Effect of fermentation time on physicochemical properties of starch extracted from cassava root. **Food Bioscience**, Weinheim, v. 33, p. 100485, 2020.

PENIDO, F. C. L.; PILÓ, F. B.; SANDRES, S. H. C.; NUNES, A. C.; COLEN, G.; OLIVEIRA, E. S.; ROSA, C. A.; LACERDA, I. C. A. Selection of starter cultures for the production of sour cassava starch in a pilot-scale fermentation process. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 49, n. 4, p. 823–831, 2018.

QI, Q.; HONG, Y.; ZHANG, Y.; GU, Z.; CHENG, L.; LI, Z.; LI, C. Combinatorial effect of fermentation and drying on the relationship between the structure and expansion properties of tapioca starch and potato starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 145, p. 965–973, 2020.

SANTOS, T. P. R. DOS; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; CABELLO, C. Study and application of photo-modified cassava starch with lactic acid and UV-C irradiation. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 139, p. 110504, 2021.

SHI, P.; ZHAO, Y.; QIN, F.; LIU, K.; WANG, H. Understanding the multi-scale structure and physicochemical properties of millet starch with varied amylose content. **Food Chemistry**, Barking, v. 410, p. 135422, 2023.

STAROWICZ, M.; ROSTEK, D.; LENKIEWICZ, M.; YANEVA, T. G.; WRONKOWSKA, M. Profile of volatile organic compounds (VOCs) produced by selected *Lactobacillus* strains in buckwheat substrates. **Journal of Cereal Science**, London, v. 109, p. 103588, 2023.

TAO, K.; LI, C.; YU, W.; GILBERT, R. G.; LI, E. How amylose molecular fine structure of rice starch affects functional properties. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 204, p. 24–31, 2019.

TEIXEIRA, C. S.; NEVES, G. A. DA R.; CALIARI, M.; SOARES JÚNIOR, M. S. Waxy maize starch modified by sun-drying after spontaneous or backslipping fermentation. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 135, p. 553–559, 2019.

TEIXEIRA, C. S.; NEVES, G. A. R.; OLIVEIRA, T. F.; CALIARI, M.; SOARES JÚNIOR, M. S., Brazilian cheese bread rolls from fermented and native waxy maize starch. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 44, 2020.

TU, Y.; HUANG, S.; CHI, C.; LU, P.; CHEN, L.; LI, L.; LI, X. Digestibility and structure changes of rice starch following co-fermentation of yeast and *Lactobacillus* strains. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 184, p. 530–537, 2021.

WANG, Q.; TANG, Z.; LI, Z.; LUAN, Y.; GU, C.; LIU, R.; GE, Q.; YU, H.; WU, M. Effects of octenyl succinylation on the properties of starches with distinct crystalline types and their

Pickering emulsions. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, p. 123183, 2023.

WEBER, F. H.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; CHANG, Y. K. Physicochemical, rheological, morphological, and thermal characterization of normal, waxy, and high amylose corn starches. **Ciência Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 748-753, 2009.

XU, M.; ZOU, J.; ZHAO, X.; FENG, Y.; DUAN, R.; YANG, B. Effect of lactobacteria fermentation on structure and physicochemical properties of Chinese yam starch (*Dioscorea opposita* Thunb.). **Food Chemistry**, Barking, v. 387, p. 132873, 2022.

YE, F.; MIAO, M.; LU, K.; JIANG, B.; LI, X.; CUI, S. W. Estrutura e propriedades físico-químicas de nanopartículas modificadas à base de amidos de diferentes variedades de milho. **Food Hydrocolloids**, Oxon, v. 67, p. 37-44, 2017.

YE, F.; XIAO, L.; LIANG, Y.; ZHOU, Y.; ZHAO, G. Spontaneous fermentation turns the physicochemical properties of sweet potato starch by modifying the structure of starch molecules. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 213, p. 79–88, 2019.

ZABOT, G. L.; SILVA, E. K.; EMERICK, L. B.; FELISBERTO, M. H. F.; CLERICI, M. T. P. S.; MEIRELES, M. A. A. Physicochemical, morphological, thermal and pasting properties of a novel native starch obtained from annatto seeds. **Food Hydrocolloids**, New York, v. 89, p. 321–329, 2019.

ZHANG, S.; LI, Q.; ZHAO, Y.; QIN, Z.; ZHENG, M.; LIU, H.; LIU, J. Preparation and characterization of low oil absorption corn starch by ultrasonic combined with freeze–thaw treatment. **Food Chemistry**, Barking, v. 15, p. 100410, 2022.

ZHAO, T.; LI, X.; MA, Z.; HU, X.; WANG, X.; ZHANG, D. Multiscale structural changes and retrogradation effects of addition of sodium alginate to fermented and native wheat starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 163, p. 2286–2294, 2020.

ZHAO, T.; LI, X.; ZHU, R.; MA, Z.; LIU, L.; WANG, X.; HU, X. Effect of natural fermentation on the structure and physicochemical properties of wheat starch. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 218, p. 163–169, 2019.

ZONG, X.; WEN, L.; MOU, T.; WANG, Y.; LI, L. Effects of multiple cycles of sorghum starch gelatinization and fermentation on production of Chinese strong flavor Baijiu. **Journal of Cereal Science**, London, v. 108, p. 103561, 2022.

ZOU, J.; LI, Y.; WANG, F.; SU, X.; LI, Q. Relationship between structure and functional properties of starch from different cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and yam (*Dioscorea opposita* Thunb) cultivars used for food and industrial processing. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 173, p. 114261, 2023.

ANEXOS

ANEXO A – Temperaturas ambiente ocorridas nos dias de fermentação.

Data	Tempo	T_{Max.}	T_{Min.}	T_{Méd.}
25/07/2022	0	30,2	14,8	22,5
26/07/2022	1	30,4	14,4	22,4
27/07/2022	2	29,6	13,8	21,7
28/07/2022	3	30	14,7	22,35
29/07/2022	4	31	14,1	22,55
30/07/2022	5	29,6	13,8	21,7
31/07/2022	6	32,1	15,6	23,85
01/08/2022	7	33	16	24,5
02/08/2022	8	33	16,1	24,55
03/08/2022	9	31,9	17,3	24,6
04/08/2022	10	31,8	17,5	24,65
05/08/2022	11	32,4	17	24,7
06/08/2022	12	34,2	15,2	24,7
07/08/2022	13	33,6	15,4	24,5
08/08/2022	14	31,4	15,3	23,35
09/08/2022	15	32,8	18,1	25,45
10/08/2022	16	23,1	13,7	18,4
11/08/2022	17	25,9	8,9	17,4
12/08/2022	18	31,5	10,3	20,9
13/08/2022	19	33,1	15,4	24,25
14/08/2022	20	32	17,1	24,55
15/08/2022	21	31,9	16,6	24,25
16/08/2022	22	32,9	20,2	26,55
17/08/2022	23	32,9	20,4	26,65
18/08/2022	24	33	17,8	25,4
19/08/2022	25	28,2	13,2	20,7
20/08/2022	26	30,6	14,1	22,35
21/08/2022	27	29,9	15,7	22,8
22/08/2022	28	29,7	15,1	22,4
23/08/2022	29	29,7	14,5	22,1
24/08/2022	30	30,7	15,3	23
25/08/2022	31	31,5	16,2	23,85
26/08/2022	32	31,8	18,2	25
27/08/2022	33	32,2	17,1	24,65
28/08/2022	34	33	17,3	25,15
29/08/2022	35	33,8	16,7	25,25
30/08/2022	36	33,2	18,1	25,65
31/08/2022	37	31,5	17,9	24,7
01/09/2022	38	30,9	16,5	23,7
02/09/2022	39	31,8	14,2	23

Data	Tempo	T Max.	T Min.	T Méd.
03/09/2022	40	33,8	16,2	25
04/09/2022	41	33,8	16,1	24,95
05/09/2022	42	35,5	19,3	27,4
06/09/2022	43	33,9	19,3	26,6
07/09/2022	44	33,1	19,6	26,35
08/09/2022	45	34,7	18,8	26,75
09/09/2022	46	34,8	19,9	27,35
10/09/2022	47	35,3	20,7	28
11/09/2022	48	36,7	20,7	28,7
12/09/2022	49	37	23,8	30,4
13/09/2022	50	36,3	21,1	28,7
14/09/2022	51	34,6	21,4	28
15/09/2022	52	33,1	18,2	25,65
16/09/2022	53	33,5	17,5	25,5
17/09/2022	54	34,1	19,1	26,6
18/09/2022	55	34,9	19,5	27,2
19/09/2022	56	31,3	20,2	25,75
20/09/2022	57	32	21,3	26,65
21/09/2022	58	34,3	19,6	26,95
22/09/2022	59	26,5	20,1	23,3
23/09/2022	60	24	18,6	21,3
24/09/2022	61	29,9	17,9	23,9
25/09/2022	62	33,7	20,9	27,3
26/09/2022	63	33,6	19,7	26,65
27/09/2022	64	28,6	19,5	24,05
28/09/2022	65	33,1	18,2	25,65

Fonte: Clima CNPAF, Embrapa Arroz e Feijão. Disponível em: <<https://www.cnpaf.embrapa.br/climacnpaf/>>. Acesso em: 25 de jan de 2023.

