

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

GREICY HELLEN FERREIRA CABRAL

**ESTABILIDADE OXIDATIVA DE GÉRMEN DE MILHO INTEGRAL
AUTOCLAVADO SOB VAPOR DIRETO E ADICIONADO DE
ANTIOXIDANTE SINTÉTICO OU NATURAL E APLICAÇÃO EM
BISCOITOS**

Goiânia

2024



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

Greicy Hellen Ferreira Cabral

3. Título do trabalho

"ESTABILIDADE OXIDATIVA DE GÉRMEN DE MILHO INTEGRAL AUTOCLAVADO SOB VAPOR DIRETO E ADICIONADO DE ANTIOXIDANTE SINTÉTICO OU NATURAL E APLICAÇÃO EM BISCOITOS"

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(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

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

Casos de embargo:

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

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



Documento assinado eletronicamente por **Manoel Soares Soares Junior, Professor do Magistério Superior**, em 26/06/2024, às 19:51, 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 **Greicy Hellen Ferreira Cabral, Discente**, em 03/07/2024, às 03:41, 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 **4624842** e o código CRC **6C0A0118**.

Referência: Processo nº 23070.030030/2024-06

SEI nº 4624842

GREICY HELLEN FERREIRA CABRAL

ESTABILIDADE OXIDATIVA DE GÉRMEN DE MILHO INTEGRAL
AUTOCLAVADO SOB VAPOR DIRETO E ADICIONADO DE
ANTIOXIDANTE SINTÉTICO OU NATURAL E APLICAÇÃO EM
BISCOITOS

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 do título de mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.
Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior

Coorientador: Prof. Dr. Márcio Caliri

Goiânia

2024

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

Cabral, Greicy Hellen Ferreira

Estabilidade oxidativa de gérmem de milho integral autoclavado
sob vapor direto e adicionado de antioxidante sintético ou natural e
aplicação em biscoitos [manuscrito] / Greicy Hellen Ferreira Cabral. -
2024.

113 f.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior; co-orientador
Dr. Márcio Caliarí.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola
de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos, Goiânia, 2024.

Bibliografia. Apêndice.

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

1. Zea mays. 2. Coprodutos. 3. Compostos bioativos. 4.
Armazenamento. 5. Fibra alimentar. I. Júnior, Manoel Soares Soares
, orient. II. Título.

CDU 664



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE AGRONOMIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 206 da sessão de Defesa de Dissertação de Greicy Hellen Ferreira Cabral, 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 seis dias do mês de junho do ano de dois mil e vinte e quatro, a partir das quatorze horas, via videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “ESTABILIDADE OXIDATIVA DE GÉRMEN DE MILHO INTEGRAL AUTOCLAVADO SOB VAPOR DIRETO E ADICIONADO DE ANTIOXIDANTE SINTÉTICO OU NATURAL E APLICAÇÃO EM BISCOITOS”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Doutor Manoel Soares Soares Júnior (EA/UFG), com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Doutora Tania Aparecida Pinto De Castro Ferreira (EA/UFG), membro titular interno e Doutora Aline Emannuele Chaves Ribeiro (FAMA), 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 **Tania Aparecida Pinto De Castro Ferreira, Professor do Magistério Superior**, em 26/06/2024, às 16:57, 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 **Aline Emannuele Chaves Ribeiro, Usuário Externo**, em 26/06/2024, às 19:19, 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 Junior, Professor do Magistério Superior**, em 26/06/2024, às 19:51, 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 **4624843** e o código CRC **3E248235**.

DEDICATÓRIA

A minha família, meu porto seguro, dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha gratidão a Deus pela oportunidade de conquistar e finalizar este ciclo, bem como por ter colocado no meu caminho pessoas incríveis que tornaram a jornada menos difícil.

Agradeço e dedico este trabalho à minha família, minha base sólida, que esteve sempre comigo em todos os momentos, torcendo e vibrando por cada conquista, possibilitando-me sonhar e realizar.

Às minhas amigas, agradeço pela compreensão nos momentos de ausência devido às atividades relacionadas a esta pesquisa, e pelo apoio constante em minha formação pessoal e profissional.

À Universidade Federal de Goiás (UFG) e aos órgãos de fomento, CAPES e CNPQ, agradeço o suporte físico e financeiro para a execução desta pesquisa. Ao Laboratório de Aproveitamento de Resíduos e Subprodutos Agroindustriais - Labdarsa da Escola de Agronomia (EA/UFG), que não só me trouxe conhecimentos técnicos, mas que também me possibilitou conhecer pessoas incríveis. Ao Prof. Dr. Cláudio Fernandes Cardoso, responsável pelo Laboratório de Processamento e Análise de Café (LabCafé), pelo apoio prestado relativo a utilização do torrador de café. A indústria Milhão Ingredients, por terem gentilmente cedido as matérias-primas necessárias para a execução do presente trabalho. As técnicas dos laboratórios da Engenharia de Alimentos, Ana Paula, Jussara e Taís, por toda ajuda prestada.

A Alice Telles, Ana Carolina Jesus, Camilla Rodrigues, Carolina Dusi, Eder Júlio Jesus, Gabriela Coutinho, Geisa Juliana Fortunato, Juliete Dutra, Larissa Couto, Lizandra Silva, Marcella Elyza Gonçalves, Priscylla Prado e Vitor Hugo Jardim. Pessoas incríveis que tanto me apoiam e ajudaram durante minha trajetória na pós-graduação.

A Nathale Jordana Clemente Santos e Tâmila Gouveia Raimundo, alunas brilhantes de iniciação científica, que foram essenciais para desenvolvimento desta pesquisa. Muito obrigada por toda dedicação e esforço ao longo de toda trajetória.

Agradeço especialmente a Gabriella Leite Magalhães, por ter me ensinado cada análise, por não ter poupado esforços para me ajudar. Este trabalho jamais teria sido o mesmo sem sua contribuição, muito obrigada pelo seu exemplo de pessoa e de profissionalismo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior pelos ensinamentos, pelo sempre pronto atendimento e dedicação, disponibilidade, pelo incentivo, contribuições,

paciência e confiança. À meu Coorientador Prof. Dr. Márcio Caliari, por toda ajuda, atenção, disponibilidade e contribuições. À Dr^a. Alline Emannuele Chaves Ribeiro por me direcionar ao longo da execução da parte experimental da pesquisa, por suas valiosas contribuições ao trabalho.

À todos que contribuíram de alguma maneira para a realização deste trabalho e conquista.

Meu muito obrigada!

RESUMO

O gérmen de milho tem sido destinado, na grande maioria das vezes, a alimentação animal, porém sua utilização na alimentação humana poderia agregar valor ao coproduto, se este fosse utilizado como ingrediente estabilizado, com potencial de geração de diversos impactos, como tecnológico, econômico e ambiental. O objetivo desta pesquisa foi avaliar: as condições mais viáveis de torra do milho integral e do degerminado (canjica), a fim de obter novos produtos com maior teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante para uso como antioxidante natural; a estabilidade das farinhas obtidas a partir do gérmen de milho integral tratado com aplicação de vapor direto por autoclavagem sem adição de antioxidantes, com adição de antioxidante natural (milho integral torrado, apenas moído e na forma de extrato aquoso) e antioxidante sintético (BHT - butil-hidroxi-tolueno); e ainda verificar a viabilidade do uso do gérmen de milho integral estabilizado em substituir parcialmente a farinha de trigo em biscoito tipo *cookie* e enriquecer o produto tradicional com fibras. A torrefação das matérias-primas foi conduzida em torrador de café com controle de temperatura. Diferentes condições de processamento de grãos de milho foram comparadas: T1 - canjica torrada durante 10 min com temperatura final do cilindro e da fornalha de 200 e 450 °C, respectivamente, T2 - canjica torrada durante 10 min com temperatura final do cilindro e da fornalha de 202 e 460 °C, respectivamente, T3 - grãos de milho integral torrado durante 9 min e 10 s com temperatura final do cilindro e da fornalha de 188 e 436 °C, respectivamente, T4 - grãos de milho integral torrado durante 10 min com temperatura final do cilindro e da fornalha de 193 e 443 °C, respectivamente. Para a análise de estabilidade, as amostras de farinha de gérmen de milho integral tratadas termicamente foram adicionadas ou não de antioxidantes, acondicionadas em embalagem laminada metalizada a vácuo, e armazenadas sob temperaturas de 20, 30 e 40 °C. As amostras experimentais foram avaliadas quanto a sua estabilidade oxidativa (TBARS), a cada 15 dias, durante 60 dias. Cinco formulações de biscoitos foram produzidas, sendo BC o controle (sem gérmen de milho integral) e as demais com 10 % (B10), 25 % (B25), 40 % (B40) e 55 % (B55) de substituição de farinha de trigo por farinha de gérmen de milho integral preparado (GMP), ou seja, autoclavado e adicionado de 5% de milho torrado moído. O gérmen de milho integral é uma fonte valiosa de nutrientes para a alimentação humana, apresentando teor de fibra alimentar total (10,44 g 100 g⁻¹), lipídios (11,01 g 100 g⁻¹) e carboidratos disponíveis (57,38 g 100 g⁻¹), além do teor de proteína (6,83 g 100 g⁻¹) e minerais (2,96 g 100 g⁻¹). Os grãos de milho integral *in natura* antes de passarem pela torrefação apresentaram teor médio de CFT de 316,29 mg 100 g⁻¹, e valores médios de atividade antioxidante por FRAP de 9,35 μmol FeSO₄ g⁻¹ e por DPPH de 25,51 % de descoloração, enquanto T4 (milho integral e maior grau de torra) obteve os maiores resultados para CFT e atividade antioxidante, com elevação em relação aos grãos milho integral *in natura* de 77,22 % de CFT, 33,37 % de atividade antioxidante por FRAP e 211,61 % por DPPH. O que indicou seu potencial de utilização como antioxidante natural. Nos ensaios de armazenamento, quando o coproduto estabilizado por autoclavagem sob vapor direto foi adicionado de milho torrado em pó ou de extrato de milho torrado se determinaram menores valores de TBARS em relação ao adicionado com BHT ou ao natural, apontando resultados de estabilidade oxidativa mais promissores. Todos os biscoitos experimentais foram aceitos sensorialmente, com índice de aceitabilidade superior a 70%, sendo que B10 se destacou com os maiores valores para todos os atributos sensoriais avaliados, sendo mais aceito que BC. Visando um maior enriquecimento nutricional, B25 foi avaliado em relação à composição centesimal, pois tanto para as propriedades físicas tecnológicas e atributos sensoriais, não diferiu estatisticamente ($p > 0,05$) em relação a B10. Em relação umidade, atividade de água, índice de expansão, volume específico e dureza, não houve diferença significativa ($p > 0,05$).

entre os biscoitos experimentais, mas houve em relação aos parâmetros de cor instrumental, com o escurecendo à medida que aumentou o nível de farinha de gérmen de milho integral na formulação. Houve aumento de 130 % no teor de fibras e de 22,63 % no teor de cinzas do B25 comparando com o BC (3,46 e 1,37 %, respectivamente). Os resultados obtidos são importantes para melhor compreensão da estabilidade oxidativa do gérmen de milho, mas são ainda necessários estudos adicionais dos antioxidantes naturais propostos e para avaliar a viabilidade econômica dos processos enfocados nesta pesquisa, quando adaptados para escala industrial. É viável a substituição da farinha de trigo por até 40 % de farinha de gérmen de milho integral estabilizada em vapor direto de autoclave e adição de 5 % de milho torrado moído em biscoito tipo *cookie*, pois os biscoitos obtiveram padrão para comercialização, sendo microbiologicamente seguros e mais saudáveis que o biscoito tradicional, podendo contribuir com a melhoria da dieta e da qualidade de vida da população, e ainda melhorar a sustentabilidade da indústria de milho. Embora, seja importante considerar que a aplicação do produto em panificação poderá exigir ajustes nas formulações e processos de produção.

Palavras-chave: *Zea mays*; coprodutos; compostos bioativos; armazenamento; fibra alimentar; alimento funcional.

OXIDATIVE STABILITY OF AUTOCLAVED WHOLE CORN GERM UNDER DIRECT STEAM AND ADDED SYNTHETIC OR NATURAL ANTIOXIDANT AND APPLICATION IN COOKIES

ABSTRACT

Corn germ has been destined, in the vast majority of cases, for animal feed, however its use in human food could add value to the co-product, if it were used as a stabilized ingredient, with the potential to generate various impacts, such as technological, economic and environmental. The objective of this research was to evaluate: the most viable conditions for roasting whole corn and degerminated corn (hominy), in order to obtain new products with a higher content of phenolic compounds and antioxidant activity for use as a natural antioxidant; the stability of flours obtained from whole corn germ treated with the application of direct steam by autoclaving without adding antioxidants, with the addition of natural antioxidant (roasted whole corn, just ground and in the form of aqueous extract) and synthetic antioxidant (BHT - butylhydroxytoluene); and also verify the feasibility of using stabilized whole corn germ to partially replace wheat flour in cookies and enrich the traditional product with fiber. The roasting of raw materials was carried out in a temperature-controlled coffee roaster. Different corn grain processing conditions were compared: T1 - hominy roasted for 10 min with final cylinder and furnace temperatures of 200 and 450 °C, respectively, T2 - hominy roasted for 10 min with final cylinder and furnace temperatures of 202 and 460 °C, respectively, T3 - whole corn grains roasted for 9 min and 10 s with final cylinder and furnace temperatures of 188 and 436 °C, respectively, T4 - whole corn grains roasted for 10 min with cylinder and furnace final temperatures of 193 and 443 °C, respectively. For stability analysis, heat-treated whole corn germ flour samples were added or not with antioxidants, packaged in vacuum metallized laminated packaging, and stored at temperatures of 20, 30 and 40 °C. The experimental samples were evaluated for their oxidative stability (TBARS), every 15 days, for 60 days. Five biscuit formulations were produced, with BC being the control (without whole corn germ) and the others with 10% (B10), 25% (B25), 40% (B40) and 55% (B55) replacement of corn flour. wheat by prepared whole corn germ flour (GMP), that is, autoclaved and added with 5% ground roasted corn. Whole corn germ is a valuable source of nutrients for human consumption, presenting a content of total dietary fiber (10.44 g 100 g⁻¹), lipids (11.01 g 100 g⁻¹) and available carbohydrates (57.38 g 100 g⁻¹), in addition to the protein content (6.83 g 100 g⁻¹) and minerals (2.96 g 100 g⁻¹). The fresh whole corn grains before roasting had an average CFT content of 316.29 mg 100 g⁻¹, and average values of antioxidant activity by FRAP of 9.35 µmol FeSO₄ g⁻¹ and by DPPH of 25.51% discoloration, while T4 (whole corn and higher degree of roasting) obtained the highest results for CFT and antioxidant activity, with an increase in relation to fresh whole corn grains of 77.22% CFT, 33.37% activity antioxidant by FRAP and 211.61% by DPPH. This indicated its potential for use as a natural antioxidant. In storage tests, when the coproduct stabilized by autoclaving under direct steam was added with roasted corn powder or roasted corn extract, lower TBARS values were determined in relation to that added with BHT or natural, indicating more promising oxidative stability results. All experimental cookies were sensorially accepted, with an acceptability index greater than 70%, with B10 standing out with the highest values for all sensorial attributes evaluated, being more accepted than BC. Aiming for greater nutritional enrichment, B25 was evaluated in relation to the proximate composition, as for both technological physical properties and sensory attributes, it did not differ statistically ($p > 0.05$).

in relation to B10. In relation to humidity, water activity, expansion index, specific volume and hardness, there was no significant difference ($p > 0.05$) between the experimental cookies, but there was in relation to the instrumental color parameters, with darkening as it increased. the level of whole corn germ flour in the formulation. There was an increase of 130% in the fiber content and 22.63% in the ash content of B25 compared to BC (3.46 and 1.37%, respectively). The results obtained are important for a better understanding of the oxidative stability of corn germ, but additional studies of the proposed natural antioxidants are still necessary and to evaluate the economic viability of the processes focused on in this research, when adapted to an industrial scale. It is feasible to replace wheat flour with up to 40% of whole corn germ flour stabilized in direct autoclave steam and added 5% of ground roasted corn in cookie-type biscuits, as the biscuits have reached a standard for commercialization, being microbiologically safe and healthier than traditional biscuits, and can contribute to improving the diet and quality of life of the population, and also improve the sustainability of the corn industry. However, it is important to consider that the application of the product in bakery may require adjustments in formulations and production processes.

Keywords: *Zea mays*; co-products; bioactive compounds; storage; dietary fiber; functional food.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 – Composição química do grão de milho fresco e seco	11
--	----

CAPÍTULO II

Tabela 1- Composição centesimal (em base úmida) do gérmen integral de milho antes da autoclavagem (valores médios seguidos dos desvios-padrão)	36
--	----

Tabela 2 – Compostos fenólicos totais (CFT) e atividade antioxidante (pelos métodos FRAP e DPPH) de grãos de milho integral e degerminado (canjica) submetido a diferentes condições de torra	40
---	----

Tabela 3 – Parâmetros instrumentais de cor de grãos de milho integral e degerminado (canjica) submetido a diferentes condições de torra	43
---	----

Tabela suplementar 1. Teores médios de malonaldeído (TBARS) do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto em função da temperatura e tempo de armazenamento (Ensaio 1 de estabilidade).	59
--	----

Tabela suplementar 2. Teores médios de malonaldeído (TBARS) do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto adicionado de butil hidroxitolueno (GME +BHT) em função da temperatura e tempo de armazenamento (Ensaio 2 de estabilidade)	60
---	----

Tabela suplementar 3. Teores médios de malonaldeído (TBARS) do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto (GME) adicionado de 15% de milho torrado T4 moído (ensaio de torra), em função da temperatura e tempo de armazenamento (Ensaio 3 de estabilidade)	61
--	----

Tabela suplementar 4. Teores médios de malonaldeído (TBARS) do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto (GME) adicionado de extrato de milho torrado T4	
--	--

moído (ensaio de torra) (15%, para 5kg de GME foi adicionado 5,87 L de extrato), em função da temperatura e tempo de armazenamento (Ensaio 4 de estabilidade) 62

Tabela suplementar 5. Modelos ajustados, coeficiente de determinação e nível de significância para TBARS do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto em função da temperatura e tempo de armazenamento (Ensaio 1 de estabilidade) 63

Tabela suplementar 6. Modelos ajustados, coeficiente de determinação e nível de significância para TBARS do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto adicionado de butil hidroxitolueno (GME +BHT) em função da temperatura e tempo de armazenamento (Ensaio 2 de estabilidade) 64

Tabela suplementar 7. Modelos ajustados, coeficiente de determinação e nível de significância para TBARS do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto (GME) adicionado de 15% de milho torrado T4 moído (ensaio de torra), em função da temperatura e tempo de armazenamento (Ensaio 3 de estabilidade)65

Tabela suplementar 8. Modelos ajustados, coeficiente de determinação e nível de significância para TBARS do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto (GME) adicionado de extrato de milho torrado T4 moído (ensaio de torra) (15%, para 5Kg de GME foi adicionado 5,87L de extrato), em função da temperatura e tempo de armazenamento (Ensaio 4 de estabilidade)66

CAPÍTULO III

Tabela 1 - Formulações dos biscoitos experimentais tipo *cookie* em função do nível de substituição de farinha de trigo (FT) por gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave preparado com adição de antioxidante natural (5 % de milho torrado) (GMP) 76

Tabela 2- Características físicas e tecnológicas (média $\pm$ desvio-padrão) dos biscoitos tipo *cookie* em função do nível de substituição de farinha de trigo (FT) por gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave preparado com adição de antioxidante natural (5 % de milho torrado) (GMP). 82

Tabela 3. Risco microbiológico dos biscoitos tipo *cookie* em função do nível de substituição de farinha de trigo (FT) por gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave preparado com adição de antioxidante natural (5 % de milho torrado) (GMP). 86

Tabela 4 – Atributos sensoriais cor; aparência; aroma; textura; sabor e avaliação global determinadas no teste de aceitabilidade sensorial dos biscoitos tipo *cookie* com diferentes níveis de substituição de farinha de trigo (FT) por farinha de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %) (GMP) 87

Tabela 5 – Índice de aceitabilidade dos biscoitos tipo *cookie* com diferentes níveis de substituição (NS) de farinha de trigo (FT) por farinha de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %) (GMP) 88

Tabela 6 – Composição centesimal (base úmida) e valor energético total (VET), acidez e pH dos biscoitos tipo *cookie* sem e com 25 % de substituição de farinha de trigo por farinha de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %) 91

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1 – Anatomia do grão de milho e suas partes.	12
--	----

CAPÍTULO II

Figura 1 - Canjica de milho torrada (em cima) e milho integral torrado (em baixo). Antes da moagem (esquerda) e após a moagem (direita).	43
---	----

Figura 2 – Gérmen de milho autoclavado com vapor direto (GME) usado no primeiro ensaio de estabilidade (A), GME + BHT (B) usado no segundo ensaio, GME + milho torrado em pó (C) usado no terceiro ensaio, e GME + extrato de milho torrado (D) usado no quarto ensaio.	44
---	----

Figura 3 - Capacidade antioxidante (TBARS) do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto (GME) (A); e de GME + 0,1 % de butil hidroxitolueno (BHT) (B) em função da temperatura e tempo de armazenamento.	47
---	----

Figura 4 - Capacidade antioxidante (TBARS) do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto (GME) + 15% de grãos de milho integral torrado durante 10 min com temperatura final do cilindro e da fornalha de 193 e 443 °C, respectivamente (T4 do ensaio de torra) (A) e de GME adicionado de extrato de T4 moído (15%, para 5kg de GME foi adicionado 5,87L de extrato) (B) em função da temperatura e tempo de armazenamento.	48
---	----