ANEXO B – Análise de variância dos modelos de regressão cubica para acidez total titulável.

Tratamento	Efeito	Soma dos Quadrados	Grau de liberdade	Quadrado Médio	f	p
AMF	Tempo	31,65907	1	31,65907	129,0950	0,000000
	Tempo^2	27,06432	1	27,06432	110,3592	0,000000
	Tempo^3	19,55294	1	19,55294	79,7303	0,000000
	Erro	15,69526	64	0,24524		
AMFB1	Tempo	0,665577	1	0,665577	12,39337	0,005535
	Tempo^2	1,073775	1	1,073775	19,99422	0,001195
	Tempo^3	0,514933	1	0,514933	9,58832	0,011318
	Erro	0,537043	10	0,053704		
AMFB2	Tempo	17,76330	1	17,76330	105,2183	0,000000
	Tempo^2	12,42525	1	12,42525	73,5991	0,000000
	Tempo^3	7,62869	1	7,62869	45,1874	0,000000
	Erro	10,80469	64	0,16882		

ANEXO C – Análise de variância dos modelos de regressão cubica para potencial hidrogeniônico.

Tratamento	Efeito	Soma dos Quadrados	Grau de liberdade	Quadrado Médio	f	p
AMF	Tempo	1,6539	1	1,6539	53,745	0,000000
	Tempo ²	0,8081	1	0,8081	26,260	0,000003
	Tempo ³	0,4566	1	0,4566	14,838	0,000274
	Erro	1,9694	64	0,0308		
AMFB1	Tempo	0,34618	1	0,34618	9,380	0,011989
	Tempo ²	0,16311	1	0,16311	4,420	0,061841
	Tempo ³	0,12493	1	0,12493	3,385	0,095620
	Erro	0,36906	10	0,03691		
AMFB2	Tempo	2,2493	1	2,2493	42,670	0,000000
	Tempo ²	1,3317	1	1,3317	25,262	0,000004
	Tempo ³	0,8876	1	0,8876	16,838	0,000117
	Erro	3,3738	64	0,0527		

APÊNDICES

APÊNDICE A – Temperaturas do interior da sala ao longo da fermentação.

Tempo	T_{Max.}	T_{Min.}	T_{Méd.}
0	24,1	23,5	23,8
2	24,6	22,7	23,65
4	24,5	22,7	23,6
6	24,5	22,7	23,6
8	24,6	22,7	23,65
10	24,8	23,8	24,3
12	24,6	23,8	24,2
14	24,9	23,6	24,25
16	25,1	22,7	23,9
18	24,7	21,6	23,15
20	25	22,5	23,75
22	25	24,1	24,55
24	24,7	24,1	24,4
26	24,9	24,2	24,55
28	24,6	23,9	24,25
30	24,7	23,9	24,3
32	26,5	22,9	24,7
34	25,1	21,8	23,45
36	25	23,4	24,2
38	24,9	23,7	24,3
40	25,2	23,7	24,45
42	25,2	24,6	24,9
44	25,5	24,5	25
46	25,5	24,6	25,05
48	26,4	24,7	25,55
50	25,9	24,3	25,1
52	25	24,1	24,55
54	25	24,2	24,6
56	25,4	24,1	24,75
58	25,1	24,4	24,75
60	24,8	24,3	24,55
62	24,9	24	24,45
64	26,4	24,1	25,25
66	26,4	24,6	25,5

CAPÍTULO III

Propriedades físico-químicas e tecnológicas de amido de milho fermentado, com e sem iniciadores, e sua aplicação em biscoitos enriquecidos com farinha de gérmen de milho

RESUMO

Amidos nativos não possuem todas as características necessárias para as diferentes aplicações na indústria, por isso normalmente precisam ser modificados. O amido de milho normal é um produto abundante, que pode ser modificado por fermentação natural e secagem ao sol. Nesse sentido, o presente estudo buscou modificar tal matéria-prima com o intuito de obter amido azedo com características de panificação semelhantes à fécula azeda de mandioca. Após a fermentação e secagem, as características físico-químicas e tecnológicas foram avaliadas. Foi possível obter amido de milho azedo em menor tempo de fermentação, com o uso da técnica *backslopping*, uma vez que o mesmo se acidificou em 12 dias e os demais em 65 dias. O amido de milho sofreu a acidificação desejada, com diminuição do pH, na faixa de 14,22 % (AMFB1) a 22,61 % (AMF), e apresentou cor clara e tom ligeiramente amarelado. A absorção e a solubilidade em água dos amidos fermentados e secos ao sol foram maiores que do amido nativo. Sendo que a absorção aumentou de 12,95 % (AMF) a 20,13 % (AMFB2) e a solubilidade de 70,4 % (AMFB1) a 452,8 % (AMF). Entretanto, não se obteve propriedades de expansão similares as do polvilho de mandioca azedo, uma vez que, foi observada uma ligeira redução nos parâmetros de volume específico e índice de expansão de 32,67 % (AMFB1) a 35,55 % (AMF) e 4,60 % (AMF) a 10,12 % (AMF), respectivamente. O teor de cinzas aumentou na ordem de 45,35 % (AMF) e 76,74 % (AMFB1), mas não mais que o limite máximo definido pela legislação brasileira, ou a ponto de sugerir a presença de contaminantes físicos. A secagem ao sol possibilitou a obtenção de produtos com baixa atividade de água ($< 0,6$), consequentemente menor risco de crescimento de microrganismos deteriorantes. Ao utilizar o amido de milho fermentado em biscoitos notou-se maiores valores de volume específico, que nos amidos por si só. Os teores de cinzas, proteínas e lipídios, aumentaram significativamente com o aumento da proporção de farinha de gérmen de milho. Nesse sentido, foi possível obter biscoitos com características tecnológicas e nutricionais interessantes com a aplicação do amido de milho fermentado como matéria prima principal, juntamente com o uso da farinha de gérmen de milho para o enriquecimento dos mesmos.

Palavras-chave: Fermentação natural; Amido de milho azedo; Expansão; Biscoitos.

1 INTRODUÇÃO

O amido é o principal carboidrato que compõe a dieta humana, em razão de sua alta disponibilidade e baixo custo. A depender de sua origem botânica, o amido nativo possui limitações de aplicação, com isso surge a necessidade de modificar o mesmo. Tais modificações envolvem métodos químicos, físicos e enzimáticos (OLAWOYE et al., 2022). Um dos métodos que está sendo bastante investigado para modificação de amidos é a fermentação. O produto mais comum no mercado, modificado por fermentação, é a fécula de mandioca azeda, que após passar pelo processo de acidificação natural e secagem ao sol desenvolve uma ótima expansão durante o cozimento. Ao escaldar o amido, obtém-se uma massa com volume específico considerável, que serve de matéria prima para pães de queijo sem glúten e fermento, o que o torna bastante atrativo (QI et al., 2021; DÍAZ et al., 2018).

A fermentação com *bacckslopping* é extensamente utilizada para transformar matérias-primas como chucrute e pão de fermentação natural. Tal técnica é baseada na inoculação de microrganismos com a adição de uma determinada quantidade de um produto previamente fermentado (KIM et al., 2018; OZEL et al., 2020). Existem relatos do uso de culturas *starters* para a fermentação de fécula de mandioca (DÍAZ et al., 2018) e amido de milho ceroso (TEIXEIRA et al., 2019), entretanto não foram encontrados estudos que apliquem essa técnica na modificação de amido de milho normal.

Para além disso, cada vez mais problemas ocasionados pela obesidade e diabetes mellitus (DM), tem acometido a população. A estimativa é de que em 2021, 537 milhões de adultos possuíam diagnóstico de DM e a previsão é de que no ano de 2030 esse número aumente para 643 milhões (IDF, 2021). A alimentação é parte indispensável no tratamento tanto da obesidade, como da DM. Alimentos com alto teor de carboidratos simples, são rapidamente digeridos e absorvidos pelo trato gastrointestinal, o que leva a uma sensação de saciedade por curto período e desbalanço glicêmico. Portanto, o consumo de alimentos ricos em fibra e que contenham em sua composição proteína de alta qualidade, bem como, perfil lipídico com predominância de ácidos graxos insaturados é interessante para esse público.

Por outro lado, a busca dos consumidores por alimentos sem glúten tem crescido gradativamente, por indivíduos que possuem resistência a essa proteína e suas unidades formadoras, glutenina e gliadina, derivada da doença celíaca. Porém, normalmente, os produtos

livres de glúten, disponíveis no mercado, não possuem características nutricionais interessantes, como é o caso dos biscoitos de polvilho de mandioca (CERVINI et al., 2021).

Tais biscoitos são alimentos panificados muito consumidos no Brasil e outros países da América Latina, por públicos de todas as faixas etárias, embora sejam ricos apenas em amido, que é um carboidrato de alta digestibilidade. Entretanto, devido à sua alta aceitabilidade, são excelentes alimentos para serem enriquecidos com ingredientes dotados de propriedades funcionais (MENDES et al., 2021; MELESE; KEYATA, 2022). A substituição parcial das féculas, comumente utilizadas na fabricação desses produtos, por outras com melhor composição, é uma alternativa para melhorar o perfil nutricional de tais alimentos (CERVINI et al., 2021).

A farinha de gérmen de milho possui propriedades nutricionais interessantes para melhorar o perfil de biscoitos a base de amido. Grande parte dos fitoquímicos presentes no milho, responsáveis pelos benefícios à saúde humana, são encontrados nas frações farelo e gérmen. Portanto, farinhas com o gérmen moído juntamente com endosperma e farelo, possuem maior teor de compostos bioativos, se comparado ao amido de milho refinado (SIYUAN; TONG; LIU, 2018). Além disso, o gérmen é fonte de ácidos graxos insaturados, aminoácidos essenciais, fibra dietética e vitaminas (WANG et al., 2021).

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar as propriedades físico-químicas e tecnológicas do amido de milho nativo e modificado por fermentação natural seguida de secagem ao sol, com e sem a aplicação da técnica de *backslopping*, além de desenvolver formulações de biscoito, utilizando como ingrediente principal o amido de milho azedo, enriquecido com diferentes quantidades de farinha de gérmen de milho e determinar as características físicas, químicas e tecnológicas dos biscoitos obtidos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

O amido de milho nativo, utilizado na obtenção do amido de milho fermentado, foi doado pela Fecularia Bela Vista - Febela, localizada em Bela Vista, Goiás, Brasil. Já polvilho azedo de mandioca comercial Yoki® foi adquirido no comércio local de Goiânia e utilizado para obter o amido de milho de milho fermentado com a técnica de *backslopping*.

A farinha de gérmen de milho, previamente estabilizada por extrusão, foi gentilmente cedida pela indústria Milhão Ingredients, localizada em Goianira, Goiás, Brasil. Os demais ingredientes utilizados para produção dos biscoitos foram adquiridos no comércio local de Goiânia, Goiás, Brasil.

2.2 Fermentação do amido de milho e secagem ao sol

O amido de milho nativo (AMN) foi submetido à fermentação e secagem solar. Em uma primeira etapa, caixas de polipropileno foram preenchidas com 8 L de água e 5 kg de AMN. Para investigar o efeito da adição de iniciadores sobre as propriedades físico-químicas e tecnológicas foram adicionados 375 g de polvilho de mandioca azedo, afim de obter o amido de milho fermentado com *backslopping* (AMFB1), conforme o método descrito por Teixeira et al. (2019). O processo de fermentação foi encerrado quando atingiu 4,5 % de acidez ou após decorridos 65 dias, para os casos em que este ponto de corte não foi atingido.

Após alcançados a acidez ou o tempo estipulado, as suspensões foram drenadas e o amido resultante foi seco ao sol em bandejas de alumínio até atingir umidade inferior a 14 % (BRASIL, 2005). Em uma segunda etapa, o processo repetiu-se, no entanto, foram obtidos amido de milho fermentado sem o uso de iniciante (AMF), AMFB1, com uso de polvilho de mandioca como iniciante, e AMFB2, com iniciante de AMFB1 obtido na primeira etapa. Após encerrada a fermentação os amidos foram expostos ao sol, para a realização da secagem, afim de atingir umidade inferior à 14 %. Ao finalizar a secagem, os amidos foram passados em peneira com malha de 60 *mesh*. Os amidos obtidos foram acondicionados em embalagens de polietileno de baixa densidade (PEBD) e armazenados sob refrigeração ($5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) até a realização das

análises de parâmetros instrumentais de cor, atividade de água, acidez total titulável, pH, solubilidade em água, absorção de água e de óleo, índice de expansão, volume específico, umidade, proteína bruta, cinzas, amido total, amido resistente e amido não resistente, todas realizadas em triplicata, exceto cor com 10 leituras e índice de expansão e volume específico em 5 replicatas.

2.3 Propriedades físicas e químicas dos amidos

2.3.1 Atividade de água, acidez total titulável e pH

A atividade de água (Aa) foi determinada no AquaLab digital (Decagon Devices, Series 3-TE, Jarinu, Brasil), acoplado a um banho termostático controlado, na temperatura de 25 °C. A acidez foi determinada pelo método de titulação. As amostras foram diluídas em água destilada e posteriormente tituladas com NaOH 0,1 N, usando fenolftaleína como indicador, até que a solução apresentasse coloração rósea persistente (método 950.15-1950). Para a leitura do pH foi utilizado potenciômetro digital (Tecnal, R-TEC-3P-MP, Piracicaba, Brasil), previamente calibrado com solução tampão pH 4 e pH 7 (método 981.12-1982). As análises foram realizadas de acordo com as normas estabelecidas pela AOAC (2016).

2.3.2 Umidade, cinzas, proteína, amido total, amido resistente e amido não resistente

A umidade foi quantificada em estufa a 105 °C até peso constante (método 925.09-1925); as cinzas por pesagem após incineração a 550 °C em forno mufla (método 923.03-1923); o teor de nitrogênio pelo método micro-Kjeldahl, que multiplicado pelo fator 5,70 resultou no teor de proteína bruta (método 920.87-1920); de acordo com as recomendações da AOAC (2016). Os teores de amido total, resistente e não resistente foram determinados com o uso do kit de ensaio para amido resistente (Megazyme®, Irishtown, Irlanda).

2.3.3 Parâmetros instrumentais de cor

Os parâmetros instrumentais de cor foram analisados através de colorímetro (Konica Minolta, Bankinh Meter, BC-10, Ramsey, USA). A calibração foi efetuada em placa com

superfície de porcelana branca, a fim de se obter um padrão, em seguida foram realizadas as leituras dos parâmetros: luminosidade, que varia do preto (0) ao branco (100); e coordenadas de cromaticidade a^* (-80 até zero = verde, e zero ao +100 = vermelho) e b^* (-100 até zero = azul, do zero ao + 70 = amarelo). A partir das leituras dos parâmetros a^* e b^* foram calculados a cromaticidade (saturação da cor) e o ângulo Hue (tonalidade ou matriz) (equações 1 e 2, respectivamente).

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{Equação 1})$$

$$H^* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (\text{Equação 2})$$

Nas quais: C^* = cromaticidade; H = ângulo Hue; a^* é a coordenada de cromaticidade entre o verde e o vermelho; e b^* é a coordenada de cromaticidade entre o azul e o amarelo.

2.4 Propriedades tecnológicas dos amidos

2.4.1 Absorção e solubilidade em água e absorção de óleo

O índice de solubilidade em água (ISA) e o índice de absorção de água (IAA) foram determinados segundo Anderson et al. (1970). Amostras de 2,5 g foram pesadas em tubos de centrifuga e adicionados de 30 mL de água destilada. Em seguida, os tubos foram agitados em banho-maria por 30 min em temperatura de 30 °C, e centrifugado a 3000 rpm, por 10 min em centrífuga (Best Etetronics, TG- WS, Xangai, China). O sobrenadante foi retirado cuidadosamente com auxílio de uma pipeta volumétrica de 10 mL, permanecendo apenas o precipitado no tubo. O valor do IAA foi calculado utilizando-se a equação 3, e o resultado expresso em g de precipitado por g de matéria seca. O ISA foi calculado pela relação entre a massa do resíduo seco do sobrenadante (resíduo da evaporação) e da amostra, conforme equação 4. Para a determinação do índice de absorção de óleo (IAO), a água foi substituída pelo óleo de soja. Após a centrifugação, o líquido sobrenadante de cada amostra foi descartado, deixando-se os tubos ligeiramente invertidos durante 1 min. O IAO foi obtido pela relação entre a massa do resíduo centrifugado pela amostra em base seca (Equação 5).

$$IAA = \frac{MRC}{MA - MRE} \quad \text{Equação (3)}$$

$$ISA = \frac{MRE}{MA} \times 100 \quad \text{Equação (4)}$$

$$IAO = \frac{MRC}{MA} \quad \text{Equação (5)}$$

Nas quais: IAA = índice de absorção de água [g de gel (g de matéria seca)⁻¹]; MRC= massa do resíduo da centrifugação (g); MA = massa da amostra (g) (base seca); MRE = massa do resíduo da evaporação (g); ISA = índice de solubilidade em água [g (100 g)⁻¹]; IAO = índice de absorção de óleo [g precipitado (g de matéria seca)⁻¹].

2.4.2 Índice de expansão e volume específico

Para cada 50 g de amostra foram adicionadas 40 mL de água fervente (escaldadura). A massa foi misturada, amassada, e modelada manualmente. Cinco unidades esféricas de massa por amostra foram elaboradas e assadas em forno elétrico (Venâncio, FERI60, Venâncio Aires, Brasil), em temperatura de 200 °C por 20 min (MAEDA; CEREDA, 2001). O diâmetro (mm) e altura (mm) das massas modeladas foram aferidas antes e depois de assadas, com auxílio de um paquímetro digital (Messen, 0 a 150 mm, Berlim, Alemanha), e o índice de expansão foi calculado através da Equação 6. O volume de cada massa modelada e assada foi determinado pelo método de deslocamento de painço. A massa dos produtos foi obtida em balança analítica, e o volume específico (VE) calculado a partir da Equação 7, conforme descrito por Machado e Pereira (2010).

$$IE = \frac{(\text{diâmetro unidade assada} + \text{altura unidade assada})}{(\text{diâmetro massa moldada} + \text{altura massa moldada})} \quad \text{(Equação 6)}$$

$$VE = \frac{\text{massa (g)}}{\text{volume (mL)}} \quad \text{(Equação 7)}$$

2.5 Formulação e processamento dos biscoitos

Para a elaboração do biscoito de queijo foi utilizada a formulação descrita por Teixeira et al. (2020), com adaptações (Tabela 1). Enquanto para os biscoitos inovadores houve substituição total do polvilho azedo de mandioca azedo por amido de milho fermentado, obtido

com a técnica de *backslopping* com *starter* de polvilho de mandioca azedo seguida de secagem ao sol (AMFB1). A escolha deste ingrediente inovador se deu principalmente pelo fato de que sua fermentação ocorreu em menor tempo quando comparado com os demais, embora para a maioria das propriedades determinadas (capítulo 2) não se verificou diferença estatística significativa entre os amidos modificados. Os biscoitos inovadores foram enriquecidos com farinha de gérmen de milho estabilizada por extrusão termoplástica (FGM), para tanto, foi realizada a substituição parcial do AMFB nas proporções de 5 %, 10 %, 15 % e 20 % (Tabela 2).