CAPÍTULO III

Figura 1 – Fluxograma de produção dos biscoitos	77
---	----

Figura 2 - Biscoitos tipo <i>cookie</i> com diferentes níveis de substituição de farinha de trigo por farinha de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5%). BC = biscoito controle	83
--	----

Figura 3 - Aceitabilidade sensorial dos biscoitos tipo *cookie* com diferentes níveis de substituição (NS) de farinha de trigo (FT) por farinha de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %) (GMP). 89

Figura 4 – Intenção de compra dos biscoitos tipo *cookie* com diferentes níveis de substituição (NS) de farinha de trigo (FT) por farinha de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %) (GMP).90

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	8
1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO DA LITERATURA	11
2.1. Milho (<i>Zea mays</i>)	11
2.2. Estabilização dos alimentos gordurosos com antioxidantes e tratamento térmico	13
2.3. Utilização de farinhas mistas na produção de biscoitos	16
3. OBJETIVOS	18
3.1. Objetivo geral	18
3.2. Objetivos Específicos	18
4. REFERÊNCIAS	20
CAPÍTULO II	26
1 INTRODUÇÃO	27
2 MATERIAL E MÉTODOS	30
2.1 Materiais	30
2.2 Ensaio de torrefação dos grãos de canjica e milho	30
2.3 Tratamento térmico do gérmen de milho integral	31
2.4 Ensaio de armazenamento do GME adicionado de diferentes antioxidantes e sob diferentes temperaturas	31
2.5 Análises físicas e químicas	32
2.5.1 Compostos fenólicos totais (CFT)	32
2.5.2 Atividade antioxidante por FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma)	33
2.5.3 DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)	33
2.5.4 Composição centesimal	33
2.5.5 Potencial hidrogeniônico (pH) e atividade de água (Aw)	34
2.5.6 Cor instrumental	34
2.5.7 Teor de substâncias reativas ao Ácido 2-tiobarbitúrico (TBARS)	35
2.6 Análise estatística	35
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
3.1 Caracterização do gérmen de milho integral antes da autoclavagem	36
3.2 Ensaio de torrefação dos grãos de canjica e milho	39
3.3 Ensaio de armazenamento	43

4 CONCLUSÃO	50
5. REFERÊNCIAS	51
APÊNDICE 1	67
Ensaio de torrefação dos grãos de canjica e milho - Análise de variância fatorial	67
APÊNDICE 2	70
Ensaio de estabilidade do gérmen de milho - Análise de variância fatorial	70
CAPÍTULO III	71
1 INTRODUÇÃO	72
2 MATERIAL E MÉTODOS	75
2.1 Material	75
2.2 Estabilização e preparo do gérmen de milho	75
2.3 Formulações e processamento dos biscoitos	76
2.4 Características físicas e tecnológicas	77
2.4.1 Cor instrumental	77
2.4.2 Índice de expansão e volume específico	78
2.4.3 Atividade de água	78
2.4.4 Dureza instrumental	79
2.4.5 Acidez total titulável e potencial hidrogeniônico (pH)	79
2.5 Análises microbiológicas	79
2.6 Aceitação sensorial e intenção de compra	80
2.7 Composição proximal e valor energético	80
2.8 Delineamento experimental e análise estatística	81
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
3.1 Propriedades físicas, físico-químicas e tecnológicas	82
3.2 Análises microbiológicas	86
3.3 Aceitação sensorial e intenção de compra	86
3.3 Composição proximal e valor energético total	90
4 CONCLUSÃO	93
REFERÊNCIAS	94
CONSIDERAÇÕES FINAIS	100

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma gramínea pertencente à família Poaceae, subfamília Panicoideae, e uma das plantas cultivadas mais antigas, podendo ter se originado há 55-70 milhões de anos atrás, no que hoje é a América Central ou do Sul (SCOTT; EMERY, 2016). Este cereal é cultivado em grandes quantidades em quase todo o mundo, sendo o Brasil um dos maiores produtores mundiais. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento, a expectativa de produção total de milho para a safra 2023/24 é de 119,1 milhões de toneladas, sendo previsto uma exportação de 38 milhões de toneladas (CONAB, 2023).

A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que inclui desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Na alimentação humana, as farinhas de milho são utilizadas para fazer pães e bolos, juntamente com a farinha de trigo, além de polenta, cereais matinais, salgadinhos extrudados, entre outros. O uso do milho na alimentação animal representa a maior parte do consumo deste cereal. A produção na safra 2019/20 chegou a atingir 1,12 bilhão de toneladas, o que representa mais de 45 % do total de grãos produzidos no mundo (EICHOLZ et al., 2020).

O milho pode ser industrializado através da operação de moagem úmida e seca, sendo esta última a mais utilizada no Brasil. Os produtos obtidos nesta operação são a farinha de milho, fubá, quirera, farelos, canjica, dentre outros. Já através da operação de moagem úmida, é produzido o amido, glúten e fibra de milho (AI; JANE, 2016). A fibra do milho é considerada uma rica fonte fibra alimentar, e de substâncias antioxidantes, dentre as quais se destaca o ácido ferúlico, como sendo um potente antioxidante (BAUER et al., 2013).

Há estruturas bem definidas no grão de milho. A membrana externa, casca ou pericarpo possui característica fibrosa. Na porção mais interna do grão há duas regiões, uma região é o endosperma, constituído principalmente de amido e proteína (zeína), a outra região, é o gérmen (SABCHUK et al., 2021). Representando 11% do grão de milho, o gérmen concentra quase a totalidade dos lipídios, cerca de 78% dos minerais do grão, 70% e 26% do total de açúcar e proteínas do grão respectivamente (NAVARRO, 2016).

Alguns alimentos, principalmente os mais ricos em lipídios, sofrem oxidações, que levam à sua deterioração, sendo esta reação a principal causa de perda da qualidade durante o

processamento, manuseio e armazenamento de alimentos ou ingredientes com alto teor de gordura ou óleo. Este tipo de deterioração provoca alterações físico-químicas, além de uma diminuição no valor nutritivo do alimento, e formação de produtos de oxidação, como peróxidos, hidroperóxidos, aldeídos e cetonas, causando assim, preocupações com a segurança alimentar (HU et al., 2020).

A oxidação de lipídios é uma grande preocupação para a indústria de alimentos e os consumidores, e para mitigar este problema e aumentar a vida útil do alimento, faz-se o uso dos antioxidantes (TAHERI et al., 2014). Além disto, o consumo regular de componentes naturais com atividade antioxidante, como os polifenóis, tem efeitos positivos na saúde humana, sendo relacionado ao menor risco de doenças como as inflamatórias, cardiovasculares, diabetes e o câncer (LOUPPIS; CONSTANTINOU; KONTOMINAS, 2021).

Os antioxidantes podem ser naturais ou sintéticos. Há um crescente interesse na substituição de antioxidantes alimentares sintéticos por naturais, pois essa substituição pode ser benéfica devido a implicações para a saúde e funcionalidade, como na solubilidade em óleo e água. Relatórios revelando que BHA (Butilhidroxianisol) e BHT (Butilhidroxitolueno), antioxidantes sintéticos, podem ser tóxicos, em conjunto com o aumento da consciência dos consumidores em relação a segurança dos aditivos alimentares, promoveram a necessidade de se pesquisar alternativas naturais como prováveis fontes mais seguras de antioxidantes alimentares. Uma atenção especial é focada em sua extração de materiais baratos ou resíduos industriais (CRUZ, 2017).

Ao estudar as mudanças nos componentes funcionais e atividade de eliminação de radicais do milho sob várias condições de torra, Woo et al. (2017), verificaram que as quantidades de polifenóis totais e flavonóides totais no milho torrado, aumentaram significativamente à medida que a temperatura e a duração da torra aumentaram, sendo que o mesmo aconteceu com as atividades de eliminação de radicais das análises de DPPH e ABTS. Estes aumentos na atividade antioxidante foram positivamente correlacionados com os compostos fenólicos. Esses autores também reportaram que os teores de ácido homogentísico e miricetina no milho torrado aumentaram significativamente com a temperatura de torra mais alta e o tempo de torra mais longo. Todos estes achados, revelaram o potencial antioxidante do milho, quando submetido ao tratamento térmico por torrefação.

Os resíduos provenientes das indústrias de alimentos geram altas quantidades de casca, caroço, dentre outros. A biotransformação desses resíduos pode agregar valor na produção de

produtos alimentícios, contendo valor nutricional superior aos produtos tradicionais. Estes resíduos são elementos que servem como fonte de proteínas, enzimas e óleos essenciais, passíveis de recuperação e aproveitamento (FREITAS et al., 2021).

A situação nutricional da população é caracterizada pela baixa ingestão de fibras, vitaminas, minerais e compostos bioativos, em função do consumo baixo de vegetais frescos. Para elevar o consumo desses nutrientes, uma alternativa seria a produção de novos itens alimentícios, que possam ter um valor nutricional superior ao alimento original. O emprego de novos ingredientes que possam atuar elevando o valor nutricional de alimentos tradicionais tem sido uma alternativa para minimizar os distúrbios nutricionais (SOUSA et al., 2019). No entanto, para aceitação de novos produtos alimentícios pelos consumidores, estes precisam ser saborosos, de boa qualidade e ao mesmo tempo, ter um preço que esteja em condições de competir com o do produto convencional (RIBEIRO et al., 2020).

O gérmen de milho estabilizado tem potencial de fazer parte deste grupo de novos ingredientes com as características necessárias para o desenvolvimento de produtos mais saudáveis, por possuir teores elevados de lipídios, proteínas, fibras alimentares e minerais. Atualmente, seu uso tem sido destinado na grande maioria das vezes a alimentação animal, mas sua utilização na alimentação humana poderia agregar valor a este coproduto, aumentar a sustentabilidade da indústria de milho, e ainda contribuir com a problemática envolvida nas questões sobre as mudanças climáticas, devido ao enriquecimento nutricional dos produtos de origem vegetal, potenciais substitutos dos produtos de origem animal. Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a estabilidade oxidativa da farinha obtida a partir do gérmen de milho integral tratado com aplicação de vapor direto por autoclavagem e adição de antioxidante natural (milho integral torrado, apenas moído e na forma de extrato aquoso) e antioxidante sintético (BHT), visando obter novos ingredientes com elevado valor nutricional e funcional, e ainda verificar a viabilidade tecnológica de substituir parcialmente a farinha de trigo em biscoito tipo *cookie* e enriquecer o produto tradicional com fibras.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Milho (*Zea mays*)

O grão de milho apresenta diferentes formas e tamanhos, a depender da variedade, pode apresentar coloração amarela, branca, preta ou vermelha. Botanicamente o grão é classificado como uma cariopse (NAVARRO, 2016), sendo importante tanto na alimentação humana quanto animal, é utilizado na fabricação de diversos produtos, como por exemplo, óleos, farinhas, medicamentos, rações e etanol (EICHOLZ et al., 2020). A composição química do grão de milho varia de acordo com a cultivar, alterações climáticas, características do solo e fertilização (Tabela 1).

Tabela 1 – Composição química do grão de milho fresco e seco

Componente	Fresco (%)	Seco (%)
Água	35	14
Proteína	6,3	8,4
Gordura	2,8	3,7
Carboidratos	47,0	62,2
Fibra	7,1	9,4
Minerais	1,0	1,3

Fonte: MÜHLBAUER; MÜLLER, 2020.

O grão de milho contém também vitaminas lipossolúveis A e E, minerais que se apresentam na faixa de 1,37 - 1,50%, em base seca, sendo o fósforo, potássio e magnésio os elementos em maior quantidade. O milho também é considerado fonte importante de selênio, elemento essencial na dieta (NAVARRO, 2016). O milho também é rico em substâncias antioxidantes, como os compostos fenólicos, os carotenoides, os flavonoides e as antocianinas. Em sua composição possui quase todos os aminoácidos conhecidos, sendo que dentre os aminoácidos essenciais apenas a lisina e o triptofano são limitantes (REDAELLI; ALFIERI; CABASSI, 2016). As partes que compõem o grão de milho são o pericarpo (casca), endosperma, gérmen e ponta (Figura 1).

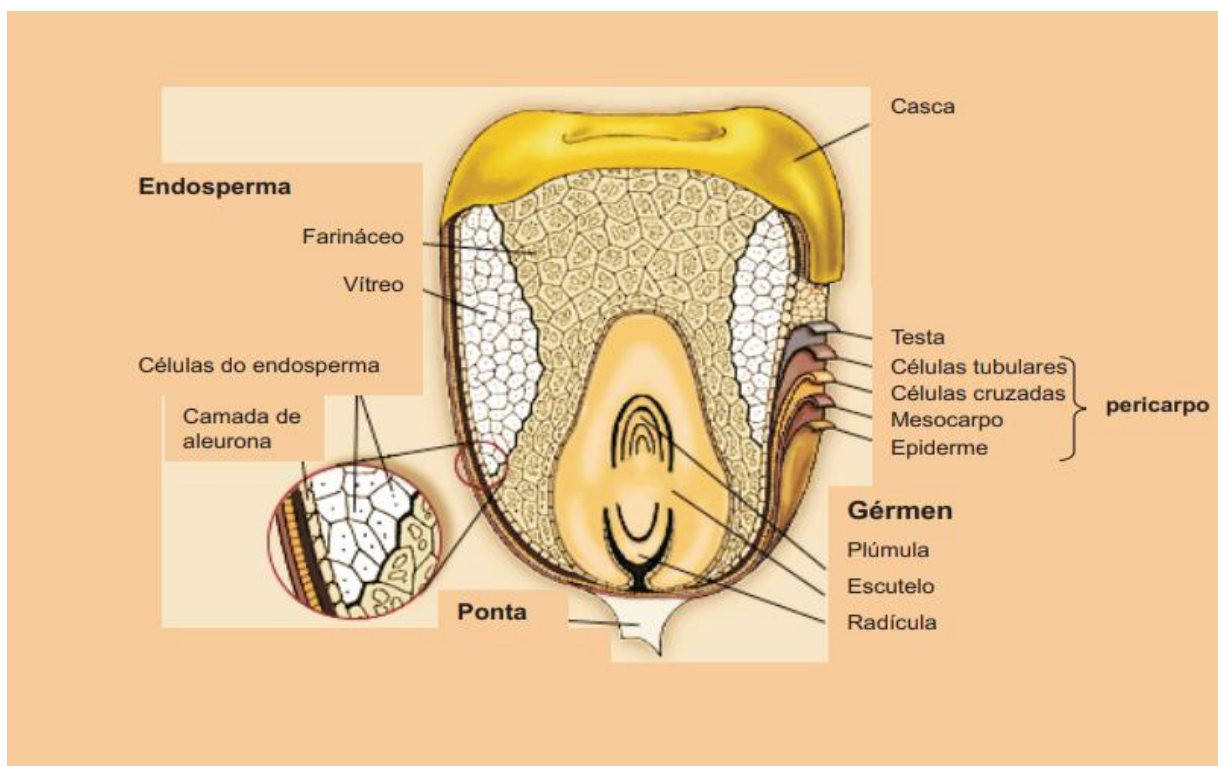


Figura 1 – Anatomia do grão de milho e suas partes.

Fonte: PAES, 2006.

O pericarpo protege as outras estruturas do grão da elevada umidade do ambiente, insetos e microrganismos. Em média o pericarpo representa 5 % do grão, e as camadas de células que compõem essa fração são constituídas de polissacarídeos do tipo hemicelulose, celulose e lignina em menor quantidade. O endosperma representa aproximadamente 83 % do peso seco do grão, é composto principalmente de amido ($88 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, organizado na forma de grânulos), também estão presentes proteínas de reserva do tipo prolaminas, chamadas zeínas. A menor estrutura do milho é a ponta (2% do grão), sua composição é essencialmente de material lignocelulósico. A ponta é responsável pela conexão do grão ao sabugo, e é a única área do grão não coberta pelo pericarpo (RIBEIRO et al., 2020).

O germen é composto pelo embrião e o escutelo, contendo nutrientes e hormônios que são importantes nas primeiras etapas da germinação, e representando 11 % do grão de milho. O germen concentra quase a totalidade dos lipídios, 78 % dos minerais do grão, e 70 % e 26 % do total de açúcar e proteínas do grão, respectivamente. A maior parte dos lipídios do germen são os triacilgliceróis, que são transformados no óleo de milho, através da operação de extração e de refino. Portanto, o germen de milho pode ser considerado uma ótima matéria-

prima para a produção de alimentos para consumo humano, desde de que devidamente estabilizado (NAVARRO, 2016).

2.2. Estabilização dos alimentos gordurosos com antioxidantes e tratamento térmico

Os lipídios dos alimentos podem ser rancificados por reações hidrolíticas ou lipolíticas, oxidação enzimática, fotoxidação ou autooxidação. A oxidação lipídica pode ocorrer até mesmo em temperaturas de resfriamento e congelamento, diferentemente de outras reações deteriorativas como as microbiológicas e enzimáticas, que podem ser inibidas com a utilização de baixas temperaturas (PAGLARINI et al., 2023). Assim, a oxidação de lipídios é uma grande preocupação para a indústria de alimentos e os consumidores, pois leva ao desenvolvimento de sabores indesejáveis, e produtos de reação potencialmente tóxicos. Para limitar este problema e aumentar a vida útil do alimento, faz-se o uso dos antioxidantes (TAHERI et al., 2014).

A função do antioxidante é retardar ou impedir a deterioração dos alimentos, evitando a formação de “ranço”, por processo de oxidação. Segundo a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) antioxidante é uma substância que retarda o aparecimento de alteração oxidativa no alimento (BRASIL, 2023). Já de acordo com a Federal Drug Administration (FDA), antioxidantes são substâncias utilizadas para preservar e estender a *shelf-life* de alimentos que contêm lipídios oxidáveis, através do retardo da descoloração, rancidez e deterioração, decorrentes da oxidação (OLIVEIRA, 2012).

Estruturalmente, os antioxidantes são compostos aromáticos que possuem pelo menos uma hidroxila. Podem ser classificados em antioxidantes sintéticos e naturais. Os antioxidantes sintéticos são amplamente utilizados pela indústria de alimentos (RÉ; JORGE, 2012). Os mais utilizados pela indústria brasileira são: butilhidroxianisol (BHA), butilhidroxitolueno (BHT), galato de propila (PG) e tercil-butilhidroquinona (TBHQ) (TAKEMOTO; TEIXEIRA FILHO; GODOY, 2009). O uso de antioxidantes sintéticos em produtos alimentícios está sob a regulamentação estrita devido ao seu potencial risco à saúde (TAHERI et al., 2014).

Já os antioxidantes naturais, fazem parte da constituição de diversos alimentos, a exemplo têm-se os organosulfurados, fenólicos e terpenos (RÉ; JORGE, 2012). De acordo com o mesmo autor, em relação ao corpo humano, há sistemas de defesa para lidar com o estresse oxidativo, que inclui o sistema enzimático, formado por um conjunto de enzimas, especialmente a superóxido dismutase, glutatona e a catalase. Auxiliando este sistema existe

os antioxidantes não enzimáticos, compostos principalmente pelas vitaminas, polifenóis, flavonoides, carotenoides e licopeno, ingeridos pela dieta alimentar. As ações destes compostos são de neutralizar radicais livres, quelar metais e bloquear a ação de espécies reativas, principalmente as de oxigênio.

Farelos ou grãos inteiros de cereais, como trigo, centeio, aveia, cevada e milho são conhecidos por conter fibra alimentar antioxidante. Diferentemente do conceito de fibra alimentar, na fibra alimentar antioxidante, a fibra está associada a antioxidantes naturais, como os compostos fenólicos. Esta associação traz muitos benefícios, tanto tecnológicos, como para a saúde. Em relação à saúde são relatados benefícios como a melhoria da saúde intestinal (pela metabolização deste composto no cólon, pela microbiota intestinal), inibição da oxidação de lipídios, e prevenção de doenças cardiovasculares *in vitro*. Já do ponto de vista tecnológico, as fibras alimentares antioxidantes podem, por exemplo, ser incorporadas a alimentos para melhorar a vida útil do produto, prevenindo a oxidação de lipídios em peixes, e preservando contra a deterioração em pães (XU et al., 2021).

Bauer et al. (2013) estudaram o efeito antioxidante da fibra de milho não tratada e tratada com enzimas contra a oxidação lipídica em emulsões contendo óleo de peixe, e reportaram que a fibra de milho inibiu a formação de produtos secundários de hidroperóxidos lipídicos na concentração de 800 mg/ kg de emulsão, e foi considerada um antioxidante eficaz, comparável ao galato de propila (PG). Essa atividade antioxidante pode ser explicada pela ação de hidroxycinamatos ligados, como ácido ferúlico e ácido p-cumárico.

As paredes celulares das monocotiledôneas, como é o caso do milho, constituem-se principalmente de celulose, hemiceluloses e pectina, que estão ligadas a numerosos ácidos hidroxicinâmicos, como o ácido ferúlico, ácido p-cumárico, ácido sinápico e o ácido caféico. Os compostos hidroxycinamatos e seus conjugados podem ser investigados para a aplicação industrial por demonstrarem ser compostos bioativos com atividades antioxidantes (BAUER et al., 2013).

Em alimentos os tratamentos térmicos podem ser utilizados para alterar características físico-químicas, nutricionais, fitoquímicas, melhorar a eficiência de processamento de etapas posteriores, inativar enzimas, e estender a vida útil dos produtos. Dentre estes tratamentos tem-se a torrefação, que é um método de processamento térmico que utiliza o calor seco. A torrefação de grãos de milho tem sido utilizada para a produção de diferentes tipos de alimentos, como bebidas à base de milho (WOO et al., 2017).