Tabela 1. Proporção dos ingredientes da formulação padrão.

Ingrediente	%
Polvilho azedo de mandioca	38,88
Ovos	19,44
Leite	23,33
Óleo	7,78
Queijo meia cura	9,72
Sal	0,86
Total	100

Tabela 2. Formulações dos biscoitos inovadores, com amido de milho fermentado com a técnica de *backslopping*, com *starter* de polvilho de mandioca azedo (AMFB1), seguido de secagem solar, substituído com diferentes proporções de farinha de gérmen de milho (FGM).

Ingrediente	BQ0	BQ5	BQ10	BQ15	BQ20
AMFB (g)	100	95	90	85	80
FGM (g)	-	5	10	15	20
Ovos (g)	50	50	50	50	50
Leite (mL)	60	60	60	60	60
Queijo meia cura (g)	25	25	25	25	25
Óleo (g)	20	20	20	20	20
Sal (g)	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2

BQ0: biscoito sem adição da farinha de gérmen de milho; BQ5: biscoito com adição de 5% de farinha de gérmen de milho e 95% de AMFB; BQ10: biscoito com adição de 10% de farinha de gérmen de milho e 90% de AMFB; BQ15: biscoito com adição de 15% de farinha de gérmen de milho e 85% de AMFB; BQ20: biscoito com adição de 20% de farinha de gérmen de milho e 80% de AMFB.

A massa foi misturada, amassada e modelada manualmente. O AMFB e a FGM foram misturados e escaldados com leite e óleo ferventes, após o resfriamento da massa foi adicionado ovo, sal e o queijo meia cura ralado. Posteriormente, a massa foi modelada em formato de ferradura, distribuídas em assadeira untada com óleo e colocadas para assar em forno elétrico previamente aquecido a 200 °C, durante 20 min. Por fim, os biscoitos foram resfriados, acondicionados em embalagens de PEBD, e armazenados até o momento das análises: volume específico, firmeza, cor, Aa, pH, acidez, umidade, proteína bruta, lipídeos, cinzas, carboidratos e valor energético total, todas realizadas em triplicata, exceto firmeza e parâmetros instrumentais de cor com 10 leituras para cada repetição, composição centesimal em duplicata de cada repetição original.

2.6 Avaliação tecnológica da qualidade dos biscoitos

2.6.1 Volume específico

O volume foi determinado pelo método de deslocamento de painço, conforme descrito por Machado e Pereira (2010), a partir de quinze repetições de cinco unidades de biscoito de por tratamento. A massa foi obtida em balança analítica, e o volume específico (VE) calculado a partir da Equação 7, conforme item 2.4.2.

2.6.2 Firmeza

A firmeza dos biscoitos foi determinada conforme Montenegro et al. (2008), em texturômetro (TA HD Plus Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra), equipado com probe 3-Point Bending Rig (HDP/3PB), nas seguintes condições: velocidade de teste de 2,0 mm s⁻¹; velocidade pós-teste de 10 mm s⁻¹; e distância de deslocamento da lâmina de 35 mm.

2.6.3 Parâmetros instrumentais de cor

A cor foi analisada através de calorímetro (Bankinh Meter Minolta, BC-10, Ramsey, USA). A calibração do equipamento foi efetuada em superfície de porcelana branca, em seguida serão realizadas as leituras dos parâmetros: luminosidade, e coordenadas de cromaticidade a* e b. A partir das leituras dos parâmetros a* e b*, foram calculados a cromaticidade (saturação

da cor) e o ângulo Hue (tonalidade ou matriz), utilizando as Equações 1 e 2, conforme item 2.3.3.

2.6.4 Atividade de água, acidez total titulável e pH

A atividade de água (Aa), o pH (método 991.12-1982) e a acidez total titulável (método 950.15-1950) foram determinados conforme estabelecido pela AOAC (2016) e descritos no item 2.3.1. Para acidez, 10 g de amostra foi diluída em 100 mL de água.

2.7 Composição centesimal e valor energético total

A umidade foi quantificada em estufa a 105 °C até peso constante (método 925.09-1925); as cinzas por pesagem após incineração a 550 °C em forno mufla (método 923.03-1923); o teor de nitrogênio pelo método micro-Kjeldahl, que multiplicado pelo fator 6,25 resultou no teor de proteína bruta (método 920.87-1920); os lipídeos por extração com éter de petróleo P.A., em aparelho Soxhlet (método 920.39-1920); e carboidratos por diferença. Todos conforme as recomendações da AOAC (2016). O valor energético total (VET) foi calculado conforme Equação 8, de acordo com os métodos da AOAC (2016).

$$\text{VET} = (\text{PTN} \times 4) + (\text{CHT} \times 4) + (\text{EET} \times 9) \quad (\text{Equação 8})$$

Na qual: VET = valor energético total (kcal g⁻¹); PTN = proteína bruta (g 100 g⁻¹); CHT = carboidratos totais (g 100 g⁻¹); FAT = fibra alimentar total (g 100 g⁻¹); EET = extrato etéreo total (g 100 g⁻¹).

2.8 Análise estatística

Delineamentos inteiramente casualizados foram utilizados, com 3 tratamentos (AMN, AMFB1 e AMFB2), e 2 repetições originais para os amidos fermentados, e com 5 tratamentos (0 a 20 % de substituição de AMFB1 por FGM) e 4 repetições originais para os biscoitos. Os dados foram avaliados por análise de variância (ANOVA) e teste Tukey ($p \leq 0,05$), com auxílio do software Statistica (Statsoft Inc., Statistica 14.0, Tulsa, EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades físicas e químicas dos amidos

A fermentação do AMFB1 foi encerrada antes dos demais amidos, pois o sobrenadante do mesmo atingiu a acidez de 4,5 %, valor utilizado como critério para interromper o processo, em 12 dias. Já os demais amidos, AMF e AMFB2, não atingiram este patamar e as fermentações foram interrompidas aos 65 dias. Nesse sentido, a técnica de *backslopping* de polvilho azedo, possibilitou obter amido de milho fermentado em menor tempo.

Quando se comparou os amidos fermentados com o nativo foi possível perceber diminuição do pH na faixa de 14,22 % (AMFB1) a 22,61 % (AMF) (Tabela 3). Conforme Penido et al. (2018), tal efeito ocorre como consequência da formação de ácidos orgânicos durante a fermentação, o que leva a acidificação do meio. Entre os fermentados, o AMFB1 apresentou valor de pH significativamente maior que os demais. Entretanto, não houve diferença significativa entre as porcentagens de acidez dos amidos fermentados, apesar de AMFB1 ter apresentado valor numérico inferior. Tais diferenças, podem ser atribuídas ao menor tempo em que o AMFB1 ficou submetido ao processo de fermentação.

Não se tem conhecimento sobre a existência de legislações que descrevem parâmetros de qualidade específicos para os produtos produzidos por este estudo. No entanto, a resolução CNNPA N° 12 de 1978, estabelece alguns padrões para amidos e féculas, onde o produto que mais se assemelha ao amido azedo de milho, em razão do processo de fabricação é o polvilho azedo de mandioca. Esta resolução estabelece acidez máxima de 5 % para a fécula de mandioca fermentada, valor inferior aos obtidos no presente trabalho, apesar do AMFB1 ter apresentado valor próximo.

Ao comparar o AMN com os amidos modificados por fermentação e secagem ao sol, percebeu-se redução na atividade de água de 5,56 % (AMFB1) a 13,83 % (AMF) e na umidade de 0,2 % (AMFB1) e 14,29 % (AMF), e aumento no teor de cinzas na ordem de 45,35 % (AMF) e 76,74 % (AMFB1). AMF e AMFB1 apresentaram ligeira redução no teor de proteína de 9,36 % e 3,45 %, respectivamente, enquanto AMFB2 ligeiro aumento (1,64 %). Os amidos fermentados, não exibiram diferenças significativas entre si em relação a ATT, Aa, umidade e proteína. Houve diferença estatística apenas no teor de cinzas, em que AMFB1 apresentou maior teor, seguido de AMFB2 e AMF com menor teor (Tabela 3).

Tabela 3. Potencial hidrogeniônico, acidez total titulável, atividade de água, umidade, cinzas, proteína, teor de amido e parâmetros instrumentais de cor de amido de milho nativo (AMN), amido de milho fermentado (AMF), amido de milho fermentado com *backslopping* de polvilho de mandioca azedo (AMFB1) e amido de milho fermentado com *backslopping* de AMFB1 (AMFB2).

Propriedade ¹	AMN	AMF	AMFB1	AMFB2
pH	4,29 ± 0,01	3,32 ^B ± 0,05	3,68 ^A ± 0,02	3,33 ^B ± 0,04
ATT ^{2,3}	2,31 ± 0,09	7,17 ^A ± 0,82	5,63 ^A ± 0,13	7,45 ^A ± 0,43
Aa ²	0,629 ± 0,013	0,542 ^A ± 0,046	0,594 ^A ± 0,031	0,560 ^A ± 0,063
Umidade ³	13,268 ± 0,099	11,372 ^A ± 0,662	13,241 ^A ± 0,660	11,856 ^A ± 0,610
Cinzas ³	0,086 ± 0,001	0,125 ^C ± 0,001	0,152 ^A ± 0,000	0,135 ^B ± 0,003
Proteína ³	0,609 ± 0,020	0,552 ^A ± 0,030	0,588 ^A ± 0,004	0,619 ^A ± 0,010
AT ^{2,3}	96,835 ± 0,658	98,720 ^A ± 0,424	96,515 ^A ± 0,177	97,630 ^A ± 0,891
ANR ^{2,3}	90,045 ± 0,191	94,070 ^A ± 1,188	93,080 ^A ± 0,240	95,110 ^A ± 0,580
AR ^{2,3}	6,790 ± 0,467	4,650 ^A ± 0,764	3,435 ^{AB} ± 0,064	2,520 ^B ± 0,311
Luminosidade	99,09 ± 0,01	98,84 ^A ± 0,18	98,71 ^A ± 0,03	98,98 ^A ± 0,03
Croma a*	-0,47 ± 0,06	-0,17 ^A ± 0,02	-0,12 ^A ± 0,01	-0,15 ^A ± 0,01
Croma b*	7,05 ± 0,07	4,67 ^A ± 0,11	4,40 ^A ± 0,04	4,76 ^A ± 0,12
Cromaticidade	7,07 ± 0,07	4,67 ^A ± 0,11	4,40 ^A ± 0,04	4,76 ^A ± 0,12
Ângulo Hue ^{o4}	93,82 ± 0,50	92,05 ^A ± 0,33	91,58 ^A ± 0,18	91,81 ^A ± 0,13

¹Dados apresentados em média ± desvio padrão. Valores seguidos de diferentes letras em uma linha diferem significativamente ($p \leq 0,05$). ²ATT, Acidez total titulável; Aa, Atividade de água; AT, Amido Total; ANR, Amido Não Resistente; AR, Amido Resistente; ³Valores expressos em percentual; ⁴grau (°).

A fermentação espontânea aumentou o teor de cinzas de amido de batata doce (YE et al., 2019), assim como aconteceu no presente estudo (Tabela 3). O teor de cinzas também é considerado parâmetro de qualidade de produtos amiláceos. O conteúdo de cinzas presente nesses alimentos pode refletir as condições higiênico-sanitárias em que o mesmo foi produzido, principalmente para amidos secos ao sol, tendo em vista o grande risco de contaminação física. A resolução CNNPA N° 12 de 1978 preconiza valores máximos de umidade e resíduo mineral para polvilho azedo de mandioca, que precisam ser de 14 % e 0,5 % respectivamente (BRASIL, 1978). De acordo com os resultados apresentados no presente trabalho, o amido de milho fermentado e seco ao sol apresentou valores de umidade e teor de cinzas inferiores ao exigido pela legislação, para um produto similar (Tabela 3).

O teor de umidade juntamente com a Aa, são importantes parâmetros a serem controlados nos alimentos, a fim de se evitar o crescimento, multiplicação e sobrevivência de microrganismos, levando-os à deterioração. Para que os microrganismos sobrevivam, é necessário existir água livre, por isso o controle da Aa, tem o intuito de preservar produtos alimentícios. Grande parte das espécies de fungos deteriorantes crescem na faixa de 0,6 a 0,75 de Aa, entretanto são raros os relatos de deterioração em Aa menores que 0,65 (ALEGBELEYE et al., 2022). Nesse sentido, no que diz respeito ao crescimento de microrganismos facilitado pela Aa, os amidos fermentados e secos ao sol obtidos nesse estudo podem ser considerados seguros, pois possuem Aa menor que 0,6 (Tabela 3).

Na análise do amido foi possível determinar os teores de amido total (AT) e de suas frações, amido não resistente (ANR) e amido resistente (AR). Entre os amidos de milho modificados, não houveram diferenças significativas para amido total e amido não resistente, somente a fração resistente teve uma diminuição estatisticamente considerável nos amidos fermentados com iniciadores (Tabela 3). Quando comparados com o amido nativo, observa-se que houve um ligeiro aumento no teor de AT para AMF e AMFB2, na ordem de 1,95 % e 0,82 % respectivamente, enquanto em AMFB1 uma ligeira redução na ordem de 0,33 %. No teor de ANR foram notados valores maiores para os três amidos fermentados, AMF, AMFB1 e AMFB2, em 4,47 %, 3,37 % e 5,62 %, respectivamente, consequentemente, os teores de amido resistente foram reduzidos em 31,52 %, 49,41 % e 62,89 %.

A redução do AR pode ter sido consequência da produção de enzimas pelos microrganismos responsáveis pela fermentação. Sabe-se que esta fração não pode ser digerida pela α – amilase, o que sugere que a fermentação não é capaz de alterar o conteúdo de amido resistente em amidos fermentados. Entretanto, os microrganismos podem ter produzido outras enzimas, como β – amilase e β – glicosidase, o que diminuiu a fração resistente e aumentou a não resistente (TU et al., 2021).

Com relação aos parâmetros instrumentais de cor dos amidos modificados quando comparados ao AMN, notou-se que os valores de luminosidade (L^*), b^* , Croma (C^*) e ângulo Hue (H°) apresentaram diminuição, enquanto a coordenada de cromaticidade a^* elevação. Entretanto, entre si, os amidos fermentados não foram estatisticamente diferentes quanto aos parâmetros de cor (Tabela 3). A cor é um dos parâmetros de qualidade de amidos, sendo que os tons mais claros geralmente são relacionados à maior pureza do produto (DÍAZ et al., 2018).

A luminosidade é um parâmetro que reflete o quanto o produto é claro ou escuro, assim quanto mais altos os valores, mais claro e maior o grau de pureza. No presente estudo, todos os amidos fermentados apresentaram L^* maior que 98,5. Em relação ao AMN, os apenas amidos

fermentados foram semelhantes, com valores de 0,11 % (AMFB2) a 0,38 % (AMFB1) de redução, o que não foi perceptível ao olho nu. Oyeyinka et al. (2020) também não observaram redução do parâmetro de luminosidade de amidos de raízes de mandioca fermentadas.

A coordenada de cromaticidade a^* dos amidos, tanto o nativo como os modificados, manteve seus valores ligeiramente negativos e próximos da neutralidade (zero) (Tabela 3). Portanto, apresentaram um leve esverdeamento não perceptível ao olho nu, apenas identificado pelo colorímetro. Esse resultado demonstra que a tonalidade da cor predominante dos amidos foi quase neutra em relação à coordenada a^* após a aplicação das diferentes técnicas de fermentação utilizadas na modificação do AMN. Pois, o valor de a^* aproximou-se mais do zero, o que reflete uma ausência dos tons verde ou vermelho (BARRAGÁN-MARTÍNEZ, 2022).

Enquanto a coordenada de cromaticidade b^* foi caracterizada por valores positivos, evidenciando tons amarelados (Tabela 3), provavelmente devido à presença de carotenoides residuais no amido de milho (impurezas), como a zeoxantina (YUKSEI; YAVUZ; BALTACI, 2022). Após a fermentação e secagem ao sol, observou-se uma diminuição nos valores dessa coordenada entre 32,48 % (AMFB2) e 37,59 % (AMFB1), corroborando com os resultados reportados por Díaz et al. (2018), que estudaram a fermentação de fécula de mandioca. No presente estudo, possivelmente ocorreu uma diminuição do tom amarelado do amido nativo em função da degradação de parte dos pigmentos, ocasionado pela ação dos ácidos orgânicos e enzimas produzidos pelos microrganismos responsáveis pela fermentação natural do AMN.

A C^* determina a pureza da cor e o H° distingue uma cor da outra, expressando o comprimento de onda da luz visível (BARRAGÁN-MARTÍNEZ, 2022). Após a fermentação do AMN, esses parâmetros sofreram reduções em seus valores, na ordem de 32,67 % (AMFB2) a 37,77 % (AMFB1) e de 1,89 % (AMF) a 2,39 %, respectivamente (Tabela 3), o que refletiu uma diminuição na saturação ou empaldecimento da cor, e uma tendência da cor se tornar mais próximo do amarelo puro (90° de ângulo Hue), respectivamente; provavelmente pela destruição parcial dos carotenoides (como o β -caroteno, ainda presente no AMN) durante a fermentação.