Em uma pesquisa realizada por Woo et al. (2017) sobre as várias condições de torra do milho, verificou-se que os teores de polifenóis totais e flavonoides totais no milho torrado, aumentaram com a temperatura mais alta e o tempo de torra mais longo, o que levou a uma maior atividade antioxidante. De acordo com esses autores, o fato pode ser explicado devido aos efeitos de baixa molecularização da operação de aquecimento, resultando em componentes de baixo peso molecular, que foram devidamente extraídos.

Os gérmens de cereais, dentre os quais está o gérmen de milho integral, objeto deste estudo, são coprodutos da moagem dos grãos. Em geral são boas fontes de ácidos graxos insaturados, aminoácidos essenciais, fibra alimentar, vitaminas e fitoquímicos funcionais. Porém, a utilização destes coprodutos representa um desafio, visto que por apresentarem, principalmente, alto teor de ácidos graxos poli-insaturados (43,9 - 64,9 % dos ácidos graxos totais), e pela presença das enzimas lipase e lipoxigenase, sofrem facilmente hidrólise e oxidação lipídica, respectivamente (WANG et al., 2021).

Para aumentar a estabilidade oxidativa destes gérmens, muitas tecnologias de processamento podem ser aplicadas, incluindo as térmicas (dentre as quais estão a secagem em forno, vapor, torrefação) e tratamentos não térmicos (fermentação, irradiação, ultrassom, etc.). Além de evitar que os lipídios se oxidem (através da inativação da lipase e da lipoxigenase), estas técnicas podem mudar a cor, textura, composição química, dentre outros (MARTI et al., 2014), como a liberação dos compostos fenólicos associados às fibras.

Em relação aos processamentos térmicos, a depender da temperatura utilizada, pode haver a indução da reação de Maillard, que é o escurecimento não enzimático caracterizado pela reação inicial de condensação entre o amino do grupo de aminoácidos, peptídeos e proteínas, com o grupo carbonila de açúcares redutores (BERTRAND et al., 2018).

De acordo com Wang et al. (2021), esta reação confere aos gérmens uma cor dourada e um sabor de noz, o que é desejável para os consumidores. Além de que, alguns produtos gerados na reação de Maillard, apresentam atividade antioxidante, o que pode contribuir para uma melhor estabilidade oxidativa dos gérmens. Contudo, há muitas discussões científicas acerca da toxicidade dos produtos da reação de Maillard, e ainda mais, da interação destes com outros componentes da matriz alimentar, como os lipídios.

Para estabilização do gérmen de milho integral, este trabalho propõe a utilização de tratamento térmico por vapor direto em autoclave, assim além de inativar enzimas responsáveis pela rancificação, simultaneamente pode destruir células vegetativas e esporos de microrganismos, tornando o coproduto seguro do ponto de vista microbiológico. O

tratamento com autoclave é um método hidrotérmico utilizado na esterilização de alimentos já embalados, o que não é o caso do presente estudo, pois o vapor é aplicado diretamente ao alimento.

As autoclaves são feitas de um metal resistente à pressão, onde os produtos são submetidos à alta temperatura sob alta pressão, sendo o vapor o meio de transferência de calor mais utilizado. A água aquecida normalmente é utilizada no processamento de produtos acondicionados em vidros, embalagens metálicas (latas), dentre outros. A finalidade da autoclavagem é evitar o crescimento microbiológico nos alimentos processados e inativar as enzimas capazes de deteriorá-los, produzindo em consequência do processamento certo cozimento no produto (LI et al., 2019).

Métodos não tradicionais de modificação de grãos e farinhas têm sido propostos a fim de preservar as características nutricionais destes produtos. Dentre estes processos, um método de cozimento não tradicional com autoclave, em que se busca obter grãos cozidos para produzir farinha pré gelatinizada, envolve o uso de vapor d'água gerado no equipamento, o qual se conecta diretamente com o produto, não havendo imersão em solução (BENTO et al., 2023). Conforme o autor, essa metodologia é uma forma de alterar propriedades químicas e tecnológicas de farinhas, preservando-as com perdas nutricionais reduzidas, já que não há imersão e consequentemente descarte de água de cocção.

2.3. Utilização de farinhas mistas na produção de biscoitos

Conforme a RDC Nº 711, de 1º de julho de 2022 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, biscoitos ou bolachas são definidos como “produtos obtidos pela mistura de farinhas, amidos ou féculas com outros ingredientes, submetidos a processos de amassamento e cocção, fermentados ou não, podendo apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos” (BRASIL, 2022).

Há diferentes ingredientes que podem ser incorporados a estes produtos, a fim de promover o seu enriquecimento nutricional, e uma alternativa que se tem destacado é a utilização de coprodutos agroindustriais que geralmente são ricos em componentes bioativos. Pois, cada vez mais as pessoas estão buscando cuidar de sua qualidade de vida por meio de uma alimentação mais saudável. Em função disso a indústria de alimentos tem procurado desenvolver produtos enriquecidos, que de alguma forma possam contribuir com a diminuição de doenças crônicas (PERES, 2010).

Conforme a Resolução RDC Nº 711, de 1º de julho de 2022, farinha é o “produto obtido de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas por moagem ou outros processos tecnológicos considerados seguros para a produção de alimentos” (BRASIL, 2022). Na fabricação de biscoitos a utilização de farinhas mistas tem-se expandido, como alternativa para a melhoria das propriedades tecnológicas e funcionais do produto. Os biscoitos são considerados bons veículos para o estudo de farinhas mistas, pois, aliado à sua enorme diversidade, são aceitos e consumidos por pessoas de qualquer idade, possuem uma longa vida de prateleira, o que permite sua produção em grande escala (KOPPER et al., 2009).

Do ponto de vista econômico, as farinhas mistas ou alternativas podem ser recomendadas para substituir em parte a farinha de trigo, no caso desta não estar disponível ou for muito cara. Para substituição parcial da farinha de trigo, têm-se utilizado a secagem de resíduos agroindustriais para obtenção de farinha como ingrediente alimentar rico em fibras, para incorporação nos mais diversos alimentos (MARCOLINO, 2012).

A literatura apresenta alguns trabalhos que relatam a substituição total ou parcial da farinha de trigo por farinhas alternativas, para produção de biscoitos, pães, panetones, massas alimentícias, entre outros. Segundo Tavares (2014) o nível de substituição dos ingredientes na formulação de biscoitos depende da qualidade das farinhas, do tipo de produto, formulação e procedimentos empregados.

Castro et al. (2011) relataram que a utilização da fração gérmen com pericarpo de milho na formulação de biscoitos tipo *cookie* é uma alternativa para melhorar a qualidade nutricional destes, pois esta fração possui teores elevados de lipídios, proteínas e fibras. *cookies* são definidos como produtos assados à base de cereais que possuem alto teor de açúcar, gordura e baixo teor de água (1-5%) (DE MORAES et al., 2010).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Avaliar as condições mais viáveis de torra do milho integral e do degerminado (canjica), a fim de obter novos produtos com maior teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante para uso como antioxidante natural. Analisar a estabilidade oxidativa da farinha obtida a partir do gérmen de milho integral tratado com aplicação de vapor direto por autoclavagem e adição de antioxidantes, visando obter um novo ingrediente com elevado valor nutricional e funcional, e ainda verificar a viabilidade tecnológica do mesmo substituir parcialmente a farinha de trigo em biscoito tipo *cookie* e aumentar o aporte de fibras do produto tradicional.

3.2. Objetivos Específicos

- Torrar o grão de milho integral e a canjica (grão degerminado e quebrado) em diferentes condições de tempo e temperatura, e determinar a capacidade antioxidante, o teor de compostos fenólicos e os parâmetros instrumentais de cor dos produtos torrados;
- Selecionar a melhor condição de torra para usar o produto torrado como antioxidante natural, na forma em pó ou de extrato;
- Tratar termicamente o gérmen de milho integral (não desengordurado) por vapor direto em autoclave e avaliar as alterações decorrentes em relação à atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais;
- Avaliar a estabilidade oxidativa (TBARS) da farinha de gérmen de milho integral, cujo gérmen foi estabilizado em autoclave sob vapor direto: 1 - sem antioxidante, 2 - com antioxidante sintético (BHT), e com antioxidante natural (3 - milho torrado em pó, e 4 - extrato de milho torrado).
- Elaborar biscoitos tipo *cookie* formulados com diferentes níveis de substituição de farinha de trigo por farinha de gérmen de milho integral estabilizada por vapor direto em autoclave e adicionada de antioxidante natural;
- Avaliar as propriedades físicas, físico-químicas e tecnológicas, o risco microbiológico, a aceitação sensorial e a intenção de compra dos biscoitos tipo *cookie* experimentais.

- Determinar a composição proximal e valor energético total do biscoito tipo *cookie* selecionado e do biscoito tradicional sem farinha de gérmen de milho integral.

4. REFERÊNCIAS

AI, Y.; JANE, J. Macronutrients in corn and human nutrition. **Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety**, East Lansing, v. 15, n. 3, p. 581-598, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12192>.

BAUER, J. L.; HARBAUM-PIAYDA, B.; STÖCKMANN, H.; SCHWARZ, K. Antioxidant activities of corn fiber and wheat bran and derived extracts. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 50, n. 1, p. 132–138, 2013. DOI: 10.1016/j.lwt.2012.06.012.

BENTO, J. A. C.; RIBEIRO, P. R. V.; BASSINELLO, P. Z.; SOUZA NETO, M. A. de; CARVALHO, R. N.; BRITO, E. S. de; CALIARI, M.; JÚNIOR, M. S. S. Functional properties and chemical profile of aged carioca beans and cooked under the steam of autoclave. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 53, n. 9, 2023. DOI: 10.1590/0103-8478cr20220342.

BERTRAND, E.; EL BOUSTANY, P.; FAULDS, C. B.; BERDAGUÉ, J.-L. The Maillard Reaction in Food: An Introduction. **Reference Module in Food Science**, 2018. DOI 10.1016/b978-0-08-100596-5.21459-5. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.21459-5>.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução normativa - IN nº 211, de 1º de março de 2023**. Estabelece as funções tecnológicas, os limites máximos e as condições de uso para os aditivos alimentares e os coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso em alimentos. Brasília, DF, 2023. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6561857/%284%29IN_211_2023_COMP.pdf/6e32c891-4f26-4897-a758-89568375507e. Acesso em: 27 jan. de 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 711, de 1º de julho de 2022**. Dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6482578/RDC_711_2022_.pdf/c739c4a9-6d94-424d-b27b-5ffed15474cf. Acesso em: 27 jan. de 2024.

CASTRO, M. V. L. de; MENDONÇA, A. L. de; SANTOS, G. G. FROES, L. de O.; FREITAS, J. B. de; NAVES, M. M. V. Fração gérmen com pericarpo de milho na alimentação humana: qualidade nutricional e aplicação tecnológica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 213-219, 2011.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n. 2 segundo levantamento, novembro 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 04 dez. 2023.

CRUZ, R. G. da. **Potencial de metabólitos da acerola (*Malpighia emarginata*) como antioxidantes em diferentes sistemas oxidativos mediados por radicais livres**. 2017. 133 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

DE MORAES, K. S.; DA ROSA ZAVAREZA, E.; DE MIRANDA, M. Z.; DE LAS MERCEDES SALAS-MELLADO, M. Avaliação tecnológica de biscoitos tipo *cookie* com variações nos teores de lipídio e de açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, vol. 30, p. 233–242, 1 maio 2010. DOI 10.1590/s0101-20612010000500036. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0101-20612010000500036>.

EICHOLZ, E. D.; BREDEMEIER, C.; BERMUDEZ, F.; MACHADO, J. R. de A.; GARRAFA, M.; BISPO, N. B.; AIRES, R. F. **Informações técnicas para o cultivo do milho e sorgo na região subtropical do Brasil: safras 2019/20 e 2020/21**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2020. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202011/23092828-informacoes-tecnicas-para-o-cultivo-do-milho-e-sorgo-na-regiao-subtropical-do-brasil-safras-2019-20-e-2020-21.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2021.

FREITAS, L. C.; BARBOSA, J. R.; DA COSTA, A. L. C.; BEZERRA, F. W. F.; PINTO, R. H. H.; CARVALHO JUNIOR, R. N. de. From waste to sustainable industry: How can agro-industrial wastes help in the development of new products? **Resources, Conservation and Recycling**, Belém, v. 169, p. 105466, 2021. DOI 10.1016/j.resconrec.2021.105466.

HU, R.; DUNMIRE, K. M.; TRUELOCK, C. N.; PAULK, C. B.; ALDRICH, G.; LI, Y. Antioxidant performances of corn gluten meal and DDGS protein hydrolysates in food, pet food, and feed systems. **Journal of Agriculture and Food Research**, Manhattan, v. 2, p. 100030, 2020. DOI 10.1016/j.jafr.2020.100030.

KOPPER, A. C.; SARAIVA, A. P. K.; RIBANI, R. H.; LORENZI, G. M. A. C. Utilização tecnológica da farinha de bociúva na elaboração de biscoitos tipo *cookie*. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 3, p. 463-469, 2009.

LI, S.; CHEN, G.; QIANG, S.; TANG, D.; CHEN, Y.; ZHANG, Z.; LEI, Z.; CHEN, Y. Intensifying soluble dietary fiber production and properties of soybean curd residue via autoclaving treatment. **Bioresource Technology Reports**, v. 7, p. 100203, 2019. DOI 10.1016/j.biteb.2019.100203. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100203>.

LOUPPIS, A. P.; CONSTANTINOU, M. S.; KONTOMINAS, M. G. An ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometric method for the identification and quantification of selected natural antioxidants in prickly pear samples. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 104, p. 104155, 2021. DOI: 10.1016/j.jfca.2021.104155.

MARCOLINO, B. N. V.; GOMES, S. C. M.; DIAS, J. L.; ARAÚJO, L. C. de. Análise sensorial de biscoito tipo *cookie* elaborado com substituição parcial de farinha de trigo por farinha de castanha de caju, casca de banana verde e de uva. **Anais: I ENECT / UEPB**. Campina Grande: Realize Editora, 2012. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/1592>. Acesso em: 02 maio 2021.

MARTI, A.; TORRI, L.; CASIRAGHI, M. C.; FRANZETTI, L.; LIMBO, S.; MORANDIN, F.; QUAGLIA, L.; PAGANI, M. A. Wheat germ stabilization by heat-treatment or sourdough fermentation: Effects on dough rheology and bread properties. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 59, n. 2, p. 1100–1106, 2014. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.06.039.

MÜHLBAUER, W.; MÜLLER, J. M. **Maize (*Zea mays* L.)** (Chapter 3.2). In: Drying Atlas, Londres: Elsevier 2020, 75-84 p. DOI: 10.1016/b978-0-12-818162-1.00009-2.

NAVARRO, S. L. B. **Extração alcoólica de óleos de gérmen de milho e de torta de macadâmia e aproveitamento do material desengordurado na produção de concentrado proteico**. 2016. 195 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74132/tde-24022017104941/publico/DO8633115COR.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2021.

OLIVEIRA, R. R. de; LAGE, M. E.; SILVEIRA NETO, O. J. da; SALES, M. C. de. Antioxidantes naturais em produtos cárneos. **Pubvet**, Londrina, v. 6, n. 10, p. 32, 2012.

PAES, M. C. D. (org.). **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho**. Sete Lagoas: Embrapa, 2006. 6 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/489376/1/Circ75.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2021.

PAGLARINI, C. S.; VIDAL, V. A. S.; NERI-NUMA, I. A.; PASTORE, G. M.; POLLONIO, M. A. R. Effect of commercial plant extracts on the oxidative stability of mechanically deboned poultry meat during chilled storage. **Food Research International**, Ottawa, v. 164, p. 112358, 2023. DOI 10.1016/j.foodres.2022.112358.

PERES, A. P. **Desenvolvimento de um biscoito tipo *cookie* enriquecido com cálcio e vitamina D**. 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/24487/Andrea.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 abr. 2021.

RÉ, P. V. del; JORGE, N. Especiarias como antioxidantes naturais: aplicações em alimentos e implicação na saúde. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, Campinas, v. 14, n. 2, p. 389-399, 2012. DOI: 10.1590/s1516-05722012000200021.

REDAELLI, R.; ALFIERI, M.; CABASSI, G. Development of a NIRS calibration for total antioxidant capacity in maize germplasm. **Talanta**, Londres, v. 154, p. 164-168, 2016. DOI: 10.1016/j.talanta.2016.03.048.

RIBEIRO, A. E. C.; OLIVEIRA, A. R.; DA SILVA, A. C. M.; CALIARI, M.; JÚNIOR, M. S. S. Physicochemical quality and sensory acceptance of toasts with partial replacement of wheat flour by maize biomass flour. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 10, p. 3843–3851, 2020. DOI 10.1007/s13197-020-04416-3.

SABCHUK, T. T.; BASTOS, T. S.; KOMARCHEUSKI, A. S.; MAIORKA, A.; FÉLIX, A. P.; OLIVEIRA, S. G. Uso do gérmen de milho desengordurado, com e sem adição de um complexo enzimático, em dietas para cães. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 73, n. 1, p. 239–246, 2021. DOI 10.1590/1678-4162-11719.

SCOTT, M. P.; EMERY, M. Maize: overview. **Encyclopedia of Food Grains (Second Edition)**, Madison, v. 1, p. 1-6, 2016. DOI: 10.1016/b978-0-08-100596-5.00022-6.

SOUSA, M. F. de; GUIMARÃES, R. M.; ARAÚJO, M. de O.; BARCELOS, K. R.; CARNEIRO, N. S.; LIMA, D. S.; SANTOS, D. C. D.; BATISTA, K. de A.; FERNANDES, K. F.; LIMA, M. C. P. M.; EGEA, M. B. Characterization of corn (*Zea mays* L.) bran as a new food ingredient for snack bars. **LWT – Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 101, p. 812–818, 2019. DOI 10.1016/j.lwt.2018.11.088.

TAHERI, A.; SABEENA FARVIN, K. H.; JACOBSEN, C.; BARON, C. P. Antioxidant activities and functional properties of protein and peptide fractions isolated from salted herring brine. **Food Chemistry**, Barking v. 142, p. 318–326, 2014. DOI 10.1016/j.foodchem.2013.06.113.

TAKEMOTO, E.; TEIXEIRA FILHO, J.; GODOY, H. T. Validação de metodologia para a determinação simultânea dos antioxidantes sintéticos em óleos vegetais, margarinas e gorduras hidrogenadas por CLAE/UV. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 5, p. 1189-1194, maio 2009. DOI 10.1590/s0100-40422009000500020.

TAVARES, B. de O **Biscoito free-gluten à base de co-produtos agroindustriais do arroz e da soja**. 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/71/o/DISSERTA%C3%87%C3%83O_2014_BRUNA_2014.pdf. Acesso em: 30 abr. 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, p. 130066, Nov. 2021. DOI 10.1016/j.foodchem.2021.130066.

WOO, K. S.; KIM, M. J.; KIM, H.-J.; LEE, J. H.; LEE, B. W.; JUNG, G.-H.; LEE, B. K.; KIM, S. L. Changes in the functional components and radical scavenging activity of maize under various roasting conditions. **Food Science and Biotechnology**, Seoul, v. 27, n. 3, p. 837–845, 2017. DOI 10.1007/s10068-017-0294-9.

XU, J.; LI, Y.; ZHAO, Y.; WANG, D.; WANG, W. Influence of antioxidant dietary fiber on dough properties and bread qualities: A review. **Journal of Functional Foods**, Amsterdam, v. 80, p. 104434, May 2021. DOI 10.1016/j.jff.2021.104434.

CAPÍTULO II

ESTABILIDADE OXIDATIVA DE GÉRMEN DE MILHO INTEGRAL AUTOCLAVADO SOB VAPOR DIRETO E ADICIONADO DE ANTIOXIDANTE SINTÉTICO OU NATURAIS

RESUMO

O milho (*Zea Mays* L.) é uma das culturas de maior importância econômica devido às suas inúmeras aplicações técnicas e utilizações na nutrição humana e animal. O gérmen, coproduto obtido no processamento do milho, é composto por lipídios, minerais, proteínas e carboidratos e representa 11 % do grão de milho, porém sua utilização na alimentação humana é limitada visto que sofre facilmente oxidação e hidrólise lipídica enzimática. O objetivo desta pesquisa foi desenvolver metodologia para estabilização do gérmen de milho integral (não desengordurado), visando sua utilização na alimentação humana. Para tanto, os efeitos de diferentes intensidades de torra (tempo e temperatura) em amostras de canjica e grãos de milho integral foram estudados, a fim de desenvolver um potencial antioxidante natural, para aplicação em amostras de gérmen de milho integral tratadas termicamente por autoclavagem com vapor direto. Além de avaliar a influência da temperatura e do tempo de armazenamento sobre o grau de oxidação do gérmen de milho integral autoclavado sob vapor direto, puro (T1) ou adicionado de antioxidante sintético (BHT) (T2) ou antioxidante natural (em pó (T3) ou extrato hidroalcolico de grão de milho integral torrado (T4)). Os grãos de milho integral *in natura* antes de passarem pela operação de torrefação apresentaram teor médio de CFT de 316,29 mg 100 g⁻¹, e valores médios de atividade antioxidante por FRAP de 9,35 μ mol FeSO₄ g⁻¹ e por DPPH de 25,51 % de descoloração, enquanto T4 (milho integral e maior grau de torra) obteve os maiores resultados para CFT e atividade antioxidante, com elevação em relação aos grãos milho integral *in natura* de 77,22 % de CFT, 33,37 % de atividade antioxidante por FRAP e 211,61 % por DPPH. O que indicou seu potencial de utilização como antioxidante natural. O gérmen de milho integral pode ser uma fonte valiosa de nutrientes para a alimentação humana, pois apresentou composição com elevado teor de fibra alimentar total (10,44 g 100 g⁻¹), lipídios (11,01 g 100 g⁻¹) e carboidratos disponíveis (57,38 g 100 g⁻¹), além de significativo teor de proteína (6,83 g 100 g⁻¹) e minerais (2,96 g 100 g⁻¹). Nos ensaios de armazenamento, quando o coproduto estabilizado por autoclavagem sob vapor direto foi adicionado de milho torrado em pó ou de extrato de milho torrado se determinaram menores valores de TBARS em relação ao adicionado com BHT ou ao natural, apontando resultados de estabilidade oxidativa mais promissores. Os resultados obtidos são importantes para melhor compreensão da estabilidade oxidativa do gérmen de milho, mas são ainda necessários estudos adicionais dos antioxidantes naturais propostos e para avaliar a viabilidade econômica dos processos enfocados nesta pesquisa, quando adaptados para escala industrial.

Palavras-chave: *Zea Mays* L.; tratamento térmico; autoclavagem; vapor direto; torrefação; antioxidante natural.

1 INTRODUÇÃO

Os grãos de milho (*Zea mays* L.) tem uma ampla gama de aplicações nas indústrias alimentícia e não alimentícia. O cereal é um importante ingrediente das rações para alimentação animal. Cerca de 60 % do milho cultivado nos EUA é utilizado para esse fim. O grão é utilizado para consumo humano em diversas formas, incluindo milho fresco, enlatado e congelado, farinhas, amido, óleo, xaropes adoçantes entre outros. Nas aplicações não alimentícias, o milho serve de matéria-prima para plásticos, produtos farmacêuticos, e etanol, usado como combustível e solvente em diversas aplicações industriais. O amido do milho é utilizado na indústria alimentícia, na produção de adesivos, papeis e produtos têxteis (PAULSEN; SINGH; SINGH, 2019).

O grão de milho é constituído pelo pericarpo (parte externa), endosperma, gérmen e ponta. O pericarpo protege as estruturas dos grãos contra alta umidade, insetos e microrganismos. As camadas de células que compõem esta fração (ao redor de 5 %) são formadas por polissacarídeos como hemicelulose, celulose e lignina em menor quantidade. O endosperma representa aproximadamente 83 % do peso seco do grão e é composto majoritariamente por amido, estando também presentes proteínas de reserva (zeínas). A ponta (~2 %) é a menor estrutura do milho e sua composição é principalmente de material lignocelulósico, e sua função é ligar o grão à espiga, sendo a única região do grão que não é coberta pelo pericarpo (RIBEIRO, 2017).

Já o gérmen de milho representa 11 % do grão de milho, concentra quase todos os lipídios, 78 % dos minerais do grão, 70 % do açúcar total e 26 % da proteína total. Possui uma variedade de substâncias biologicamente ativas incluindo ácidos graxos poli-insaturados, tocoferóis, provitaminas A e D, vitamina K, riboflavina, ácidos pantotênico e fólico, fitina e outras (ЯРМАГАМЕТОВА; КИЗАТОВА, 2021). Essa elevada densidade de nutrientes, presente no gérmen de milho integral (não desengordurado), faz com que este coproduto seja uma matéria-prima promissora para utilização na alimentação humana. Porém seu uso está condicionado à resolução de alguns problemas, como a presença de ácido fítico e micotoxinas, e por apresentarem, principalmente, alto teor de ácidos graxos poli-insaturados (43,9 - 64,9 % dos ácidos graxos totais), e pela presença das enzimas lipase e lipoxigenase, sofrem facilmente oxidação e hidrólise lipídica (WANG et al., 2021).

Existem várias maneiras de estabilizar os gérmenes de cereais, incluindo extrusão, aquecimento por micro-ondas, tratamento com radiação infravermelha, vaporização,

desidratação, plasma frio atmosférico e adição de antioxidantes. Atualmente, os tratamentos térmicos mais utilizados para prevenir a oxidação são o aquecimento a seco e a vaporização (ARSLAN et al., 2020).

O tratamento com autoclave é um método hidrotérmico cuja finalidade é evitar o crescimento microbiológico nos alimentos processados e inativar as enzimas capazes de deteriorá-los (LI et al., 2019). Entretanto, Özkaya et al. (2017) reportaram que o tratamento térmico em autoclave pode ser usado para redução do teor de ácido fítico nos farelos de trigo e arroz, e ainda, aumentar o conteúdo total de fibra alimentar, de fenólico total e a atividade antioxidante dos farelos.

Os antioxidantes primários são compostos aromáticos que possuem pelo menos uma hidroxila, e sua função é retardar ou impedir a deterioração dos alimentos, evitando a formação de “ranço”, por processo de oxidação. Os antioxidantes são classificados em sintéticos e naturais. Na última década está ocorrendo um crescente interesse na utilização de antioxidantes naturais, devido a seus benefícios para a saúde e funcionalidade, como na solubilidade em óleo e água (CRUZ, 2017).

Dentre os tratamentos térmicos, destaca-se também a torrefação, que é um método de processamento que utiliza o calor seco. A torrefação de grãos de milho tem sido utilizada para a produção de diferentes tipos de alimentos, como bebidas à base de milho (WOO et al., 2017). A depender da temperatura utilizada, os processamentos térmicos podem induzir a reação de Maillard, na qual alguns produtos gerados apresentam atividade antioxidante, o que pode contribuir para uma melhor estabilidade oxidativa (WANG et al., 2021).

Em uma pesquisa realizada por Woo et al. (2017) sobre as várias condições de torra do milho, verificou-se que os teores de polifenóis totais e flavonoides totais no milho torrado, aumentaram com a temperatura mais alta e o tempo de torra mais longo, o que levou a uma maior atividade antioxidante. De acordo com esses autores, o fato pode ser explicado devido aos efeitos de baixa molecularização do processo de aquecimento, resultando em componentes de baixo peso molecular, que foram devidamente extraídos.

Diante o exposto, o objetivo desta pesquisa foi desenvolver metodologia para estabilização do gérmen de milho integral, visando sua utilização na alimentação humana, visto que ainda não é utilizado devido sua rápida alteração e degradação de suas características sensoriais. Para tanto, os efeitos de diferentes intensidades de torra em amostras de canjica e grãos de milho integral foram estudados, a fim de desenvolver um potencial antioxidante natural para aplicação em amostras de gérmen de milho tratadas

termicamente por autoclave com vapor direto. Além de avaliar a influência da temperatura e do tempo de armazenamento sobre o grau de oxidação (TBARS) do gérmen de milho integral autoclavado sob vapor direto, puro ou adicionado de antioxidante sintético (BHT) ou antioxidante natural (em pó ou extrato hidroalcólico de grão de milho torrado).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Materiais

Milho mole amarelo, canjica e gérmen de milho integral (GMI) foram gentilmente doados pela indústria parceira Milhão Ingredients, localizada na cidade de Goianira, Goiás, Brasil. As embalagens de polietileno de baixa densidade (PEBD) pretas foram compradas no comércio local de Goiânia, Goiás Brasil. Os reagentes das marcas Êxodo®, Synth®, Neon® e Sigma® utilizados nas análises físico-químicas apresentaram pureza analítica (p.a.).

2.2 Ensaio de torrefação dos grãos de canjica e milho

A torrefação das matérias-primas (amostras de 1,00 kg) foi conduzida em torrador de café (Leogap, Ipanema Ecológico, Curitiba, Brasil), com controle de temperatura. Diferentes condições de processamento de grãos de milho integral e degerminados (canjica) foram comparadas para avaliar se os produtos obtidos possuíam potencial para serem utilizados como antioxidante natural.

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, com 4 tratamentos (T1 - canjica torrada durante 10 min com temperatura final do cilindro e da fornalha de 200 e 450 °C, respectivamente, T2 - canjica torrada durante 10 min com temperatura final do cilindro e da fornalha de 202 e 460 °C, respectivamente, T3 – grãos de milho integral torrado durante 9 min e 10 s com temperatura final do cilindro e da fornalha de 188 e 436 °C, respectivamente, T4 - grãos de milho integral torrado durante 10 min com temperatura final do cilindro e da fornalha de 193 e 443 °C, respectivamente), e três repetições originais, totalizando 12 unidades experimentais.

As condições experimentais testadas foram definidas em testes preliminares, de forma a obter produtos com menor e maior grau de torra. Após a torrefação, as amostras foram resfriadas naturalmente em bandejas teladas até atingirem a temperatura ambiente, pesadas (todas as amostras torradas apresentaram massa de aproximadamente 800 g), embaladas em sacos de PEBD com barreira contra luz, e armazenadas sob refrigeração ($5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) até a realização das análises. As amostras foram moídas (moinho de rotor tipo ciclone, Tecnal, TE-651/2, Piracicaba, Brasil) e as farinhas foram avaliadas quanto ao teor de compostos fenólicos

totais e capacidade antioxidante - FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) e DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), em triplicata.

2.3 Tratamento térmico do gérmen de milho integral

O GMI foi coletado durante a degerminação na planta industrial da Milhão Ingredients, e imediatamente embalado em sacos de PEBD, transportado para o laboratório de Processamento de Resíduos e Subprodutos Agroindustriais da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás – Labdarsa, e tratado termicamente, visando a desnaturação das enzimas responsáveis pela acidificação (lipases) e oxidação (lipoxigenases). A estabilização do GMI foi realizada por autoclavagem sob vapor direto. O GMI foi acondicionado em sacos de papel Kraft pardo abertos, e autoclavado por 15 min a temperatura de 121 °C e pressão de 1,1 kgf. Em seguida, o GMI estabilizado termicamente (GME) foi seco em estufa de circulação de ar a 45 °C, até obtenção de umidade final de aproximadamente 6 %, resfriado naturalmente até atingir a temperatura ambiente, acondicionado em sacos de PEBD pretos, e armazenados sob refrigeração a 5 °C ± 1 °C até a sua utilização.

2.4 Ensaios de armazenamento do GME adicionado de diferentes antioxidantes e sob diferentes temperaturas

Quatro delineamentos inteiramente casualizados, com arranjo fatorial 3 x 5 (três temperaturas e cinco tempos de avaliação), com três repetições originais, foram utilizados em quatro ensaios de armazenamento do GME. No primeiro ensaio GME sem adição de antioxidantes foi utilizado, no segundo ensaio GME + BHT (0,1 %); no terceiro ensaio GME + em pó (15 %) (T4 do tratamento do ensaio de torra), e no quarto ensaio GME + extrato hidroalcóolico de T4 (15 %). Para realização deste último, foi calculado 15% do peso total de GME que seria utilizado neste tratamento e feito o extrato a partir desta quantidade. Em termos práticos, para 15 kg de GME foi feito o extrato de 2,25 kg de milho torrado (o que totalizou em 17,601 L de extrato). Apenas um lote de gérmen de milho foi utilizado em cada ensaio.

A adição do butil hidroxitolueno (BHT), um antioxidante sintético, foi calculada respeitando a Resolução da diretoria colegiada – RDC N° 60, de 5 de setembro de 2007, que

para farinhas de trigo acondicionadas (farinha de trigo com adição de aditivos): estabelece um limite máximo de 0,01 g 100 g⁻¹ ou g 100 mL⁻¹ sobre o teor de gordura. Para aplicação do BHT, este foi diluído em etanol. Sendo que, para 5 kg de GME foi adicionado 0,049 g de BHT diluído em 500 mL de etanol.

O extrato de milho integral torrado (T4 do ensaio de torra) foi elaborado de acordo com a metodologia adaptada de Wronkowska *et al.* (2010). O T4 foi moído (moinho de rotor tipo ciclone, Tecnal, TE-651/2, Piracicaba, Brasil), pesado e diluído com etanol 80 %, na proporção de 1/10 (p/v), logo após foi homogeneizado em agitador mecânico (Tecnal, TE-139, Piracicaba, Brasil) por 2 h e centrifugado por 15 min em 4500 rpm. Os extratos foram armazenados em frascos de vidro âmbar sob refrigeração a 5 °C ± 1 °C até a sua utilização.

As amostras de cada ensaio isolado foram igualmente acondicionadas em embalagem laminada metalizada a vácuo. Os ensaios de armazenamento foram realizados em diferentes períodos do ano (março a julho de 2023), por 60 dias em câmaras incubadoras tipo B.O.D sendo submetidos a três temperaturas, sendo 20, 30 e 40 °C. Quinzenalmente foram realizadas determinações do teor de malonaldeído (TBARS).

2.5 Análises físicas e químicas

Para as determinações de compostos fenólicos totais (CFT), FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) e DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) foram elaborados extratos metanólicos, de acordo com a metodologia adaptada de Wronkowska *et al.* (2010). Para tanto, a matéria-prima foi pesada e diluída com metanol 80 %, na proporção de 1/10 p/v, logo após agitou-se por meio de um agitador magnético (Tecnal, TE-0851, Piracicaba, Brasil) por 2 h e centrifugou-se por 15 min em 4500 rpm. Os extratos foram armazenados em frascos âmbar sob refrigeração.

2.5.1 Compostos fenólicos totais (CFT)

A quantificação de compostos fenólicos totais (CFT) foi realizada pela metodologia de Larrauri, Rupérez e Saura-Calixto (1997), com modificações. Os reagentes utilizados foram ácido gálico, etanol, reagente de Folin-Ciocalteu 10 % e solução de carbonato de sódio 4 %. A leitura foi realizada em espectrofotômetro (Bel Spectro, S-2000, Piracicaba, Brasil), com um

comprimento de onda de 750 nm. Uma curva padrão de ácido gálico (0 a 100 µg.mL⁻¹) foi construída, e o resultado foi expresso em mg de ácido gálico por 100 g de produto.

2.5.2 Atividade antioxidante por FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma)

A atividade antioxidante pelo método FRAP, que considera que o potencial antioxidante promove a redução do íon férrico (Fe⁺³) ao íon ferroso (Fe⁺²), foi realizada de acordo com o método descrito por Rufino et al. (2006), com modificações. Espectrofotômetro (Bel Spectro, S-2000, Piracicaba, Brasil) foi utilizado, e a leitura foi realizada a 595 nm. Para obter a curva padrão, foi utilizada solução de sulfato ferroso 2 mM (500-2000 µM) e os resultados foram expressos como µmol de sulfato ferroso por g de produto.

2.5.3 DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

A atividade antioxidante por DPPH foi avaliada de acordo com metodologia de Brand-Williams *et al.* (1995) e citada por Beta *et al.* (2005). Na sua forma radical, o DPPH absorve a 515 nm, mas ao ser reduzido por uma espécie antioxidante, a absorção desaparece. O extrato (0,1 mL) foi reagido com 3,9 mL de 6×10⁻⁵ mol/L de solução de DPPH (2,4 mg de DPPH em 100 mL de metanol). Absorbância (A) a 515 nm foi determinado em 0 e 30 min. Metanol foi utilizado como branco. A atividade antioxidante foi calculada de acordo com a equação 1.

$$\% \text{ de descoloração} = \left(1 - \left(\frac{A \text{ de amostra}_{t=30}}{A \text{ de controle}_{t=0}} \right) \right) \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

2.5.4 Composição centesimal

A análise da composição proximal do gérmen de milho integral cru antes da autoclavagem foi realizada de acordo com os métodos propostos pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2016). As amostras foram moídas e peneiradas (35 *mesh*) antes do início das determinações. O teor de umidade foi determinado pelo método gravimétrico em estufa à 105 °C, até peso constante (método 925.09-1925); as cinzas por gravimetria de incineração, em forno mufla a 550 °C (método 923.03-1923); o nitrogênio total pelo método de Micro-Kjeldahl, convertido em proteína bruta usando o fator de conversão de 6,25 (método

920.87-1920); o teor de lipídios pelo método de Soxhlet, usando éter de petróleo p.a. como solvente (método 920.39-1920); e a fibra alimentar total por processo de digestão enzimática, filtração e pesagem (método 985.29). O teor de carboidratos totais e carboidratos disponíveis foram calculados por diferença (Equação 2 e 3 respectivamente), e o valor energético foi estimado pelos coeficientes de ATWATER (MERRIL; WATT, 1973), acrescido do valor energético para fibra alimentar (carboidratos disponíveis = 4,0 kcal g⁻¹; lipídeos = 9,0 kcal g⁻¹; proteínas = 4,0 kcal g⁻¹; fibra alimentar total = 2,0 kcal g⁻¹) (FAO, 2003).

$$\text{Carboidratos totais} = 100 - (\text{umidade} + \text{cinzas} + \text{proteínas} + \text{lipídios}). \quad (\text{Equação 2})$$

$$\text{Carboidratos disponíveis} = 100 - (\text{umidade} + \text{cinzas} + \text{proteínas} + \text{lipídios} + \text{fibra alimentar total}) \quad (\text{Equação 3})$$

2.5.5 Potencial hidrogeniônico (pH) e atividade de água (Aw)

O pH foi determinado com potenciômetro (Tecnal, R-TEC-3P-MP, Piracicaba, Brasil) previamente calibrado com solução tampão pH 4,0 e pH 7,0, com inserção do eletrodo em 10 g de amostra diluída em 100 mL de água destilada. Enquanto, a atividade de água (Aw), foi determinado no AquaLab digital (Decagon Devices, Series 3-TE, Pulman, EUA) à temperatura constante de 25 °C, ambos de acordo com as metodologias propostas pela AOAC (2016).

2.5.6 Cor instrumental

Os parâmetros instrumentais de cor das farinhas foram determinados em colorímetro (Konica Minolta, Bankinh Meter, BC-10, Ramsey, USA), calibrado em superfície de porcelana branca. Os resultados foram expressos em L*, a* e b*, onde os valores de L* (luminosidade ou brilho) podem variar do preto (0) ao branco (100), os de cromaticidade a* do verde (-60) ao vermelho (+60) e os de cromaticidade b* do azul (-60) ao amarelo (+60). Os parâmetros de cor a* e b* foram utilizados para calcular o índice de saturação ou Chroma (C*) e do ângulo Hue (H°) ou tonalidade (Equações 3 e 4) (MCGUIRE, 1992).

$$C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad (\text{Equação 4})$$

$$H^{\circ} = \tan^{-1} \left(\frac{b^{*}}{a^{*}} \right) \quad (\text{Equação 5})$$

Nas quais: C^{*} = cromaticidade (saturação da cor), H° = ângulo Hue (tonalidade ou matriz), 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.

2.5.7 Teor de substâncias reativas ao Ácido 2-tiobarbitúrico (TBARS)

O teor de TBARS foi determinado de acordo com a metodologia de Zhao et al. (2022), com modificações. Para extração da amostra, pesou-se 5 g e adicionou-se 50 mL de ácido tricloroacético (7,5 %), em seguida a mistura foi homogeneizada em agitador magnético por 60 min, e ao final foi filtrada em papel filtro Whatman, e armazenada em frasco de vidro âmbar. Logo após, 2 mL do filtrado foi misturado com 2 mL de ácido tiobarbitúrico (0,02 mol L⁻¹), a mistura foi aquecida em banho maria a 90 °C por 30 min, depois foi mantida em temperatura ambiente de 25 °C por 30 min, e por fim, a absorbância foi medida a 532 nm. A curva padrão foi preparada usando 1,1,3,3- tetrametoxipropano em concentrações na faixa de 0,00 – 0,30 µg mL⁻¹. Os resultados foram expressos em mg de malondialdeído por kg de amostra.

2.6 Análise estatística

Os dados foram avaliados por ANOVA fatorial ou ANOVA One way, e as médias foram comparadas pelo teste Tukey ao nível de significância de 5 % ($p \leq 0,05$), utilizando o software Statistica (Statsoft Inc., Statistica 14.0, Tulsa, EUA). Para os ensaios de estabilidade oxidativa, os modelos matemáticos foram obtidos por análise de regressão ($p > 0,05$), e os gráficos foram elaborados no software Excel (Microsoft, excel 16, Redmond, EUA), para visualização do comportamento durante o armazenamento em cada ensaio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do gérmen de milho integral antes da autoclavagem

O teor de umidade é um parâmetro crítico e comumente utilizado na análise de alimentos para determinar a composição, qualidade e estabilidade do produto. É possível compreender e direcionar as condições de produção, embalagem e armazenamento dos produtos através da determinação do teor de umidade. Não há critérios de identidade e qualidade para a farinha de gérmen de milho na legislação brasileira, apenas para farinha de trigo, porém, conforme orientação normativa, o teor de umidade não deve ultrapassar 15 % (BRASIL, 2005). Considerando este cenário, a farinha do GMI se adequou ao padrão estabelecido para a farinha de trigo, pois apresentou 11,38 g de umidade por 100 g⁻¹ de amostra (Tabela 1).

Tabela 1- Composição centesimal (em base úmida) do gérmen integral de milho antes da autoclavagem (valores médios seguidos dos desvios-padrão)

Componente ou característica	Teores
Umidade ¹	11,38 ± 0,11
Cinzas ¹	2,96 ± 0,02
Lipídios ¹	11,01 ± 0,08
Proteína ¹	6,83 ± 0,12
Fibra alimentar total ¹	10,44 ± 0,001
Carboidratos totais ¹	67,82 ± 0,091
Carboidratos disponíveis ¹	57,38 ± 0,184
Valor energético total ²	377,81 ± 0,915
pH ³	6,15 ± 0,005
Atividade de água ³	0,65 ± 0,012
Fenólicos totais ⁴	627,93 ± 16,711

¹ g 100 g⁻¹; ² Kcal 100 g⁻¹; ³ adimensional; ⁴ mg 100 g⁻¹; ⁵ μmol FeSO₄ g⁻¹; ⁶ % descoloração

Em uma revisão sobre gérmen de cereais, Wang et al. (2021) relataram um valor médio de umidade de 11,57 g 100 g⁻¹ para o gérmen de milho, valor semelhante ao determinado neste trabalho. Cinzas são resíduos inorgânicos representados por sais minerais, que permanecem após a queima completa da matéria orgânica. O teor de cinzas pode ser

importante do ponto de vista nutricional, toxicológico e de qualidade dos alimentos. E em alimentos ricos em lipídios, altos níveis de metais de transição podem acelerar o ranço e limitar o prazo de validade dos mesmos (HARRIS; MARSHALL, 2017). Nesta pesquisa foi determinado um teor médio de cinzas de 2,96 g 100 g⁻¹ para o gérmen de milho (Tabela 1), abaixo do valor de 4,65 g 100 g⁻¹, reportado por Sakač et al. (2019) para o gérmen de trigo desengordurado, provavelmente devido a alteração da proporção dos nutrientes ocasionada pela remoção parcial dos lipídeos.