3.2 Propriedades tecnológicas dos amidos

Ao comparar o AMN com os amidos fermentados foi possível notar um aumento no IAA 12,95 % (AMF) a 20,13 % (AMFB2) e no ISA de 70,4 % (AMFB1) a 452,8 % (AMF), além

de uma ligeira diminuição no IAO 0,15 % (AMF) a 4,72 % (AMFB1), VE e IE de 32,67 % (AMFB1) a 35,55 % (AMF) e 4,60 % (AMF) a 10,12 % (AMF), respectivamente. Não houve diferença significativa para as propriedades IAA, IAO e VE, entre os amidos modificados por fermentação natural seguida de secagem ao sol. (Tabela 4).

Tabela 4. Propriedades tecnológicas de amido de milho nativo (AMN), amido de milho fermentado sem *backslopping* (AMF), amido de milho fermentado com *backslopping* de polvilho de mandioca fermentado (AMFB1) e amido de milho fermentado com *backslopping* de AMFB1 (AMFB2).

Propriedade ¹	AMN	AMF	AMFB1	AMFB2
IAA ²	1,545 ± 0,016	1,745 ^A ± 0,053	1,776 ^A ± 0,068	1,856 ^A ± 0,036
IAO ²	1,970 ± 0,001	1,967 ^A ± 0,030	1,877 ^A ± 0,001	1,963 ^A ± 0,044
ISA ²	0,125 ± 0,006	0,691 ^A ± 0,007	0,213 ^C ± 0,007	0,312 ^B ± 0,021
VE ²	1,457 ± 0,008	0,939 ^A ± 0,045	0,981 ^A ± 0,036	0,965 ^A ± 0,031
IE ²	1,087 ± 0,029	1,037 ^A ± 0,015	1,015 ^A ± 0,002	0,977 ^B ± 0,005

¹Dados apresentados em média ± desvio padrão. Valores seguidos de diferentes letras em uma linha diferem significativamente ($p \leq 0,05$). ² IAA, Índice de absorção de água (g/g); IAO, Índice de absorção de óleo (g/g); ISA, Índice de solubilidade em água (%); VE, Volume específico (g/mL); IE, Índice de expansão (adimensional).

Para ISA, a diferença foi significativa entre os amidos obtidos com as três técnicas de fermentação, sendo que AMFB1 apresentou menor valor, seguido de AMFB2 e AMF. No que diz respeito ao IE, apenas AMFB2 foi diferente estatisticamente dos demais, apresentado valor mais baixo (Tabela 4). O aumento da absorção de água nos amidos fermentados pode estar relacionado ao fato da fermentação aumentar o número de poros na superfície dos grânulos de amido (Figura 3 do Capítulo 2). Além disso, pode ter ocorrido a quebra de algumas ligações, o que provocou a descompactação do grânulo e facilitou a penetração da água. Ao serem absorvidas, as moléculas de água interagem com as hidroxilas livres da amilose e amilopectina, formando ligações de hidrogênio, consequentemente ocorre o aumento da absorção de água (MIRZABABAE et al., 2023). Amidos modificados possuem maior facilidade em se ligar com a água, o que eleva a viscosidade, isso é explicado pelo fato de as moléculas de água se ligarem aos grupos hidrofílicos, como as hidroxilas (ALMEIDA et al., 2023).

A exposição aos raios solares tem potencial para afetar a solubilidade do amido em meio aquoso. Dar et al. (2018) observaram aumento no ISA de amido de trigo sarraceno e aveia irradiados com radiação gama, sugerindo que, com a radiação ocorre uma despolimerização e

diminuição das ligações de hidrogênio, aumentando assim a polaridade, além da formação de açúcares simples, que possuem mais afinidade com a água que o amido. O mesmo poderia ter ocorrido com amidos secos ao sol, e ser a explicação dos resultados de ISA obtidos no presente estudo. Os resultados obtidos para IAA e ISA, são confirmados pela análise de FT-IR, que evidenciou uma provável absorção de moléculas de água na região amorfa do grânulo (Item 3.5 do Capítulo 2).

A absorção de óleo pelo AMN e amidos modificados por fermentação seguida de secagem solar foi ligeiramente maior que a absorção de água. Dentre outros fatores, essas propriedades têm forte relação com a proporção de amilose e amilopectina no grânulo, como também, com o grau de ramificação da amilopectina (PÉREZ et al., 2021). A avaliação das propriedades de absorção de água e óleo, bem como a solubilidade em água é importante para se conhecer o potencial que o produto tem de ser aplicado na produção de alimentos diversos, uma vez que, bons índices de absorção refletem na qualidade do amido, como por exemplo a retenção de sabor satisfatória (ALMEIDA et al., 2023).

Os valores das propriedades de expansão (VE e IE) do amido de milho normal não foram maiores após a fermentação e a secagem ao sol, como aconteceu com a fécula de mandioca e amido de milho ceroso, que melhoraram significativamente essas propriedades (QI et al., 2020; TEIXEIRA et al., 2020). Até mesmo a técnica de fermentação que utilizou a fécula azeda de mandioca como starter, não apresentou comportamento parecido. Qi et al (2020) compararam as propriedades de expansão de fécula de batata fermentada e seca ao sol e reportaram resultados semelhantes ao do presente estudo, visto que, o índice de expansão da fécula de batata não foi alterado significativamente, apresentando até mesmo um valor menor ao da fécula nativa. Tais autores explicaram que a origem botânica, assim como as diferenças estruturais, como a proporção amilose/amilopectina, podem afetar diretamente a extensão da modificação promovida por este tipo de modificação de amido. Essas propriedades revelam o potencial funcional tecnológico do amido, importantes no momento de se escolher o tipo de alimento em que o mesmo será aplicado.

3.3 Avaliação tecnológica da qualidade dos biscoitos experimentais

Ao analisar as características dos biscoitos de queijo tipo chipa com diferentes percentuais de substituição do amido modificado (AMFB1) pela farinha de gérmen de milho (FGM) foi possível notar que somente a coordenada de cromaticidade a^* , a Aa e a ATT não apresentaram

diferenças estatisticamente significantes (Tabela 5). Em termos de pH, os biscoitos com maiores percentuais de adição de FGM, 15 % e 20 %, apresentaram valores semelhantes, significativamente menores quando comparados com as outras formulações, que também não apresentaram diferença estatística entre si. Os parâmetros de Aa, ATT e pH são de extrema importância para a qualidade e durabilidade de produtos alimentícios, por estarem intimamente relacionados a suscetibilidade do alimento ao crescimento de microrganismos. A tendência dos biscoitos à serem mais ácidos, pode ser explicada pela elevada ATT do AMFB1 (principal ingrediente) (Tabela 3).

Tabela 5. Volume específico, firmeza, parâmetros instrumentais de cor, atividade de água, acidez total titulável e pH de biscoitos de queijo tipo chipa produzidos com amido de milho fermentado e enriquecidos com farinha de gérmen de milho em 0%, 5%, 10%, 15% e 20%.

Propriedade ¹	BQ0	BQ5	BQ10	BQ15	BQ20
VE ²	2,18 ^A ± 0,05	2,09 ^{AB} ± 0,05	2,12 ^{AB} ± 0,10	2,00 ^B ± 0,05	2,05 ^{AB} ± 0,08
Firmeza ⁴	24244,09 ^{AB} ± 1252,40	16282,77 ^C ± 1638,38	20704,24 ^B ± 1943,52	14697,87 ^C ± 2582,38	24969,17 ^A ± 1813,70
Luminosidade	73,45 ^B ± 0,98	76,00 ^A ± 0,77	73,99 ^B ± 0,87	74,01 ^B ± 0,77	70,40 ^C ± 0,22
Croma a*	5,57 ^A ± 0,58	4,49 ^A ± 0,25	4,76 ^A ± 0,57	4,45 ^A ± 1,01	5,45 ^A ± 1,15
Croma b*	21,41 ^B ± 0,88	21,74 ^B ± 0,86	21,39 ^B ± 0,94	23,85 ^A ± 0,84	24,47 ^A ± 0,90
Cromaticidade	22,26 ^{AB} ± 0,96	22,38 ^{AB} ± 0,99	21,92 ^B ± 0,89	24,14 ^A ± 0,93	23,95 ^A ± 0,70
Ângulo Hue ^{o3}	75,84 ^B ± 0,83	78,40 ^{AB} ± 0,84	77,39 ^B ± 0,73	79,55 ^A ± 2,31	77,52 ^{AB} ± 1,96
Aa ²	0,890 ^A ± 0,025	0,896 ^A ± 0,016	0,883 ^A ± 0,009	0,887 ^A ± 0,017	0,896 ^A ± 0,009
ATT ²	3,61 ^A ± 0,52	3,68 ^A ± 0,25	3,89 ^A ± 0,49	3,60 ^A ± 0,27	3,20 ^A ± 0,10
pH	5,78 ^A ± 0,09	5,75 ^A ± 0,04	5,84 ^A ± 0,15	5,42 ^B ± 0,08	5,34 ^B ± 0,05

¹Dados apresentados em média ± desvio padrão. Valores seguidos de diferentes letras em uma linha diferem significativamente ($p \leq 0,05$). ²VE, Volume Específico (g/mL); Aa, Atividade de água; ATT, Acidez Total Titulável (%); ³grau (°); ⁴força g.