Em gérmen com pericarpo de milho, Castro et al. (2011) observaram um valor de 3,54 g 100 g⁻¹ no teor de cinzas, teor também mais elevado ao encontrado neste trabalho, explicado pela mesma razão apontada para o gérmen de trigo desengordurado.

O gérmen de milho integral concentra quase a totalidade dos lipídios do grão de milho, e neste estudo foi determinado um teor de 11,01 g 100 g⁻¹ de lipídios (Tabela 1). Os gérmenes de cereais possuem uma grande quantidade de ácidos graxos poli-insaturados, o que os torna boa fonte de gordura de qualidade (WANG et al., 2021). Os ácidos graxos do gérmen de milho são compostos por ácido palmítico (11,57 g 100 g⁻¹); ácido esteárico (2,89 g 100 g⁻¹); ácido oleico (29,45 g 100 g⁻¹) e ácido linoleico (54,31 g 100 g⁻¹), considerado essencial (ômega 6) (FÄRÇAŞ et al., 2022). Os lipídios encontrados nos gérmenes de cereais podem dissolver substâncias bioativas (como tocoferóis e carotenoides), bem como compostos aromatizantes, como aldeídos voláteis (GHAFOOR et al., 2017; ZHANG et al., 2020). O gérmen de milho integral retém mais nutrientes do que gérmenes desengordurados. Os lipídios, particularmente os lipídios insaturados e os monoacilglicerídeos, podem complexar-se com a amilose para formar novos amidos resistentes, que têm o potencial para prevenir o câncer de cólon, regular o metabolismo da glicose no sangue e promover a absorção de Ca²⁺ e Fe³⁺ (OKUMUS et al., 2018). Portanto, a utilização do gérmen de milho integral adequadamente estabilizado como ingrediente de alimentos formulados é vantajosa em relação ao gérmen de milho desengordurado em relação aos aspectos tecnológico, nutricional e funcional.

Em um microambiente de processamento térmico de alta umidade, a interação entre lipídios e proteínas estabiliza a estrutura fibrosa das proteínas e impede que estas se expandam e se agreguem. Isso acontece, porque essa interação acelera a formação de complexos proteína-lipídio na superfície das proteínas (WANG et al., 2021). Outro aspecto importante a respeito das moléculas de proteína, é que estas interferem diretamente nas propriedades de pasta da farinha, pois juntamente com o amido elas formam uma rede de

ligações, responsável pela maior capacidade de retenção de água (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016).

O teor médio de proteína determinado no presente estudo foi de 6,83 g 100 g⁻¹ (Tabela 1), menor em comparação com o obtido por Froes et al. (2012), que reportaram um valor médio de 11,65 g 100 g⁻¹ para o gérmen com pericarpo de milho desengordurado, pois nestes a concentração de proteínas se torna mais concentrada.

A proteína dos cereais é rica em aminoácidos sulfurados (PIRES et al., 2006), sendo importante ser inserida em alimentos formulados para consumidores com necessidades especiais, como veganos, vegetarianos e intolerantes, que normalmente consomem alimentos formulados com *pulses*, cujo perfil de aminoácidos é rico em lisina e pobre em metionina e treonina (BARBOSA et al., 2023), melhorando o *score* de aminoácidos do produto.

O teor médio de fibra alimentar total determinado para o gérmen de milho integral neste trabalho foi de 10,44 g 100 g⁻¹ (Tabela 1), maior que o do gérmen de arroz de 7,0 g 100 g⁻¹ (RONDANELLI et al., 2019). De acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (NEPA - UNICAMP, 2011), a farinha de trigo deve apresentar 2,3 g 100 g⁻¹ de fibra alimentar total. Neste contexto, o gérmen de milho integral na forma de farinha é nutricionalmente superior ao gérmen de arroz e farinha de trigo. Apesar dos benefícios das fibras para a saúde, relacionados com parâmetros metabólicos, composição da microbiota e síntese de metabolitos, a ingestão de fibras permanece baixa nos países ocidentais, tornando a fortificação de alimentos com fibras um foco na indústria alimentar (MARTÍNEZ et al., 2021). Visto isto, a utilização do gérmen de milho integral, desde que estabilizado, em produtos alimentares com o propósito de substituir parcialmente a farinha de trigo e de enriquecimento do teor de fibras, se mostra uma área promissora.

Os carboidratos são um grupo de compostos orgânicos que inclui açúcares, amidos e fibras. Segundo Heenan et al. (2012), a quantidade de carboidratos em produtos cereais pode influenciar as propriedades físicas, principalmente afetando a textura. Nas condições do presente estudo, foi encontrado um valor de 67,82 g 100 g⁻¹ de carboidratos totais (Tabela 1), valor superior ao reportado por Froes et al. (2012) de 39,09 g 100 g⁻¹ de carboidratos presentes no gérmen com pericarpo de milho desengordurado.

Em relação ao valor energético total, foi observado um valor de 377,81 kcal 100 g⁻¹, resultado este superior ao encontrado para o gérmen com pericarpo de milho, que obteve valor de 327 kcal, segundo dados de Castro et al. (2011).

Os valores médios determinados para A_w e pH foram de 0,65 e 6,15, respectivamente (Tabela 1). Sousa et al. (2019) reportaram valores médios de pH semelhantes para frações de farelo de milho, sendo que para granulometria de 0,5 mm (35 *mesh*) o valor encontrado foi de 6,04. A_w e pH são críticos para a qualidade e durabilidade dos alimentos, pois estão intimamente relacionados com o desenvolvimento microbiano. A A_w exprime indiretamente o grau de ligação da água na matriz do alimento, bem como a capacidade de atuar como solvente e participar de reações químicas. As bactérias precisam de um valor de A_w de pelo menos 0,91 para crescer, enquanto os fungos precisam de pelo menos 0,7. Os microrganismos não sobrevivem com A_w inferior a 0,6. Portanto, os alimentos que possuem esta condição são considerados microbiologicamente estáveis (JAYAWARDANA et al., 2021).

3.2 Ensaio de torrefação dos grãos de canjica e milho

Os grãos de milho integral *in natura* antes de passarem pelo processo de torra apresentaram teor médio de CFT de 316,29 mg 100 g⁻¹, e valores médios de atividade antioxidante por FRAP de 9,35 $\mu\text{mol FeSO}_4$ g⁻¹ e por DPPH de 28,51 % de descoloração, enquanto T4 (milho integral e maior grau de torra) obteve os maiores resultados para CFT e atividade antioxidante (Tabela 2, Apêndice 1), com elevação em relação aos grãos milho integral *in natura* de 174,37 % de CFT, 33,37 % de atividade antioxidante por FRAP e 211,61 % por DPPH. O que indicou seu potencial de utilização como antioxidante natural. A utilização dos fenólicos como antioxidantes ocorre devido à inativação de radicais livres, isso acontece pela transferência de um elétron de hidrogênio para o radical livre ($R\bullet$), resultando na produção de um radical inativo ($ArO\bullet$) (LEOPOLDINI; RUSSO; TOSCANO, 2011).

Quanto maior o grau ou intensidade de torra de ambas as matérias-primas, maiores foram o teor de CFT e a atividade antioxidante, tanto pelo método FRAP, como pelo DPPH ($p \leq 0,05$) (Tabela 2). Durante a torrefação, os grãos sofrem alterações físicas e químicas, a forma como as propriedades dos grãos são influenciadas, como valor nutricional, sabor, aroma e cor, em função do tempo de exposição ao calor e da temperatura a que são submetidos (GARCIA et al., 2019). Esta tendência verificada no presente estudo é corroborada com as observações de Aung, Kim e Kim (2022), que identificaram no extrato de trigo torrado, valores aumentados de CFT em temperaturas de torra mais altas por períodos mais longos. Em seus testes, o valor de fenólicos aumentou de 0,93 mg GE g⁻¹ quando o trigo foi torrado a 160 °C por 1,7 min a 2,05 mg GE g⁻¹ quando o trigo foi torrado a 180 °C por 50 min.

Tabela 2 – Compostos fenólicos totais (CFT) e atividade antioxidante (pelos métodos FRAP e DPPH) de grãos de milho integral e degerminado (canjica) submetido a diferentes condições de torra

Tratamento	CFT ¹	FRAP ²	DPPH ³
T1 (canjica e < grau de torra)	392,86 ± 17,61 ^b	6,26 ± 0,35 ^b	70,92 ± 1,58 ^d
T2 (canjica e > grau de torra)	862,81 ± 38,64 ^a	11,50 ± 0,47 ^a	83,0 ± 0,55 ^b
T3 (milho e < grau de torra)	355,28 ± 12,31 ^b	7,59 ± 0,33 ^b	73,51 ± 1,77 ^c
T4 (milho e > grau de torra)	867,81 ± 46,49 ^a	12,47 ± 0,35 ^a	88,84 ± 0,27 ^a

T1 - canjica torrada durante 10 min com temperatura final do cilindro e da fornalha de 200 e 450 °C, respectivamente, T2 - canjica torrada durante 10 min com temperatura final do cilindro e da fornalha de 202 e 460 °C, respectivamente, T3 – grãos de milho integral torrado durante 9 min e 10 s com temperatura final do cilindro e da fornalha de 188 e 436 °C, respectivamente, T4 - grãos de milho integral torrado durante 10 min com temperatura final do cilindro e da fornalha de 193 e 443 °C, respectivamente. ¹ mg 100 g⁻¹; ² μmol FeSO₄ g⁻¹; ³ % descoloração

Conforme esses autores, o aumento nos teores de compostos fenólicos é devido provavelmente à destruição da estrutura celular, liberando durante a torração compostos fenólicos e flavonoides. A oxidação e a degradação térmica dos compostos fenólicos levam ao aumento de compostos fenólicos simples que podem ser extraídos. Estes componentes menores podem interagir com amido/proteína através de aprisionamento físico e interações não covalentes, promovendo mudanças que influenciam nas funcionalidades da farinha de cereal torrada. Além disso, atividade antidiabética e anti-inflamatória, entre outras funções fisiológicas podem ser atribuídas a estes fenólicos (LI et al., 2023).

Em outra pesquisa, realizada sob diferentes condições de torrefação do milho, Woo et al. (2017) reportaram que as concentrações de polifenóis totais e flavonoides totais no milho torrado aumentaram com a temperatura mais elevada e com o tempo de torra mais longo, resultando em atividade antioxidante mais forte. E explicaram que isso se deve aos efeitos de baixa molecularização do processo de aquecimento, que resultou em componentes de baixo peso molecular, que foram devidamente extraídos.

Ao realizar a análise de poder antioxidante de redução do ferro - FRAP, também foi constatado um aumento na atividade antioxidante no grau maior de torração. Para a canjica de milho, este aumento foi de aproximadamente 81 %, enquanto que para o milho o aumento foi de aproximadamente 69 % (Tabela 2). A depender da temperatura utilizada em processamentos térmicos, ocorre a indução da reação de Maillard, processo de escurecimento não enzimático caracterizado pela reação inicial de condensação entre amino grupo de

aminoácidos, peptídeos e proteínas, com o grupo carbonila de açúcares redutores (BERTRAND et al., 2018). Esta reação gera alguns produtos que apresentam atividade antioxidante, o que pode contribuir para uma melhor estabilidade oxidativa (WANG et al., 2021). Porém é importante ressaltar que há muitos debates científicos acerca da toxicidade destes produtos, principalmente em relação a acrilamida.

Ao observar a atividade antioxidante por DPPH, avaliada por meio da porcentagem de descoloração, também foi verificado que os maiores graus de torra dos coprodutos obtiveram os maiores valores, indicando uma atividade antioxidante mais elevada. Para a canjica de milho, houve um aumento de aproximadamente 17,61 % quando a torra foi mais elevada, por outro lado, o grão de milho integral obteve um aumento de aproximadamente 21,37 %. Os valores variaram de 70,92 a 88,84%, para efeitos comparativos, o maior valor de atividade antioxidante, encontrado em frações de trigo, foi de 26 % de descoloração em DPPH (BETA et al., 2005).

Em um estudo sobre a torrefação de arroz preto em micro-ondas, Arora et al. (2021) variaram a potência do equipamento e o tempo de torra (300–900 W, 0–15 min), foi verificado que a capacidade de eliminação de radicais livres, representada pela % de descoloração em DPPH, aumentou significativamente, na faixa de 77,51 a 87,15 % para amostras torradas em diferentes potências e tempos. Os autores argumentaram que este aumento pode ser devido à síntese de peróxidos e melanóides por escurecimento não enzimático. E concluíram que torrar grãos de arroz preto, parece ser uma técnica vantajosa do ponto de vista de aumento da atividade antioxidante.

O tipo de material torrado não alterou significamente ($p > 0,05$) o teor de CFT e a atividade antioxidante pelo método FRAP, mas afetou a atividade antioxidante pelo método DPPH ($p \leq 0,05$), o maior valor foi determinado após torra mais intensa dos grãos de milho integral (T4), e o menor na canjica torrada com o menor grau de torra (T1) (Tabela 2). Um aumento na canjica de milho de aproximadamente 116 % do conteúdo fenólico foi observado (862,81 mg 100 g⁻¹), quando comparados o maior grau de torra com o menor, enquanto para o grão de milho (867,81 mg 100 g⁻¹), houve um aumento de aproximadamente 144 % (Tabela 2). O que pode ser explicado pelo fato da canjica de milho passar pelo processo de degerminação, com remoção das camadas externas dos grãos (farelo) e gérmen, ricas em fibras alimentares, como celulose, hemicelulose e lignina. A fibra de milho é considerada uma rica fonte fibra alimentar, e de substâncias antioxidantes, dentre as quais se destaca o ácido ferúlico, como sendo um potente antioxidante (BAUER et al., 2013).

Dentre as matérias-primas analisadas nesta pesquisa, o milho integral se destacou com os maiores aumentos em compostos fenólicos e atividade antioxidante por DPPH, optou-se pela escolha do milho torrado em seu maior grau de torra, para condução do experimento de estabilidade oxidativa realizado com o gérmen de milho integral autoclavado sob vapor direto.

A cor é um importante atributo em alimentos torrados, como avelãs torradas, grãos de café, sementes de gergelim e pistache, podendo ser utilizada como controle de qualidade, sendo um indicador durante os processos de torra (CHUNG; CHUNG; YOUN, 2011). Portanto, a cor também é importante para o grão de milho e canjica torrados, se for utilizado como ingrediente para a aceitação dos alimentos formulados. Para a luminosidade (L^*), cujos valores podem variar do preto (0) ao branco (100), constatou-se, como o esperado, que quanto maior o grau de torra de ambos os coprodutos, menor foi o valor de L^* , que representa maior escurecimento, enquanto L^* da canjica foi maior ($p \leq 0,05$) que o do milho apenas na condição de torragem mais branda, mais claro (Tabela 3, Figura 1).

O escurecimento que ocorre durante a torrefação de cereais no forno, refletido pela redução da luminosidade está associado à reação de Maillard, que é uma reação química entre aminoácidos e açúcares redutores que produz pigmentos marrons, bem como a degradação de carotenoides. Além disso, as alterações de cor também estão associadas aos produtos de condensação entre as antocianidinas e a o-quinona, que são catalisados pela polifenol oxidase (LI et al., 2023).

Em relação às coordenadas de cromaticidade a^* e b^* não houve variação significativa ($p > 0,05$) entre os tratamentos, e os valores médios variaram entre 8,75 e 7,22, e 13,31 a 19,27, respectivamente (Tabela 3). Entretanto, para ambos produtos, houve uma diminuição dos valores de C^* e H° com o aumento do grau de torra. Isso indica que a cor da canjica de milho torrada e os grãos de milho integral torrados se tornou menos saturada e mais avermelhadas à medida que o grau de torra aumentou. A vermelhidão dos produtos torrados aumenta à medida que a temperatura aumenta para todos os materiais amarelos, podendo estas mudanças estar associadas às reações de Maillard (NG et al., 2014).

O ângulo de tonalidade (H°) começa no eixo $+a^*$, e se movimenta em sentido anti-horário. É expresso em graus (por exemplo, 0° é vermelho puro e 90° é amarelo puro). Em seu menor grau de torra, os valores de C^* e H° da canjica de milho e dos grãos integrais de milho diferiram significativamente ($p > 0,05$), o mesmo aconteceu para o maior grau de torra. Os valores indicam que a tonalidade da canjica de milho torrada e do milho torrado se mantém na faixa do marrom escuro em todos os graus de torra, assim como acontece com

outros grãos torrados. Segundo Sruthi et al. (2021), a torrefação reduz a atividade de água do produto, levando a formação de pigmentos chamados melanoidinas. Esses pigmentos conferem uma cor marrom característica.

Tabela 3 – Parâmetros instrumentais de cor de grãos de milho integral e degerminado (canjica) submetido a diferentes condições de torra

Tratamento	Luminosidade	a*	b*	Croma	Ângulo Hue
T1	60,34 ± 1,07 ^a	8,75 ± 0,31	19,27 ± 0,64	20,61 ± 0,65 ^a	1,14 ± 0,01 ^a
T2	50,94 ± 0,37 ^c	8,29 ± 0,19	15,02 ± 0,33	16,24 ± 0,36 ^{bc}	1,05 ± 0,01 ^b
T3	57,13 ± 0,72 ^b	7,31 ± 0,17	15,67 ± 0,42	17,38 ± 0,44 ^b	1,13 ± 0,01 ^a
T4	49,74 ± 0,41 ^c	7,22 ± 0,18	13,31 ± 0,49	15,20 ± 0,49 ^c	1,06 ± 0,01 ^b

T1 - canjica torrada durante 10 min com temperatura final do cilindro e da fornalha de 200 e 450 °C, respectivamente, T2 - canjica torrada durante 10 min com temperatura final do cilindro e da fornalha de 202 e 460 °C, respectivamente, T3 - grãos de milho integral torrado durante 9 min e 10 s com temperatura final do cilindro e da fornalha de 188 e 436 °C, respectivamente, T4 - grãos de milho integral torrado durante 10 min com temperatura final do cilindro e da fornalha de 193 e 443 °C, respectivamente.



Figura 1 - Canjica de milho torrada (em cima) e milho integral torrado (em baixo). Antes da moagem (esquerda) e após a moagem (direita).

3.3 Ensaios de armazenamento

A aparência de cada produto no início de cada ensaio pode ser visualizada na figura 2. O gérmen de milho integral (não desengordurado) (GMI) utilizado em todos os ensaios de

armazenamento foi autoclavado previamente, gerando o gérmen de milho integral estabilizado (GME). Ao estudar a desfitinização de farelos de trigo e arroz por processo de autoclavagem, Özkaya et al. (2017) relataram que o tratamento térmico usando autoclave é altamente eficaz na redução do teor de ácido fítico em amostras de farelo de trigo e arroz. Também mencionaram que a autoclavagem em diferentes níveis de pH e tempos de retenção pode melhorar as propriedades funcionais e nutricionais das amostras de farelo, como aumentar o conteúdo total de fibra alimentar, o conteúdo fenólico total e a atividade antioxidante.

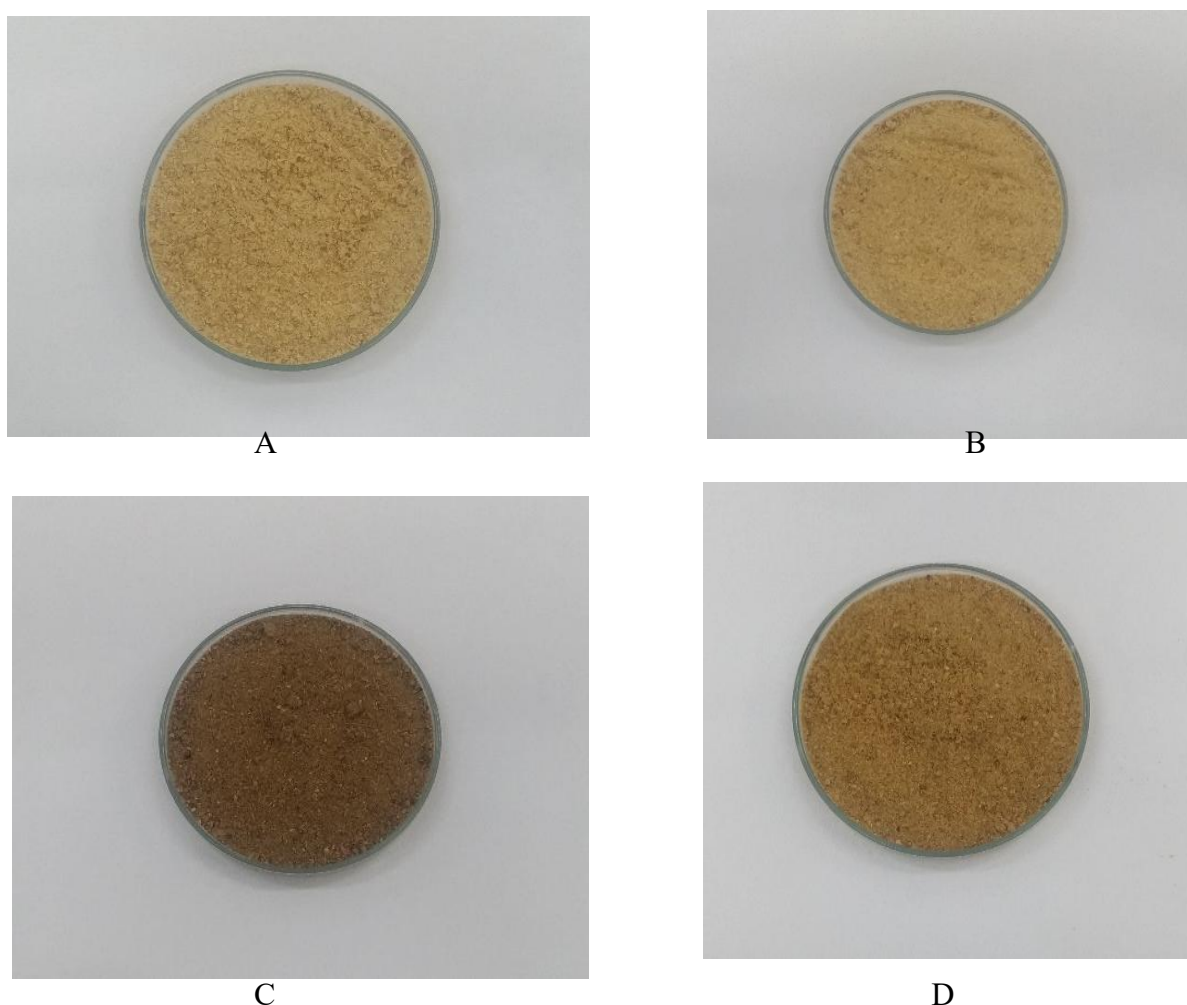


Figura 2 – Gérmen de milho autoclavado com vapor direto (GME) usado no primeiro ensaio de estabilidade (A), GME + BHT (B) usado no segundo ensaio, GME + milho torrado em pó (C) usado no terceiro ensaio, e GME + extrato de milho torrado (D) usado no quarto ensaio.

Após a autoclavagem do GMI sob vapor direto, o GME apresentou valores médios de CFT de 1.149,12 mg 100 g⁻¹, e valores médios de atividade antioxidante por FRAP de 37,71 μ mol FeSO₄ g⁻¹ e por DPPH de 74,19 % de descoloração. Comparado com o teor médio de

CFT do GMI (Tabela 1), verificou-se uma elevação de 83 %. O que indica que o tratamento térmico do GMI em autoclave sob vapor direto é capaz de elevar significativamente o teor de CFT, que estão diretamente ligados ao aumento da capacidade antioxidante do produto (WOO et al., 2017). Assim como ocorre na torra, o tratamento de autoclagaem sob vapor direto é eficaz para aumentar os teores de compostos fenólicos, devido provavelmente à destruição da estrutura celular, liberando durante a torração compostos fenólicos e flavonoides (AUNG; KIM; KIM, 2022). O que pode explicar a relatia estabilidade oxidativa do GME puro durante o armazenamento.

A oxidação lipídica é um dos problemas que causa degradação do aroma e encurta a vida útil de produtos alimentares. Em relação à saúde humana, os produtos formados através da oxidação podem desencadear doenças cancerígenas, colesterol e problemas cardíacos (TERRA; CICHOSKI; FREITAS, 2006). Em seu estudo Freire; Filho e Ferreira (2013) relatam que os compostos gerados pela oxidação lipídica possivelmente podem impedir ou retardar a atividade da lipase pancreática na hidrólise de triacilgliceróis não oxidados, resultando em uma redução significativa na digestibilidade com o aumento dos compostos poliméricos. Os valores médios do teor de malonaldeído e pH dos gérmens de milho autoclavados em vapor direto com e sem adição dos antioxidantes sintético e naturais estão apresentadas nas tabelas suplementares 1 a 4.

O método de reação de substâncias ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) é um dos métodos mais utilizados para avaliar o grau de oxidação dos alimentos. Este se baseia na quantificação do malonaldeído (MDA), formado durante o processo oxidativo a partir da decomposição dos hidroperóxidos dos ácidos graxos poli-insaturados (DE LIMA JÚNIOR et al., 2013). Segundo Terra; Cichoski e Freitas (2006), a comunidade científica tem-se concentrado no estudo do aldeído malônico e outros produtos de oxidação lipídica devido à sua potencial ligação à formação de câncer, sendo que leituras de TBARS superiores a 1,59 mg de aldeído malônico por kg de amostra de alimento podem ser prejudiciais à saúde, valor que não foi atingido durante o armazenamento em diferentes temperaturas do GME, adicionados ou não de antioxidantes neste estudo.

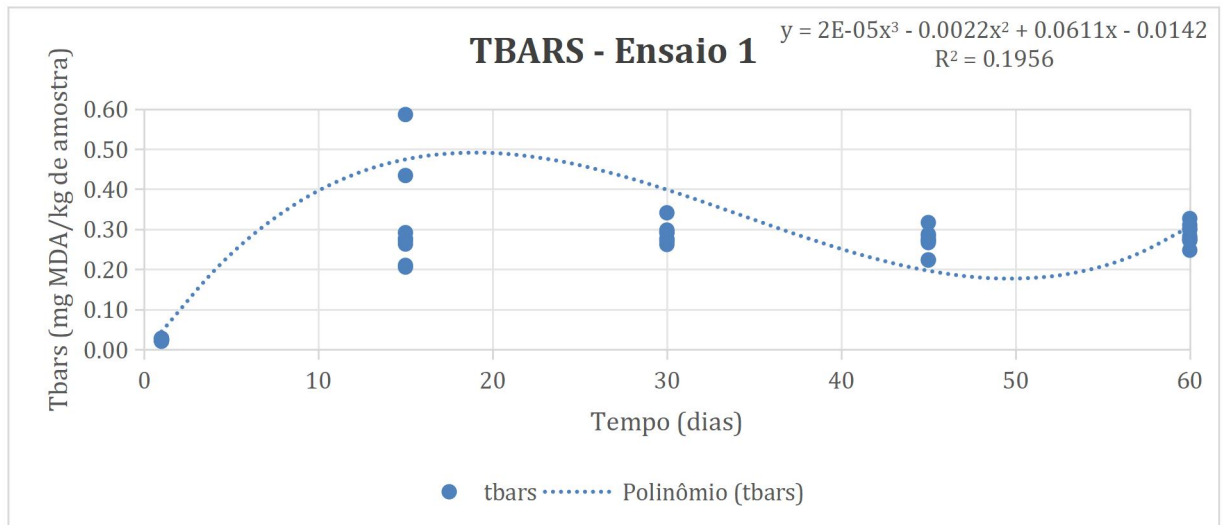
Todos os modelos de regressão ajustados para TBARS foram cúbicos e significativos, exceto para a temperatura de armazenamento de 40 °C, cujo modelo não foi significativo (Tabelas suplementares 6 a 8). A variação de valores de TBARS neste estudo foram de 0,024 a 0,51 mg de malonaldeído/kg de amostra, considerando os 4 ensaios de armazenamento (Tabelas suplementares 1 a 4). Em um estudo com formulações de pães com adição da farinha

da castanha de munguba, Freires (2022) demonstrou que os resultados da análise de TBARS variaram de 0,021 a 0,031mg de MA/Kg, sendo que durante o armazenamento dos pães, destaca-se que no último dia (6º dia), houve uma redução significativa nos valores de TBARS, de forma semelhante ao ocorrido no presente estudo, onde primeiramente se observou uma elevação dos valores seguida de decréscimo (Figuras 3 e 4).

Para o GME puro (sem adição de antioxidantes) os valores de TBARS oscilaram entre 0,024 e 0,510 mg de malonaldeído por kg de amostra (Tabela suplementar 1, Figura 3A), para GME + BHT entre 0,037 e 0,400 mg de malonaldeído por kg de amostra (Tabela suplementar 2; Figura 3B), para GME + milho torrado T4 em pó de 0,213 a 0,347 mg de malonaldeído por kg de amostra (Tabela suplementar 3; Figura 4A), e para GME + Extrato de milho torrado T4 de 0,103 a 0,267 mg de malonaldeído por kg de amostra (Tabela suplementar 4; Figura 4B).

Para o GME (ensaio 1 de estabilização) a análise de variância fatorial (Apêndice 2) indicou que apenas o tempo foi significativo ($p \leq 0,05$), enquanto o efeito da temperatura e da interação temperatura x tempo não foram significativos ($p > 0,05$) para TBARS. No gráfico observou-se que os valores de TBARS aumentaram até 15 dias no gérmen de milho sem antioxidante, em seguida houve um declínio até 45 dias, e depois se manteve em valores estáveis com uma ligeira subida em 60 dias (Figura 3A). Para o GME + BHT (ensaio 2 de estabilidade) também somente o efeito do tempo foi significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p \leq 0,01$), para TBARS, sendo que houve uma subida dos valores até 15 dias e posteriormente estabilização com ligeira redução (Figura 3B). A mesma influencia foi verificada em relação ao GME + milho torrado em pó (ensaio 3 de estabilidade), pois somente o efeito do tempo foi significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p \leq 0,01$) para TBARS. De acordo com os valores obtidos, houve uma leve subida até 15 dias, estabilização até 30 dias e posterior tendência a queda até 60 dias (Figura 4A). Por fim, para o GME + extrato de milho torrado (ensaio 4 de estabilidade) o tempo e a temperatura foram significativos para TBARS ($p \leq 0,01$). Observou-se que os valores de TBARS aumentaram até 15 dias, obtiveram uma queda brusca até 45 dias com posterior estabilização (Figura 4B).

A



B

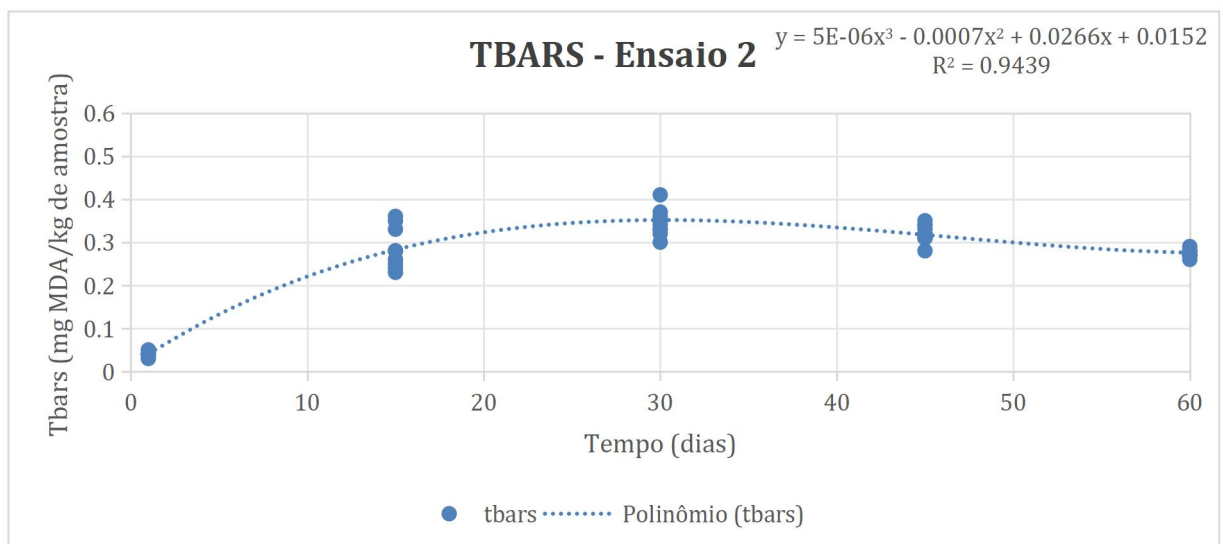
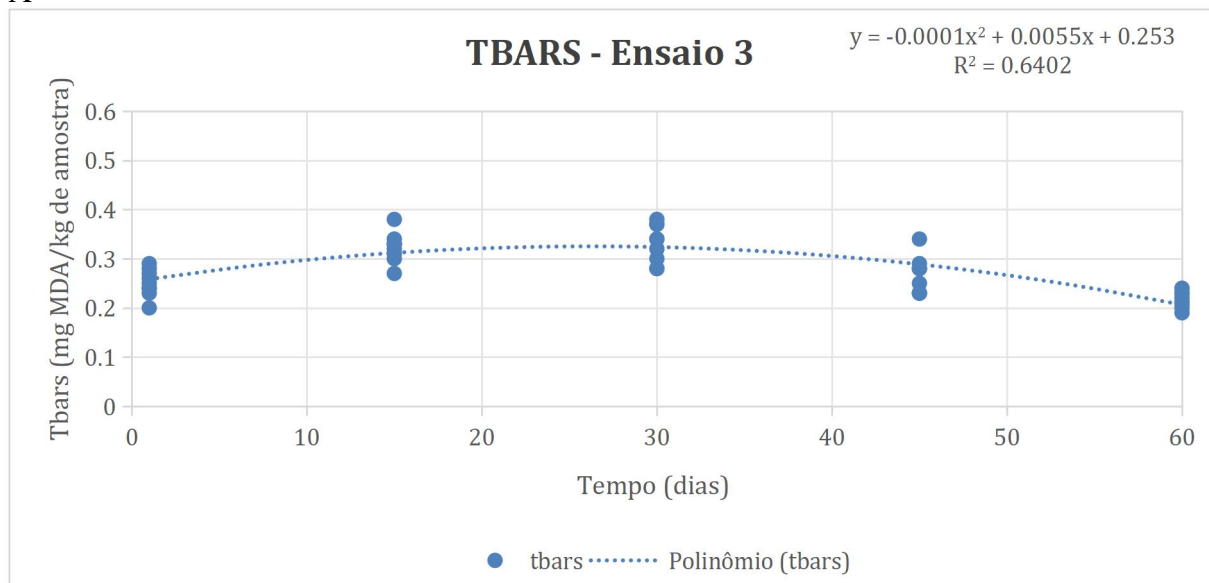


Figura 3 - Capacidade antioxidante (TBARS) do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto (GME) (A); e de GME + 0,1 % de butil hidroxitolueno (BHT) (B) em função da temperatura e tempo de armazenamento.

Nos ensaios com GME + milho torrado em pó e GME + extrato de milho torrado os valores máximos de TBARS foram menores e houveram quedas mais acentuadas se comparadas à ocorrida no GME+BHT, indicando melhor efeito antioxidante nas amostras adicionadas com os antioxidantes naturais.

A



B

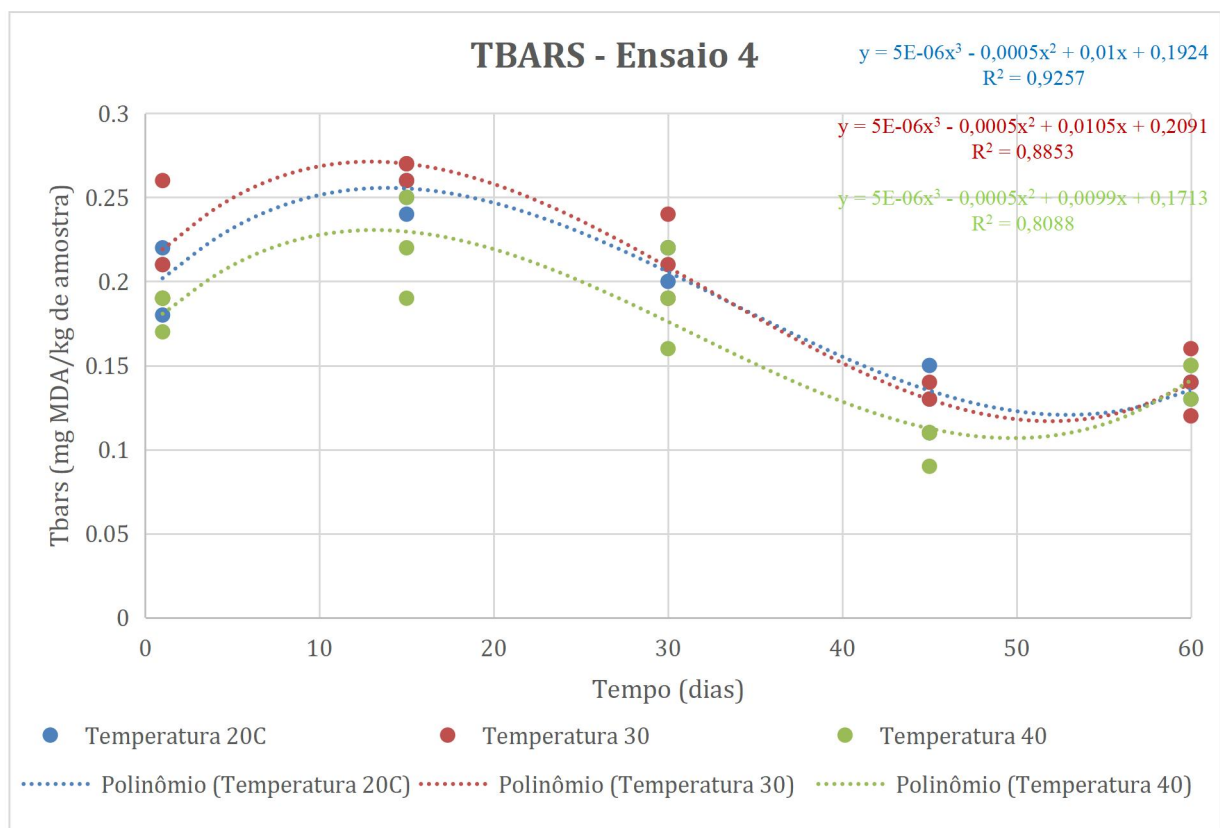


Figura 4 - Capacidade antioxidante (TBARS) do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto (GME) + 15% de grãos de milho integral torrado durante 10 min com temperatura final do cilindro e da fornalha de 193 e 443 °C, respectivamente (T4 do ensaio de torra) (A) e de GME adicionado de extrato de T4 moído (15%, para 5kg de GME foi adicionado 5,87L de extrato) (B) em função da temperatura e tempo de armazenamento.

Nos ensaios de armazenamento, o gérmen de milho integral autoclavado sob vapor direto que obteve melhor resultado quanto à inibição da oxidação foi o GME + extrato de milho torrado, pois, apesar do fato das amostras no início dos ensaios possuírem valores mais altos de TBARS, se mantiveram na faixa de valores mais baixa de forma geral a partir dos 15 dias de armazenamento, independentemente da temperatura de armazenamento (Tabelas suplementares 1 a 4, Figuras 3 e 4). Os vegetais apresentam vários compostos com ação antioxidante, os quais incluem carotenóides e polifenóis. É necessário obter o máximo de extração dos compostos bioativos os quais apresentam polaridade diferenciada para que se possa determinar a capacidade antioxidante do produto. Neste cenário, o tratamento cujo foi utilizado o extrato de milho torrado foi mais efetivo que os demais, sugerindo que a extração destes compostos foi eficiente, e pelo fato do produto estar no estado líquido, provavelmente possibilitou maior interação entre as substâncias fenólicas (doadoras de elétrons) aos sítios de oxidação (ácidos graxos insaturados) (MELO et al., 2008).

4 CONCLUSÃO

O tratamento térmico do gérmen de milho integral em autoclave sob vapor direto é capaz de elevar significativamente o teor de CFT (83 % em relação ao produto *in natura*), que estão diretamente ligados ao aumento da capacidade antioxidante do produto. O processo de torra também é capaz de aumentar o teor de CFT e atividade antioxidante, tanto na canjica (116 % e 17,92 %, respectivamente), como nos grãos de milho integral (144% e 21,37%, respectivamente). O gérmen de milho integral estabilizado é uma potencial fonte valiosa de nutrientes para a alimentação humana. Nos ensaios de armazenamento, quando o coproduto estabilizado foi adicionado de milho torrado em pó ou de extrato de milho torrado atingiu menores valores de TBARS em relação ao adicionado com BHT ou ao natural, apontando resultados de estabilidade oxidativa mais promissores para o adicionado de extrato de milho torrado. Os resultados obtidos foram importantes para melhor compreensão da estabilidade oxidativa do gérmen de milho, mas são ainda necessários estudos adicionais dos antioxidantes naturais propostos e para avaliar a viabilidade econômica dos processos enfocados nesta pesquisa, quando adaptados para escala industrial.

5. REFERÊNCIAS

AHMED, I.; QAZI, I. M.; JAMAL, S. Assessment of Proximate Compositions and Functional Properties of Blends of Broken Rice and Wheat Flours. **Sarhad Journal of Agriculture**, Peshawar, v. 32, n. 3, p. 142–150, 2016.

AOAC. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods**, 11th ed., St. Paul: AOAC, 2016.

ARORA, S.; VIRDI, I. K.; SHARANAGAT, V. S.; KHETO, A.; DHUA, S.; SUHAG, R.; KUMAR, R.; KUMAR, Y.; PATEL, A. Roasting of black rice (*Oryza sativa* L.): change in physico-functional, thermo-pasting, antioxidant and anthocyanin content. **Journal of Food Measurement and Characterization**, Washington, v. 15, n. 3, p. 2240–2250, 2021. DOI 10.1007/s11694-021-00828-7.

ARSLAN, D.; DEMIR, M. K.; ACAR, A.; ARSLAN, F. N. Investigation of wheat germ and oil characteristics with regard to different stabilization techniques. **Food Technology and Biotechnology**, Zagreb, v. 58, n. 3, p. 348–355, 2020. DOI 10.17113/ftb.58.03.20.6638.

AUNG, T.; KIM, B. R.; KIM, M. J. Optimized roasting conditions of germinated wheat for a novel cereal beverage and its sensory properties. **Foods**, Basel, v. 11, n. 3, p. 481, 2022. DOI 10.3390/foods11030481.

BARBOSA, P. D.; COELHO, J. S. Z.; VILELA, R. M.; CARDOSO, L. A. da C. *Vicia faba* L.: uma revisão sobre o perfil nutricional e industrialização da fava. **Alimentos e Nutrição: Promoção da Saúde e Equipe Multiprofissional 2**. Paraná, p. 161-176. 01 ago. 2023.