Para o VE não houve diferença entre os biscoitos enriquecidos, porém quando comparado com a formulação sem adição de FMG (BQ0), apenas o biscoito com 15 % de substituição foi diferente, com menor VE (Tabela 5). Entretanto, os valores de VE dos biscoitos experimentais foram maiores que os obtidos pelo AMFB1, com o dobro do volume sem a utilização de fermentos (Tabelas 4 e 5). Tal resultado, provavelmente é devido à interação do amido

modificado por fermentação e secagem ao sol com os outros ingredientes da formulação dos biscoitos experimentais.

No parâmetro firmeza, quando comparados somente os biscoitos com substituição de FMG, apenas o BQ5 e BQ15 foram semelhantes entre si, com menores firmezas, seguidos por BQ10 e BQ20. Esses últimos, apesar de serem diferentes entre si foram semelhantes ao BQ0. Ou seja, com o aumento do percentual de FMG houve uma tendência à diminuição da firmeza dos biscoitos. A firmeza é caracterizada pelos complexos formados entre proteínas, lipídios e açúcares no interior dos grânulos de amido não gelatinizados. Firmezas elevadas resultam em biscoitos pouco crocantes, além de impactar o sabor dos mesmos. Já firmezas reduzidas revelam produto frágil, que se quebra facilmente (JIA et al., 2020). Sendo assim, valores de firmeza intermediários são mais desejáveis, no caso das formulações desenvolvidas no presente estudo, BQ10 apresentou um valor mediano.

Para os parâmetros instrumentais de cor, a coordenada L^* do biscoito com maior substituição de AMFB1 por FMG, 20%, em sua formulação apresentou menor valor, enquanto que o biscoito com menor adição de FMG apresentou valor maior para essa coordenada, ambos com diferenças estatisticamente significativas (Tabela 5). As demais formulações não diferiram entre si, e apresentaram valores intermediários de luminosidade. Já para a coordenada b^* o BQ15 e o BQ20 apresentaram valores estatisticamente maiores que os demais e não diferentes entre si, assim como as outras formulações não foram diferentes. Na coordenada de cromaticidade C^* , o BQ10 apresentou menor valor, que diferiu estatisticamente de BQ15 e BQ20 com maiores valores, e estes foram semelhantes ao BQ0 e BQ5 de valores intermediários. No ângulo Hue, quando se analisa apenas os biscoitos com algum nível de enriquecimento com FMG é possível notar que BQ15 possui maior valor e BQ10 menor valor, diferindo estatisticamente entre si, e estes não foram diferentes de BQ5 e BQ20. Quando comparados com BQ0, apenas BQ15 foi diferente, uma vez que, o biscoito sem FMG apresentou o menor valor de H° . A reação de Maillard é uma das principais responsáveis pela formação da cor em biscoitos, ocasionada pela interação entre açúcares redutores e aminoácidos, ou seja, a cor de tais produtos é influenciada diretamente pelo teor de açúcares e proteínas das farinhas utilizadas (WANG et al; 2023). Com o aumento da quantidade de FMG nas formulações, foi observado uma maior tendência à coloração amarelada, com a elevação da coordenada de cromaticidade b^* , provavelmente também em função da maior quantidade de pigmentos amarelos presentes na FGM.

3.4 Composição centesimal dos biscoitos

Diferenças significativas na composição centesimal dos biscoitos experimentais foram determinadas conforme houve aumento da substituição do AMFB1 por FGM (Tabela 6). Os teores de umidade foram semelhantes em todos os biscoitos, uma vez que, as formulações enriquecidas não diferiram da formulação padrão, apenas BQ10 e BQ20 foram diferentes entre si, sendo o primeiro menos úmido e o segundo mais úmido. Os altos valores de umidade (Tabela 6) e Aa (Tabela 5) das formulações, mesmo após passarem por um processo de preparo envolvendo calor seco, podem estar correlacionados aos aumentos de IAA e ISA em água observados nos amidos fermentados e secos ao sol (Tabela 4).

Tabela 6. Teor de umidade, cinzas, proteínas, lipídios, carboidratos e valor energético total de biscoitos de queijo tipo chipa produzidos com amido de milho fermentado e enriquecidos com farinha de gérmen de milho em 0%, 5%, 10%, 15% e 20%.

Componente ¹	BQ0	BQ5	BQ10	BQ15	BQ20
Umidade ²	21,07 ^{AB} ± 0,67	20,64 ^{AB} ± 0,65	20,61 ^B ± 0,71	21,47 ^{AB} ± 0,58	22,19 ^A ± 0,95
Cinzas ²	2,57 ^C ± 0,09	2,62 ^{BC} ± 0,14	2,79 ^{AB} ± 0,05	2,72 ^{ABC} ± 0,08	2,82 ^A ± 0,02
Proteínas ²	9,67 ^C ± 0,72	10,42 ^{BC} ± 0,56	10,83 ^{ABC} ± 0,18	11,52 ^{AB} ± 0,67	12,04 ^A ± 0,82
Lipídios ²	15,38 ^C ± 0,38	16,23 ^{BC} ± 0,69	16,62 ^{AB} ± 0,36	17,20 ^{AB} ± 0,86	17,67 ^A ± 0,18
Carboidratos Totais ²	51,31 ^A ± 0,97	50,09 ^A ± 1,48	49,15 ^{AB} ± 1,02	47,09 ^{BC} ± 1,01	45,28 ^C ± 1,43
VET ³	382,35 ^A ± 4,05	388,11 ^A ± 3,31	389,54 ^A ± 2,77	389,21 ^A ± 6,27	388,35 ^A ± 4,67

¹Dados apresentados em média ± desvio padrão. Valores seguidos de diferentes letras em uma linha diferem significativamente ($p \leq 0,05$). ²Valores expressos em g 100g⁻¹. ³VET, Valor energético total (kcal g⁻¹). Valores em base seca.

Os teores de cinzas, proteínas e lipídios aumentaram significativamente com o aumento do percentual de substituição do amido modificado (AMFB1) pela farinha de gérmen de milho (FGM), como consequência houve diminuição dos carboidratos totais (Tabela 6). Apesar das diferenças nas proporções dos componentes, o valor energético total não foi impactado, e não foi diferente estatisticamente entre os biscoitos. O amido utilizado como ingrediente principal dos biscoitos possui baixo teor de cinzas, proteínas e alto teor de amido total (Tabela 3), o que

explica os teores destes componentes na formulação sem enriquecimento. Estes resultados eram esperados, tendo em vista a composição da FGM, já elucidada pela literatura.

O biscoito tipo chipa é um produto regional, por isso são raros os estudos acerca das características deste produto. Porém, sabe-se que tal biscoito tem sua formulação adaptada dos biscoitos de queijo e este é o produto que mais se assemelha. Teixeira et al (2021) produziu pães de queijo com amido de milho ceroso azedo e encontraram valores de composição centesimal semelhantes aos obtidos no presente estudo, para BQO, com umidade, proteínas, lipídios, cinzas, carboidratos e valor energético total de 31,27 g 100 g⁻¹, 9,07 g 100 g⁻¹, 12,8 g 100 g⁻¹, 2,86 g 100 g⁻¹, 44 g 100 g⁻¹ e 326,4 kcal, respectivamente.

A Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO), também não lista biscoitos com formulações semelhantes ao aqui produzidos, sendo o pão de queijo o produto que mais se aproxima. Este apresenta umidade, proteínas, lipídios, carboidratos, cinzas e valor energético total de 33,7 g 100 g⁻¹, 5,1 g 100 g⁻¹, 24,6 g 100 g⁻¹, 34,2 g 100 g⁻¹, 2,3 g 100 g⁻¹ e 363 kcal, respectivamente (UNICAMP, 2011). Esta composição, também se assemelha com a composição da formulação sem enriquecimento e estes achados comprovam que a adição de FMG, pode melhorar o perfil nutricional de produtos amiláceos.

4 CONCLUSÃO

A fermentação natural com a secagem ao sol se mostrou uma técnica eficaz para se obter amido de milho azedo, pois promoveu a acidificação do produto. A fermentação juntamente com a secagem ao sol provocou mudanças no teor de cinzas e aumentou o índice de absorção e solubilidade em água dos amidos, sendo que os amidos que passaram por maior tempo de fermentação exibiram maior solubilidade. Os amidos fermentados e secos ao sol não desenvolveram propriedade de expansão, entretanto foi possível obter bons resultados com a aplicação do amido fermentado com a técnica *backslopping* em biscoitos de queijo tipo chipa. O enriquecimento dos biscoitos com farinha de gérmen de milho, se mostrou uma opção eficaz para agregar valor nutritivo a biscoitos à base de amido.