BAUER, J. L.; HARBAUM-PIAYDA, B.; STÖCKMANN, H.; SCHWARZ, K. Antioxidant activities of corn fiber and wheat bran and derived extracts. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 50, n. 1, p. 132–138, 2013. DOI: 10.1016/j.lwt.2012.06.012.

BERTRAND, E.; EL BOUSTANY, P.; FAULDS, C. B.; BERDAGUÉ, J.-L. The Maillard Reaction in Food: An Introduction. **Reference Module in Food Science**, Madison, 2018. DOI 10.1016/b978-0-08-100596-5.21459-5. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0->

08-100596-5.21459-5.

BETA, T.; NAM, S.; DEXTER, J. E.; SAPIRSTEIN, H. D. Phenolic Content and Antioxidant Activity of Pearled Wheat and Roller-Milled Fractions. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 82, n. 4, p. 390–393, 2005. DOI 10.1094/cc-82-0390.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT – Food Science and Technology**. 28:25-30. 1995

BRASIL. Instrução Normativa nº 8, de 2 junho de 2005 - **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo**. Brasília, DF. Disponível em:

<<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=803790937>>.

CASTRO, M. V. L. de; MENDONÇA, A. L. de; SANTOS, G. G.; FROES, L. de O.; FREITAS, J. B. de; NAVES, M. M. V. Fração gérmen com pericarpo de milho na alimentação humana: Qualidade nutricional e aplicação tecnológica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 213-219, maio 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pat/v41n2/a10.pdf>. Acesso em: 01 maio 2021.

CHUNG, HUN-SIK; CHUNG, SHIN-KYO; YOUN, KWANG-SUP. Effects of roasting temperature and time on bulk density, soluble solids, browning index and phenolic compounds of corn kernels. **Journal of Food Processing and Preservation**, Pullman, vol. 35, no. 6, p. 832–839, 14 Jul. 2011. DOI 10.1111/j.1745-4549.2011.00536.x. Available at: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00536.x>.

CRUZ, Richtier Gonçalves da. **Potencial de metabólitos da acerola (*Malpighia emarginata*) como antioxidantes em diferentes sistemas oxidativos mediados por radicais livres**. 2017. 133 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

DE LIMA JÚNIOR, D. M. *et al.* Oxidação lipídica e qualidade da carne ovina. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 7, n. 1 p. 14—28, 2013.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Food Energy** - Methods of analysis and conversion factors. FAO Food and Nutrition Paper, 77. Rome: FAO, 2003.

FĂRCAȘ, A. C.; SOCACI, S. A.; NEMEȘ, S. A.; POP, O. L.; COLDEA, T. E.; FOGARASI, M.; BIRIȘ-DORHOI, E. S. An Update Regarding the Bioactive Compound of Cereal By-Products: Health Benefits and Potential Applications. **Nutrients**, Basel, v. 14, n. 17, p. 3470, 2022. DOI 10.3390/nu14173470.

FREIRE, P. C. M.; FILHO, J. M.; FERREIRA, T. A. P. D. C. Major physical and chemical changes in oils and fats used for deep frying: Regulation and effects on health. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 26, n. 3, p. 353–368, 2013.

FREIRES, J. D. **Efeito da utilização da farinha da castanha de Munguba (*Pachira aquatica*) na qualidade física, físico-química, microbiológica e atividade antioxidante de pão sem glúten**. 2022. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Naturais e Biotecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, 2022.

FROES, L. O.; FALQUETO, M. A. O.; CASTRO, M. V. L.; NAVES, M. M. V. Gérmen com pericarpo de milho desengordurado na formulação de biscoitos tipo *cookie*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 4, p. 744-750, 2012.

GARCIA, L.; LUPACA, M.; CARDENAS, D.; MUNOZ, K. Implementation of an automatic control system on a roaster of peruvian andes grains. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 707, n. 1, p. 012007, 2019. DOI 10.1088/1757-899x/707/1/012007.

GHAFOOR, K.; ÖZCAN, M. M.; AL-JUHAIMI, F.; BABIKER, E. E.; SARKER, Z. I.; AHMED, I. A. M.; AHMED, M. A. Nutritional composition, extraction, and utilization of wheat germ oil: A review. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 119, n. 7, 2017. DOI 10.1002/ejlt.201600160.

HARRIS, G. K.; MARSHALL, M. R. Ash Analysis. **Food Science Text Series**, Cham, p. 287–297, 2017. DOI 10.1007/978-3-319-45776-5_16. Available at:

http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_16.

HEENAN, S.; SOUKOULIS, C.; SILCOCK, P.; FABRIS, A.; APREA, E.; CAPPELIN, L., MARK, T. D.; GASPERI, F.; BIASIOLI, F. PTR-TOF-MS monitoring of in vitro and in vivo flavour release in cereal bars with varying sugar composition. **Food Chemistry**, Barking, v. 131, p. 477-484, 2012.

JAYAWARDANA, S. A. S.; SAMARASEKERA, J. K. R. R.; HETTIARACHCHI, G. H. C. M.; GOONERATNE, J. Formulation and quality evaluation of finger millet (*Eleusine coracana* (L.) gaertn.) flour incorporated biscuits. **Food Science and Technology International**, Nova Iorque, v. 28, n. 5, p. 430–439, 2021. DOI 10.1177/10820132211020839.

LARRAURI, J. A., RUPEREZ, P., SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidante activity of red grape pomace peels. **Journal Agriculture and Food Chemistry**. v. 45, p. 1390-1393, 1997.

LEOPOLDINI, M.; RUSSO, N.; TOSCANO, M. The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants. **Food Chemistry**, Barking, v. 125, n. 2, p. 288–306, 2011.

LI, L.; WANG, Q.; LIU, C.; HONG, J.; ZHENG, X. Effect of oven roasting on major chemical components in cereals and its modulation on flour-based products quality. **Journal of Food Science**, Hoboken, vol. 88, no. 7, p. 2740–2757, 6 Jun. 2023. DOI 10.1111/1750-3841.16625. Available at: <http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.16625>.

LI, S.; CHEN, G.; QIANG, S.; TANG, D.; CHEN, Y.; ZHANG, Z.; LEI, Z.; CHEN, Y. Intensifying soluble dietary fiber production and properties of soybean curd residue via autoclaving treatment. **Bioresource Technology Reports**, v. 7, p. 100203,. DOI 10.1016/j.biteb.2019.100203.

MARTÍNEZ, E.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R.; ÁLVAREZ-ORTÍ, M.; RABADÁN, A.; PARDO-GIMÉNEZ, A.; PARDO, J. E. Elaboration of Gluten-Free *cookies* with Defatted

Seed Flours: Effects on Technological, Nutritional, and Consumer Aspects. **Foods**, Basel, vol. 10, no. 6, p. 1213, 27 May 2021. DOI 10.3390/foods10061213. Available at: <http://dx.doi.org/10.3390/foods10061213>.

MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v. 27, n. 12, p. 1254- 1255, 1992.

MELO, E. de A.; MACIEL, M. I. S.; LIMA, V. L. A. G. de; NASCIMENTO, R. J. do. Capacidade antioxidante de frutas. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 44, n. 2, p. 193–201, Jun. 2008. DOI 10.1590/s1516-93322008000200005..

MERRIL, A. L. WATT, B. K. **Energy value of foods**: basis and derivation. Washington: United States Departament of Agriculture, 1973. 105 p.

MOHAJER, S.; TAHA, R. M.; RAMLI, R. B.; MOHAJER, M. Phytochemical constituents and radical scavenging properties of *Borago officinalis* and *Malva sylvestris*. **Industrial Crops & Products**, Amsterdam, v. 94, p. 673–681, 2016.

NEPA-UNICAMP. **Tabela brasileira de composição de alimentos** / 4. ed. -- Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 2011. 161p.

NG, S.; LASEKAN, O.; MUHAMMAD, K.; SULAIMAN, R.; HUSSAIN, N. Effect of roasting conditions on color development and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR-ATR) analysis of Malaysian-grown tropical almond nuts (*Terminalia catappa* L.). **Chemistry Central Journal**, vol. 8, no. 1, 7 Sep. 2014. DOI 10.1186/s13065-014-0055-2. Available at: <http://dx.doi.org/10.1186/s13065-014-0055-2>.

OKUMUS, B. N.; TACER-CABA, Z.; KAHRAMAN, K.; NILUFER-ERDIL, D. Resistant starch type V formation in brown lentil (*Lens culinaris* Medikus) starch with different lipids/fatty acids. **Food Chemistry**, Barking, v. 240, p. 550–558. DOI 10.1016/j.foodchem.2017.07.157.

ÖZKAYA, B.; TURKSOY, S.; ÖZKAYA, H.; DUMAN, B. Dephytinization of wheat and

rice brans by hydrothermal autoclaving process and the evaluation of consequences for dietary fiber content, antioxidant activity and phenolics. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, Berlim, v. 39, p. 209–215. DOI 10.1016/j.ifset.2016.11.012.

PAULSEN, M. R.; SINGH, M.; SINGH, V. Measurement and maintenance of corn quality. **Corn**, p. 165–211, 2019. DOI 10.1016/b978-0-12-811971-6.00007-3.

PIRES, C. V.; OLIVEIRA, M. G. de A.; ROSA, J. C.; COSTA, N. M. B. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 179–187, Mar. 2006. DOI 10.1590/s0101-20612006000100029.

RIBEIRO, A. E. C. **Biomassa fibrosa do milho**: propriedades e aplicações. 2017. 185 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

RONDANELLI, M.; MICCONO, A.; PERONI, G.; NICHETTI, M.; INFANTINO, V.; SPADACCINI, D.; ALALWAN, T. A.; FALIVA, M. A.; PERNA, S. Rice germ macro- and micronutrients: a new opportunity for the nutraceuticals. **Natural Product Research**, v. 35, n. 9, p. 1532–1536, 2019. DOI 10.1080/14786419.2019.1660329.

RUFINO, M. do S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. de; MORAIS, S. M. de; SAMPAIO, C. de G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Método de Redução do Ferro (FRAP)**. Embrapa: Fortaleza (Comunicado Técnico 125), p. 3–6, 2006.

SAKAČ, M.; JOVANOVIĆ, P.; PETROVIĆ, J.; PEZO, L.; FIŠTEŠ, A.; LONČAREVIĆ, I.; PAJIN, B. Hydroxymethylfurfural content and colour parameters of *cookies* with defatted wheat germ. **Czech Journal of Food Sciences**, Prague, v. 37, n. 4, p. 285–291, 31, 2019. DOI 10.17221/324/2017-cjfs.

SCOTT, M.P.; EMERY, M.. Maize: overview. **Reference module in food science**, Madison, p. 1-6, 2016. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.00022-6>.

SOUSA, M. F. de; GUIMARÃES, R. M.; ARAÚJO, M. de O.; BARCELOS, K. R.; CARNEIRO, N. S.; LIMA, D. S.; SANTOS, D. C. D.; BATISTA, K. de A.; FERNANDES, K. F.; LIMA, M. C. P. M.; EGEA, M. B. Characterization of corn (*Zea mays* L.) bran as a new food ingredient for snack bars. **LWT – Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 101, p. 812–818, Mar. 2019. DOI 10.1016/j.lwt.2018.11.088.

SRUTHI, N. U.; PREMJI, Y.; PANDISELVAM, R.; KOTHAKOTA, A.; RAMESH, S. V. An overview of conventional and emerging techniques of roasting: Effect on food bioactive signatures. **Food Chemistry**, Barking, v. 348, p. 129088, 2021. DOI 10.1016/j.foodchem.2021.129088.

TERRA, N. N.; CICHOSKI, A. J.; FREITAS, R. J. S. de. Valores de nitrito e TBARS durante o processamento e armazenamento da paleta suína curada, maturada e fermentada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 965–970, 2006. DOI 10.1590/s0103-84782006000300037.

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, vol. 362, p. 130066, Nov. 2021. DOI 10.1016/j.foodchem.2021.130066.

WOO, K. S.; KIM, M. J.; KIM, H.-J.; LEE, J. H.; LEE, B. W.; JUNG, G.-H.; LEE, B. K.; KIM, S. L. Changes in the functional components and radical scavenging activity of maize under various roasting conditions. **Food Science and Biotechnology**, v. 27, n. 3, p. 837–845, 2017. DOI 10.1007/s10068-017-0294-9.

WRONKOWSKA, M.; ZIELIŃSKA, D.; SZAWARA-NOWAK, D.; TROSZYŃSKA, A.; SORAL-ŚMIETANA, M. Antioxidative and reducing capacity, macroelements content and sensorial properties of buckwheat-enhanced gluten-free bread. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, n. 10, p. 1993–2000, 2010. DOI 10.1111/j.1365-2621.2010.02375.x.

ZHANG, Y.; TANG, N.; SHI, L.; MIAO, Y.; LIU, X.; GE, X.; CHENG, Y.; ZHANG, X.

Characterization and comparison of predominant aroma compounds in microwave-treated wheat germ and evaluation of microwave radiation on stability. **Journal of Cereal Science**, Londres, v. 93, p. 102942, 2020. DOI 10.1016/j.jcs.2020.102942.

ZHAO, L.; ZHANG, M.; WANG, H.; DEVAHASTIN, S. Effect of addition of carbon dots to the frying oils on oxidative stabilities and quality changes of fried meatballs during refrigerated storage. **Meat Science**, Oxford, v. 185, p. 108715, 2022. DOI 10.1016/j.meatsci.2021.108715.

ЯРМАГАМЕТОВА, А.Б.; КИЗАТОВА, М.Ж. current state of technology for obtaining extract from corn germ (zea mays germinis). **Farmacii Kazahstana**, n. 2, p. 79–83, 2021. DOI: 10.53511/pharmkaz.2021.31.72.021.

Tabela suplementar 1. Teores médios de malonaldeído (TBARS) do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto em função da temperatura e tempo de armazenamento (Ensaio 1 de estabilidade).

Fator	Temperatura	Tempo de armazenamento (dias)				
	(°C)	1	15	30	45	60
Tbars	20	0,024 ± 0,0007 ^{Ba}	0,236 ± 0,0030 ^{Aa}	0,274 ± 0,0151 ^{Aa}	0,238 ± 0,0003 ^{Ab}	0,304 ± 0,0373 ^{Aa}
	30	0,025 ± 0,0009 ^{Ba}	0,271 ± 0,0069 ^{Aa}	0,287 ± 0,0112 ^{Aa}	0,277 ± 0,0066 ^{Aab}	0,274 ± 0,0360 ^{Aa}
	40	0,024 ± 0,0017 ^{Da}	0,510 ± 0,1076 ^{Aa}	0,305 ± 0,0330 ^{Ba}	0,292 ± 0,0103 ^{BCa}	0,285 ± 0,0138 ^{Ca}

¹ Letras minúsculas sobrescritas diferentes na mesma coluna ou letras maiúsculas diferentes na mesma linha significam que as medias diferem pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela suplementar 2. Teores médios de malonaldeído (TBARS) do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto adicionado de butil hidroxitolueno (GME +BHT) em função da temperatura e tempo de armazenamento (Ensaio 2 de estabilidade)

Fator	Temperatura	Tempo de armazenamento (dias)				
	(°C)	1	15	30	45	60
Tbars	20	0,037 ± 0,0003 ^{Ba}	0,290 ± 0,03 ^{Aa}	0,340 ± 0,01 ^{Aa}	0,340 ± 0,01 ^{Aa}	0,273 ± 0,01 ^{Aab}
	30	0,040 ± 0,0017 ^{Ba}	0,307 ± 0,01 ^{Aa}	0,400 ± 0,03 ^{Aa}	0,323 ± 0,02 ^{Aab}	0,267 ± 0,01 ^{Ab}
	40	0,043 ± 0,0018 ^{Ca}	0,263 ± 0,01 ^{Ba}	0,357 ± 0,06 ^{Aa}	0,300 ± 0,02 ^{ABb}	0,283 ± 0,01 ^{Ba}

¹ Letras minúsculas sobrescritas diferentes na mesma coluna ou letras maiúsculas diferentes na mesma linha significam que as medias diferem pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela suplementar 3. Teores médios de malonaldeído (TBARS) do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto (GME) adicionado de 15% de milho torrado T4 moído (ensaio de torra), em função da temperatura e tempo de armazenamento (Ensaio 3 de estabilidade)

Fator	Temperatura	Tempo de armazenamento (dias)				
	(°C)	1	15	30	45	60
Tbars	20	0,273 ± 0,0057 ^{ABa}	0,347 ± 0,0317 ^{Aa}	0,330 ± 0,0366 ^{Aa}	0,283 ± 0,0086 ^{ABa}	0,213 ± 0,0189 ^{Ba}
	30	0,257 ± 0,0245 ^{BCab}	0,313 ± 0,0487 ^{ABa}	0,337 ± 0,0244 ^{Aa}	0,247 ± 0,0006 ^{BCa}	0,220 ± 0,0028 ^{Ca}
	40	0,223 ± 0,0052 ^{Bb}	0,310 ± 0,0115 ^{ABa}	0,327 ± 0,0322 ^{Aa}	0,273 ± 0,0642 ^{ABa}	0,213 ± 0,0042 ^{Ba}

¹ Letras minúsculas sobrescritas diferentes na mesma coluna ou letras maiúsculas diferentes na mesma linha significam que as medias diferem pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela suplementar 4. Teores médios de malonaldeído (TBARS) do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto (GME) adicionado de extrato de milho torrado T4 moído (ensaio de torra) (15%, para 5kg de GME foi adicionado 5,87 L de extrato), em função da temperatura e tempo de armazenamento (Ensaio 4 de estabilidade)

Fator	Temperatura	Tempo de armazenamento (dias)				
	(°C)	1	15	30	45	60
Tbars	20	0,203 ± 0,0308 ^{Ba}	0,250 ± 0,0069 ^{Aa}	0,213 ± 0,0110 ^{ABa}	0,130 ± 0,0205 ^{Ca}	0,137 ± 0,0067 ^{Ca}
	30	0,220 ± 0,0502 ^{Aa}	0,267 ± 0,0025 ^{Aa}	0,213 ± 0,0259 ^{Aa}	0,127 ± 0,0148 ^{Ba}	0,140 ± 0,0184 ^{Ba}
	40	0,183 ± 0,0165 ^{ABa}	0,220 ± 0,0259 ^{Aa}	0,190 ± 0,0322 ^{ABa}	0,103 ± 0,0120 ^{Ca}	0,143 ± 0,0148 ^{BCa}

¹ Letras minúsculas sobrescritas diferentes na mesma coluna ou letras maiúsculas diferentes na mesma linha significam que as medias diferem pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela suplementar 5. Modelos ajustados, coeficiente de determinação e nível de significância para TBARS do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto em função da temperatura e tempo de armazenamento (Ensaio 1 de estabilidade)

Temperatura					
Fator	(°C)	Modelo	R ²	R ² Ajustado	P
Tbars	20	$y = - 0,002659 + 0,0264x - 0,000803x^2 + 0,000007x^3$	0,95	0,93	0,000000
	30	$y = 0,001934 + 0,02747x - 0,000765x^2 + 0,000006x^3$	0,98	0,97	0,000000
	40	NS ¹	NS	NS	NS

¹NS: Não significativo

Tabela suplementar 6. Modelos ajustados, coeficiente de determinação e nível de significância para TBARS do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto adicionado de butil hidroxitolueno (GME +BHT) em função da temperatura e tempo de armazenamento (Ensaio 2 de estabilidade)

Temperatura					
Fator	(°C)	Modelo	R ²	R ² Ajustado	P
Tbars	20	$y = 0,014781 + 0,025554x - 0,000991x^2 + 0,000004x^3$	0,99	0,93	0,000000
	30	$y = 0,015608 + 0,028289x - 0,000726x^2 + 0,000005x^3$	0,95	0,93	0,000000
	40	$y = 0,015134 + 0,025864x - 0,000644x^2 + 0,000005x^3$	0,95	0,94	0,000000

¹NS: Não significativo

Tabela suplementar 7. Modelos ajustados, coeficiente de determinação e nível de significância para TBARS do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto (GME) adicionado de 15% de milho torrado T4 moído (ensaio de torra), em função da temperatura e tempo de armazenamento (Ensaio 3 de estabilidade)

Temperatura					
Fator	(°C)	Modelo	R²	R² Ajustado	P
Tbars	20	$y = 27,6838 + 0,005016x - 0,000103x^2$	0,79	0,73	0,000147
	30	$y = 25,9027 + 0,004594x - 0,000091x^2$	0,62	0,56	0,003065
	40	$y = 0,223129 + 0,006854x - 0,000119x^2$	0,66	0,60	0,01599

¹NS: Não significativo

Tabela suplementar 8. Modelos ajustados, coeficiente de determinação e nível de significância para TBARS do gérmen de milho integral estabilizado em autoclave sob vapor direto (GME) adicionado de extrato de milho torrado T4 moído (ensaio de torra) (15%, para 5Kg de GME foi adicionado 5,87L de extrato), em função da temperatura e tempo de armazenamento (Ensaio 4 de estabilidade)

Fator	Temperatura	Modelo	R ²	R ²	P
	(°C)			Ajustado	
Tbars	20	$y = 0,192362 + 0,009991x - 0,000454x^2 + 0,000005x^3$	0,92	0,91	0,000002
	30	$y = 0,209130 + 0,010474x - 0,000506x^2 + 0,000005x^3$	0,86	0,85	0,000018
	40	$y = 0,171329 + 0,009883x - 0,000475x^2 + 0,000005x^3$	0,81	0,76	0,010609

¹NS: Não significativo

APÊNDICE 1

Ensaio de torrefação dos grãos de canjica e milho - Análise de variância

Effect	Univariate Tests of Significance for L (Ensaio de torra) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	35692,07	1	35692,07	96447,67	0,000000
tratamento	228,83	3	76,28	206,12	0,000000
Error	2,96	8	0,37		