REFERÊNCIAS

- ALEGBELEYE, O.; ODEYEMI, O. A.; STRATEVA, M.; STRATEV, D. Microbial spoilage of vegetables, fruits and cereals. **Applied Food Research**, Amsterdam, v. 2, n. 1, p. 100122, 2022.
- ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; FEITOZA, J. V. F.; PEREIRA, T. S.; EDUARDO, R. S.; MOTA, M. M. A.; SILVA, R. A.; SILVA, V. M. A.; RIBEIRO, V. H. A.; MUNIZ, C. E. S.; RIBEIRO, C. A. C.; COSTA, G. A.; FIGUEIREDO, M. J. Evaluation of the technological properties of rice starch modified by high hydrostatic pressure (HHP). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, Amsterdam, v. 83, p. 103241, 2023.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PEPLINSKI, A. J. Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking, Extrusion Cooking and Steaming. **Starch-Starke**, Weinheim, v. 22, n. 4, p. 130–135, 1970.
- AOAC. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods**, 11th ed., St. Paul: AOAC, 2016.
- BARRAGÁN-MARTÍNEZ, L. P.; ROMÁN-GUERRERO, A.; VERNON-CARTER, E. J.; ALVAREZ-RAMIREZ, J. Impact of fat replacement by a hybrid gel (canola oil/candelilla wax oleogel and gelatinized corn starch hydrogel) on dough viscoelasticity, color, texture, structure, and starch digestibility of sugar-snap cookies. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, Amsterdam, v. 29, p. 100563, 2022.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC ANVISA/MS nº. 331, de 23 de dezembro de 2019. Aprova o regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da União**. Brasília, 10 de janeiro de 2019.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC ANVISA/MS nº. 263, de 02 de janeiro de 2005. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**. Brasília, 22 de setembro de 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução CNNPA n. 12, de 1978: Normas Técnicas Especiais. **Diário Oficial da União**. Brasília, 23 de julho de 1978.
- CERVINI, M.; FRUSTACE, A.; GARRIDO, G. D.; ROCCHETTI, G.; GIUBERTI, G. Nutritional, physical and sensory characteristics of gluten-free biscuits incorporated with a novel resistant starch ingredient. **Heliyon**, Cambridge, v. 7, n. 3, p. e06562, 2021.
- DAR, M. Z.; DEEPIKA, K.; JAN, K.; SWER, T. L.; KUMAR, P.; VERMA, R.; VERMA, K.; PRAKASH, K. S.; JAN, S.; BASHIR, K. Modification of structure and physicochemical properties of buckwheat and oat starch by γ -irradiation. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 108, p. 1348–1356, 2018.
- DÍAZ, A.; DINI, C.; VIÑA, S. Z.; GARCÍA, M. A. Technological properties of sour cassava starches: Effect of fermentation and drying processes. **LWT – Food Science and Tcnology**, Amsterdam, v. 93, p. 116–123, 2018.
- IDF. Internacional Diabetes Federation. **IDF Diabetes Atlas**. 10th ed., IDF, 2021.

JIA, M.; YU, Q.; CHEN, J.; HE, Z.; CHEN, J.; XIE, J.; NIE, S.; XIE, M. Physical quality and in vitro starch digestibility of biscuits as affected by addition of soluble dietary fiber from defatted rice bran. **Food Hydrocolloids**, New York, v. 99, p. 105349, 2020.

KIM, D. H.; JUNG, D.; SONG, K. Y.; SEO, K. H. Comparison of traditional and backslopping methods for kefir fermentation based on physicochemical and microbiological characteristics. **LWT - Food Science and Tcnology**, Amsterdam, v. 97, p. 503-507, 2018.

MACHADO, A. V.; PEREIRA, J. Effect of scalding on technological and rheological properties of cheese bread dough and cheese bread. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 421–427, 2010.

MAEDA, K. C.; CEREDA, P. Avaliação de duas metodologias de expansão ao forno do polvilho azedo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 21, n. 2, p. 139-143, 2001.

MELESE, A. D.; KEYATA, E. O. Effects of blending ratios and baking temperature on physicochemical properties and sensory acceptability of biscuits prepared from pumpkin, common bean, and wheat composite flour. **Heliyon**, Cambridge, v. 8, n. 10, p. e10848, 2022.

MENDES, C. S.; ASQUIERI, E. R.; BATISTA, R. D.; MORAIS, C. C. DE; RAMIREZ ASCHERI, D. P.; MACÊDO, I. Y. L. DE; SOUZA GIL, E. DE. Microencapsulation of jabuticaba extracts (*Myrciaria cauliflora*): Evaluation of their bioactive and thermal properties in cassava starch biscuits. **LWT – Food Science and Tecnologia**, Amsterdam, v. 137, p. 110460, 2021.

MIRZABABAEI, S. M.; OZMEN, D.; HESARINEJAD, M. A.; TOKER, O. S.; YEGANEHZAD, S. A study on the structural, physicochemical, rheological and thermal properties of high hydrostatic pressurized pearl millet starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 223, p. 511–523, 2022.

MONTENEGRO, F. M.; GOMES-RUFFI, C. R.; VICENTE, C. A.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; STEEL, C. J. Biscoitos de polvilho azedo enriquecidos com fibras solúveis e insolúveis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. Supl., p. 184-191, 2008.

OLAWOYE, B.; FAGBOHUN, O. F.; POPOOLA, O. O.; GBADAMOSI, S. O.; AKANBI, C. T. Understanding how different modification processes affect the physiochemical, functional, thermal, morphological structures and digestibility of cardaba banana starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 201, p. 158–172, 2022.

OYEYINKA, S. A.; ADELOYE, A. A.; OLAOMO, O. O.; KAYITESI, E. Effect of fermentation time on physicochemical properties of starch extracted from cassava root. **Food Bioscience**, Amsterdam, v. 33, p. 100485, 2020.

OZEL, B.; SIMSEK, O.; SETTANNI, L.; ERTEN, H. The influence of backslopping on lactic acid bacteria diversity in tarhana fermentation. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 335, 108886, 2020.

PÉREZ, J.; ARTEAGA, M.; ANDRADE, R.; DURANGO, A.; SALCEDO, J. Effect of yam (*Dioscorea spp.*) starch on the physicochemical, rheological, and sensory properties of yogurt. **Heliyon**, Cambridge v. 7, n. 1, e05987, 2021.

QI, Q.; HONG, Y.; ZHANG, Y.; GU, Z.; CHENG, L.; LI, Z.; LI, C. Effect of cassava starch structure on scalding of dough and baking expansion ability. **Food Chemistry**, Barking, v. 352, p. 129350, 2021.

SIYUAN, S.; TONG, L.; LIU, R. H. Corn phytochemicals and their health benefits. **Food Science and Human Wellness**, Beijing, v. 7, n. 3, p. 185–195, 2018.

TEIXEIRA, C. S.; NEVES, G. A. DA R.; CALIARI, M.; SOARES JÚNIOR, M. S. Waxy maize starch modified by sun-drying after spontaneous or backslopping fermentation. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 135, p. 553–559, 2019.

TEIXEIRA, C. S.; ROCHA NEVES, G. A. DA; OLIVEIRA, T. F. DE; CALIARI, M.; JÚNIOR, M. S. S. Brazilian cheese bread rolls from fermented and native waxy maize starch. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras, v. 44, p. 1–7, 2020.

TU, Y.; HUANG, S.; CHI, C.; LU, P.; CHEN, L.; LI, L.; LI, X. Digestibility and structure changes of rice starch following co-fermentation of yeast and *Lactobacillus* strains. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 184, p. 530–537, 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP. Tabela brasileira de composição de alimentos - TACO. 4. ed. revisada e ampliada. Campinas: UNICAMP/NEPA, 2011. 161p.

WANG, A.; ZHU, Y.; ZOU, L.; ZHAO, G.; WU, J. Development of protein-enriched biscuit based on oat-milk byproduct fortified with chickpea flour. **LWT – Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 177, p. 114594, 2023.

WANG, J.; TANG, J.; RUAN, S.; LV, R.; ZHOU, J.; TIAN, J.; CHENG, H.; XU, E.; LIU, D. A comprehensive review of cereal germ and its lipids: Chemical composition, multi-objective process and functional application. **Food Chemistry**, Barking, v. 362, p. 130066, 15 nov. 2021.

YE, F.; XIAO, L.; LIANG, Y.; ZHOU, Y.; ZHAO, G. Spontaneous fermentation tunes the physicochemical properties of sweet potato starch by modifying the structure of starch molecules. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 213, p. 79–88, 2019.

YUKSEI, F.; YAVUZ, B.; BALTAÇI, C. Some physicochemical, color, bioactive and sensory properties of a pestil enriched with wheat, corn and potato flours: An optimization study based on simplex lattice mixture design. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, Amsterdam, v. 28, 100513, 2022.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fermentação natural, com a técnica *backslopping*, juntamente com a secagem ao sol se mostraram técnicas eficazes para se obter amido de milho modificado em menor tempo. Entretanto, maiores estudos com aplicação da técnica são necessários para confirmar sua eficiência e viabilidade em escala industrial. Principalmente, devido aos vieses apresentados no presente estudo, relativos à variação de temperatura e coleta de amostra para determinação de dados da cinética de fermentação. Sugere-se que coletar alíquotas da pasta de amido decantado ao invés do líquido sobrenadante resulte em dados cinéticos mais exatos.

As análises de caracterização dos amidos, realizadas por este estudo, evidenciaram alterações significativas nas propriedades, morfologia e estrutura, entretanto outras análises são necessárias para a comprovação destas mudanças, como determinação do tamanho das cadeias de amilopectina.

O amido modificado, produzido por este estudo, se mostrou um bom ingrediente para a obtenção de biscoitos à base de amido, bem como, o enriquecimento com farinha de gérmen de milho é uma opção no desenvolvimento de produtos amiláceos com melhores características nutricionais. Porém, mais análises são necessárias para a comprovação da aceitação do produto e dos aspectos nutricionais benéficos do mesmo.