Cell No.	Tukey HSD test; variable L (Ensaio de torra) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,37007, df = 8,0000				
	tratamento	{1} 60,337	{2} 50,940	{3} 57,130	{4} 49,743
1	1		0,000231	0,001055	0,000231
2	2	0,000231		0,000232	0,152545
3	3	0,001055	0,000232		0,000231
4	4	0,000231	0,152545	0,000231	

Cell No.	Tukey HSD test; variable C (Ensaio de torra) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,23153, df = 8,0000				
	tratamento	{1} 20,610	{2} 16,240	{3} 17,380	{4} 15,198
1	1		0,000236	0,000358	0,000231
2	2	0,000236		0,076528	0,108979
3	3	0,000358	0,076528		0,002554
4	4	0,000231	0,108979	0,002554	

Effect	Univariate Tests of Significance for H (Ensaio de torra) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	14,44766	1	14,44766	162055,5	0,000000
tratamento	0,02068	3	0,00689	77,3	0,000003
Error	0,00071	8	0,00009		

Cell No.	Tukey HSD test; variable H (Ensaio de torra) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,00009, df = 8,0000				
	tratamento	{1} 1,1424	{2} 1,0513	{3} 1,1347	{4} 1,0606
1	1		0,000233	0,752436	0,000240
2	2	0,000233		0,000238	0,641791
3	3	0,752436	0,000238		0,000258
4	4	0,000240	0,641791	0,000258	

Univariate Tests of Significance for CFT (Ensaio de torra)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	4608169	1	4608169	8376,726	0,000000
tratamento	726117	3	242039	439,978	0,000000
Error	4401	8	550		

Tukey HSD test; variable CFT (Ensaio de torra)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = 550,12, df = 8,0000					
Cell No.	tratamento	{1}	{2}	{3}	{4}
		392,86	862,81	355,28	867,81
1	1		0,000231	0,277326	0,000231
2	2	0,000231		0,000231	0,993368
3	3	0,277326	0,000231		0,000231
4	4	0,000231	0,993368	0,000231	

Univariate Tests of Significance for FRAP (Ensaio de torra)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1072,877	1	1072,877	3740,101	0,000000
tratamento	81,036	3	27,012	94,166	0,000001
Error	2,295	8	0,287		

Tukey HSD test; variable FRAP (Ensaio de torra)					
Approximate Probabilities for Post Hoc Tests					
Error: Between MS = ,28686, df = 8,0000					
Cell No.	tratamento	{1}	{2}	{3}	{4}
		6,2582	11,503	7,5875	12,474
1	1		0,000233	0,062971	0,000231
2	2	0,000233		0,000287	0,197276
3	3	0,062971	0,000287		0,000236
4	4	0,000231	0,197276	0,000236	

Univariate Tests of Significance for DPPH (Ensaio de torra)					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	75019,48	1	75019,48	112368,7	0,000000
tratamento	625,33	3	208,44	312,2	0,000000
Error	5,34	8	0,67		

Cell No.	Tukey HSD test; variable DPPH (Ensaio de torra) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,66762, df = 8,0000				
	tratamento	{1} 70,916	{2} 83,003	{3} 73,506	{4} 88,844
1	1		0,000231	0,019629	0,000231
2	2	0,000231		0,000231	0,000300
3	3	0,019629	0,000231		0,000231
4	4	0,000231	0,000300	0,000231	

APÊNDICE 2

Ensaio de estabilidade do gérmen de milho - Análise de variância fatorial

Effect	Univariate Tests of Significance for TBARS (Ensaio 1) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3,618169	1	3,618169	44,609	0,000000
temperatura	0,360938	2	0,180469	2,225	0,125595
tempo	1,250631	4	0,312658	3,855	0,012106
temperatura*tempo	1,232996	8	0,154124	1,900	0,097127
Error	2,433267	30	0,081109		

Effect	Univariate Tests of Significance for TBARS (Ensaio 2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2,893069	1	2,893069	3444,130	0,000000
temperatura	0,000404	2	0,000202	0,241	0,787549
tempo	0,541498	4	0,135374	161,160	0,000000
temperatura*tempo	0,005929	8	0,000741	0,882	0,542530
Error	0,025200	30	0,000840		

Effect	Univariate Tests of Significance for TBARS (Ensaio 3) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3,472222	1	3,472222	3567,352	0,000000
temperatura	0,003218	2	0,001609	1,653	0,208446
tempo	0,086422	4	0,021606	22,197	0,000000
temperatura*tempo	0,005538	8	0,000692	0,711	0,679676
Error	0,029200	30	0,000973		

Effect	Univariate Tests of Significance for TBARS (Ensaio 4) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,501520	1	1,501520	3817,424	0,000000
temperatura	0,005173	2	0,002587	6,576	0,004283
tempo	0,095480	4	0,023870	60,686	0,000000
temperatura*tempo	0,002627	8	0,000328	0,835	0,579571
Error	0,011800	30	0,000393		

CAPÍTULO III

PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS, TECNOLÓGICAS E ACEITAÇÃO SENSORIAL DE BISCOITOS TIPO *COOKIE* FORTIFICADOS COM GÉRMEN DE MILHO INTEGRAL ESTABILIZADO

RESUMO

Gérmen de milho é um coproduto obtido durante o processamento do milho, que possui características nutricionais importantes, como teores elevados de fibras alimentares e proteínas, além de ser fonte de ácidos graxos poli-insaturados, compostos fenólicos, minerais e vitaminas. Atualmente, a maior quantidade do coproduto tem sido destinada a alimentação animal, mas sua utilização na alimentação humana tem um grande potencial para o desenvolvimento de produtos mais saudáveis e atrativos para os consumidores. Diante disto, o objetivo deste estudo foi avaliar as características físicas, químicas, tecnológicas e aceitação sensorial de biscoitos tipo *cookie*, formulados com diferentes níveis de substituição da farinha de trigo por gérmen de milho estabilizado (por meio de tratamento térmico e adição de um novo antioxidante natural - milho torrado e moído), visando verificar a viabilidade tecnológica da utilização destes ingredientes. Foi realizado um delineamento inteiramente casualizado, com 5 tratamentos ou formulações de biscoito com 0, 10, 25, 40 e 55% de substituição da farinha de trigo por gérmen de milho, respectivamente B0, B10, B25, B40 e B55, e quatro repetições originais, totalizando 20 unidades experimentais. A substituição da farinha de trigo por até 55 % de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %) não afetou significativamente as propriedades físicas e tecnológicas (umidade, a_w , índice de expansão, volume específico e dureza) dos biscoitos tipo *cookie*, o que sugere que a substituição dos ingredientes pode ser feita sem comprometer a qualidade do produto, embora tenha afetado a cor instrumental, com um ligeiro escurecimento acima de 25 % de substituição, mas ainda sem prejudicar muito a aparência, visto que todos os biscoitos apresentaram índice de aceitação sensorial acima de 70 %. Quanto à composição centesimal, a substituição de 25% da FT pela farinha de gérmen de milho resultou em um aumento de 130 % no teor fibras e de 22,63 % de cinzas, o que indica que a substituição dos ingredientes estudados pode ser uma estratégia para a fortificação de biscoitos.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; coproduto; fibra alimentar; substituição; panificação.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma gramínea pertencente à família Poaceae, subfamília Panicoideae, sendo o cereal mais importante em termos de produção e importância econômica a nível mundial. É uma cultura altamente produtiva que se adapta a diferentes ecossistemas, desde regiões costeiras a regiões montanhosas, e possui uma notável variabilidade genética, sendo classificado em dois tipos principais: milho tropical e milho temperado, de acordo com a altitude e o ambiente em que é cultivado (GARCÍA-LARA; SERNA-SALDIVAR, 2019).

Este cereal é constituído por substâncias antioxidantes, incluindo carotenoides, flavonoides e antocianinas, além de conter praticamente todos os aminoácidos conhecidos, com apenas a lisina e o triptofano em quantidades limitadas entre os aminoácidos essenciais (REDAELLI; ALFIERI; CABASSI, 2016). Sua utilização principal é como matéria-prima de rações para animais nos países desenvolvidos (em torno de 85 % do milho produzido é utilizado para esse fim), mas também para biocombustíveis e uma grande quantidade de produtos industriais, entre os quais os utilizados na alimentação humana. Assim sendo, constitui uma importante fonte de energia para a população mundial, sendo o cereal que atinge a maior produtividade agrícola (kg/ha) (GARCÍA-LARA; SERNA-SALDIVAR, 2019).

O grão de milho possui estruturas morfológicas bem definidas. A membrana externa, casca ou pericarpo possui característica fibrosa, sendo constituída de polissacarídeos do tipo hemicelulose, celulose e lignina em menor quantidade. Na porção mais interna do grão há duas regiões distintas, o gérmen e o endosperma. Este último representa aproximadamente 83 % do peso seco do grão e é constituído principalmente de amido e proteína (zeína) (SABCHUK, 2018). O gérmen de milho é um coproduto obtido durante o processamento do milho, é composto por uma variedade de substâncias biologicamente ativas, incluindo ácidos graxos poli-insaturados, tocoferóis, provitaminas A e D, vitamina K, riboflavina, ácidos pantotênico e fólico, fitina e outras. Essas substâncias presentes na dieta com milho podem ter um efeito positivo no corpo humano, como melhorar a aparência da pele, cabelos e unhas, fortalecer o sistema imunológico, melhorar a visão e normalizar o metabolismo (ЯРМАГАМЕТОБА; КИЗАТОВА, 2021).

Apesar dos inúmeros benefícios nutricionais do gérmen de milho, o mesmo é altamente suscetível à oxidação lipídica, o que pode reduzir a qualidade do produto e encurtar sua vida útil sendo, portanto, necessário à utilização de tecnologias capazes de estabilizá-lo. Inúmeras técnicas de processamento, como tratamentos térmicos (secagem em forno, vapor,

torrefação, etc.) e não térmicos (fermentação, irradiação, ultrassom, etc.), podem ser utilizadas para melhorar a estabilidade oxidativa do gérmen de milho. Ao bloquear a atividade da lipase e da lipoxigenase, tais métodos não apenas impedem a oxidação dos lipídios, mas também modificam a cor, textura e composição química do germen (MARTI et al, 2014).

Devido ao consumo baixo de vegetais frescos, a situação nutricional da população é definida por uma baixa ingestão de fibras, vitaminas, minerais e compostos bioativos. Para aumentar o consumo destes nutrientes, uma opção viável seria incluir na dieta alimentos com maior densidade nutricional que os alimentos tradicionais. Assim, a inclusão de ingredientes que possam melhorar o valor nutricional dos alimentos convencionais tem sido proposta como forma de reduzir problemas nutricionais (SOUSA et al., 2019). Gérmen de milho modificado para uma menor oxidação, pode ser utilizado para aumentar o teor de fibras e assim melhorar o perfil nutricional de alimentos convencionais.

Os biscoitos se destacam como alimentos que podem ser veículos para inserção de ingredientes ricos em nutrientes, elevando assim sua qualidade nutricional. São produtos prontos para serem consumidos, convenientes, acessíveis, com elevada digestibilidade, estáveis em temperaturas ambiente e com vida útil prolongada, além de serem aceitos e muito consumidos por pessoas de todas as faixas etárias. Portanto, são muito importantes para indústria alimentícia, que os produzem em larga escala e com grande variação de sabores e texturas (KULKARNI; SAKHALE; CHAVAN, 2021).

Além do enriquecimento nutricional, outra questão tem permeado a indústria de alimentos e a de panificação, a inclusão de ingredientes naturais (TUROLA BARBI et al., 2018). Estudos epidemiológicos mostram que o consumo regular de componentes ricos em antioxidantes está associado a um menor risco de doenças como as cardiovasculares, diabetes e câncer (WALTER; MARCHESAN, 2011). Há uma tendência crescente na ingestão de alimentos que, além de fornecerem energia, auxiliam na melhoria da saúde, reduzindo doenças como as cardiovasculares, diabetes, distúrbios intestinais e imunológicos. Polifenóis, fitoesteróis, aminas biogênicas e carotenoides, por exemplo, possuem características antioxidantes, anti-inflamatórias e imunomoduladoras, além de melhorar o funcionamento da barreira intestinal (SAMTIYA et al., 2021).

O gérmen de milho poderia ser incluído na categoria de ingredientes com excelente potencial para o desenvolvimento de produtos mais saudáveis para o consumidor. Atualmente, tal ingrediente tem sido mais utilizado pela indústria de alimentação animal, mas sua aplicação na alimentação humana poderia aumentar a sustentabilidade das indústrias de

beneficiamento de milho por agregar valor a esse coproduto, e as indústrias de panificados poderiam ampliar o seu portfólio de produtos com maior valor nutricional e funcional. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar as características físicas, químicas, tecnológicas, microbiológicas e aceitação sensorial de biscoitos tipo *cookie* formulados com diferentes níveis de substituição da farinha de trigo por gérmen de milho estabilizado, adicionando um novo antioxidante natural (milho torrado e moído) na elaboração dos biscoitos, visando verificar a viabilidade da utilização destes ingredientes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

O milho utilizado para torra (produção do antioxidante natural) e o gérmen de milho foram doados pela indústria parceira Milhão Ingredients, localizada em Goianira, Goiás, Brasil. Os demais ingredientes utilizados, sendo eles: farinha de trigo; margarina; açúcar cristal; fécula de mandioca; ovo; açúcar mascavo; fermento em pó e sal, assim como os meios de cultura para as análises microbiológicas foram adquiridos no comércio local de Goiânia, Goiás, Brasil. Nas análises físico-químicas foram reagentes puro para análise (p.a.).

2.2 Estabilização e preparo do gérmen de milho

O método de estabilização do gérmen de milho foi realizado em duas etapas: 1) o tratamento térmico foi realizado com aplicação de vapor direto em autoclave, e 2) adição de antioxidante natural milho integral torrado moído. O tratamento térmico do gérmen de milho visou a inativação de enzimas e redução da carga microbiana do produto. Amostras do coproduto (500 g) foram acondicionadas em sacos de papel Kraft pardo, e foram autoclavadas por 15 min a 121 °C e pressão de 1,1 kgf. O material foi então seco em estufa de circulação de ar, a 45 °C, até umidade final de 4,61 %, em seguida foi acondicionado em sacos pretos de polietileno de baixa densidade (PEBD), e armazenado sob refrigeração (5 °C ± 1 °C) até a sua utilização. A adição do antioxidante natural visou o retardo da autooxidação da fração lipídica do gérmen de milho, por meio da doação de elétrons pelos compostos fenólicos e consequente neutralização dos radicais livres.

A torração do milho foi conduzida em torrador de café (Leogap, Ipanema Ecológico, Curitiba, Brasil), durante 10 min, com temperatura inicial e final no cilindro do torrador de 192 e 196 °C, respectivamente. Já a temperatura da fornalha do equipamento iniciou o processo a 435 °C e atingiu ao final 450 °C. Em seguida, o produto foi resfriado a temperatura ambiente, armazenado em sacos pretos de PEBD, e armazenado sob refrigeração (5 °C ± 1 °C) até a sua utilização. O gérmen de milho autoclavado e seco, foi utilizado para a produção dos biscoitos tipo *cookies*, foi preparado através da adição de 5 % de milho torrado e moído. Assim para o preparo de 800 g misturou-se 40 g de milho torrado em 760 g de gérmen.

2.3 Formulações e processamento dos biscoitos

Biscoitos tipo *cookie* foram processados com cinco diferentes formulações (Tabela 1) baseadas na formulação descrita por Soares Júnior et al. (2007) e citada por Alcântara (2021), com modificações. O biscoito sem adição de gérmen de milho estabilizado foi denominado BC, enquanto aqueles que apresentaram substituição parcial da farinha de trigo por 10, 25, 40 e 55 % de gérmen de milho estabilizado e preparado com milho torrado (5 %) foram denominados, B10, B25, B40 e B55 respectivamente.

Tabela 1 - Formulações dos biscoitos experimentais tipo *cookie* em função do nível de substituição de farinha de trigo (FT) por gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave preparado com adição de antioxidante natural (5 % de milho torrado) (GMP)

Ingredientes ¹	Nível de substituição de FT por GMP (%)				
	0 (BC) ²	10 (B10)	25 (B25)	40 (B40)	55 (B55)
Farinha de trigo refinada ³	57	51,3	42,75	34,2	25,65
Margarina	40	40	40	40	40
Açúcar cristal	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6
Fécula de mandioca	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2
Ovo	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6
Açúcar mascavo	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6
Fermento químico	2	2	2	2	2
Sal refinado iodado	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Gérmen de milho preparado	0	5,7	14,25	22,8	31,35

¹ g; ²Biscoito controle= BC; ³Adicionada de ácido fólico e ferro

Os ingredientes foram pesados em balança semianalítica de acordo com a formulação pré-estabelecida (Tabela 1), misturados e homogeneizados manualmente. A massa foi padronizada (5 g por biscoito), moldada por prensagem manual, e os pedaços moldados foram colocados em formas de alumínio cobertas por papel manteiga, e assadas durante 6 min em forno elétrico (Venâncio, FERI60, Venâncio Aires, Brasil) pré-aquecido a 180 °C por 30 min. Os biscoitos foram deixados resfriar em temperatura ambiente, acondicionados em sacos de PEBD e armazenados a temperatura ambiente (Figura 1).

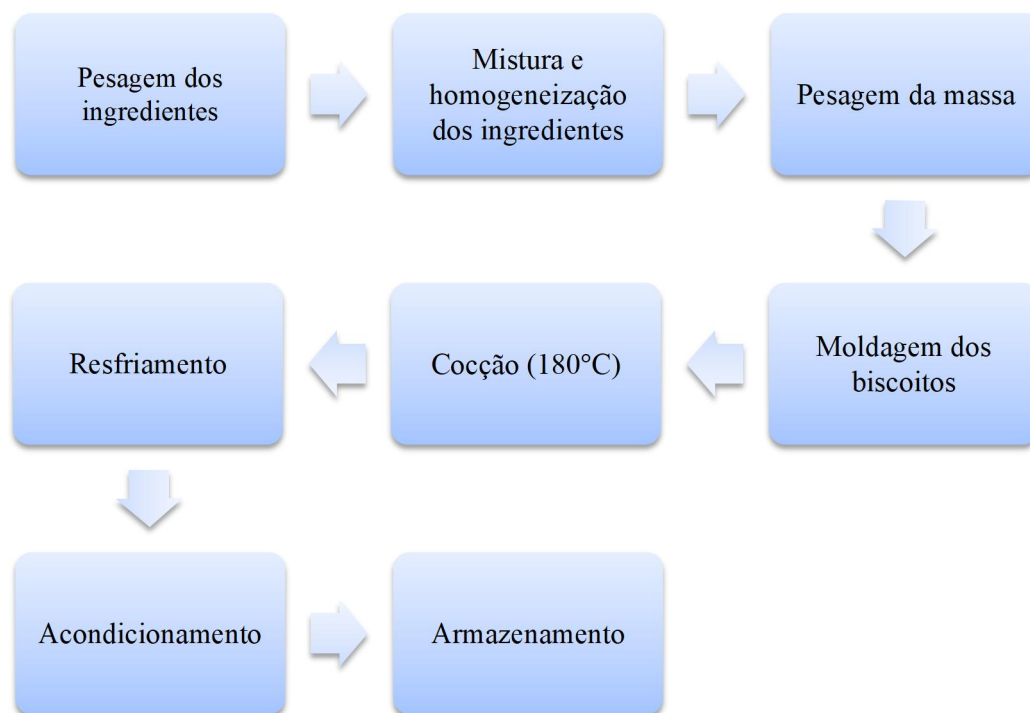


Figura 1 – Fluxograma de produção dos biscoitos

Fonte: Elaboração da própria autora.

2.4 Características físicas e tecnológicas

Determinações de umidade, atividade de água (a_w), parâmetros instrumentais de cor (L^* , a^* , b^* , C^* e H°), volume específico (VE), índice de expansão (IE) e dureza foram realizadas em todas as amostras de biscoitos experimentais.

2.4.1 Cor instrumental

Os parâmetros instrumentais de cor foram determinados em colorímetro (Konica Minolta, Bankinh Meter, BC-10, Ramsey, USA), calibrados em superfície de porcelana branca. Os resultados das leituras foram expressos em L^* , a^* e b^* . Os valores de L^* (luminosidade) podem variar do preto (0) ao branco (100), os da coordenada de cromaticidade a^* do verde (-60) ao vermelho (+60) e os da coordenada de cromaticidade b^* do azul (-60) ao amarelo (+60). Para calcular o índice de saturação ou croma (C^*) e da tonalidade ou ângulo

Hue (H°) foram utilizadas equações 1 e 2 (MCGUIRE, 1992). Foram realizadas 10 replicatas para a análise dos parâmetros instrumentais de cor.

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

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

Nas quais: C^* = cromaticidade (saturação da cor); H° = ângulo Hue (tonalidade ou matriz); 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.

2.4.2 Índice de expansão e volume específico

O diâmetro e a altura (mm) das amostras foram aferidos antes e depois da cocção, com auxílio de um paquímetro digital (Messen, 0 a 150 mm, Berlim, Alemanha), e o IE (adimensional) foi calculado de acordo com a equação 3. O volume (mL) das amostras foi determinado pelo método de deslocamento de sementes de painço (15 replicatas), com auxílio de uma proveta graduada, enquanto a massa (g) em balança analítica. Para a determinação do VE (mL g⁻¹) foi utilizada a equação 4 (MACHADO; PEREIRA, 2010).

$$IE = \frac{(\text{diâmetro unidade assada} + \text{altura unidade assada})}{(\text{diâmetro massa moldada} + \text{altura massa moldada})} \quad (\text{Equação 3})$$

$$VE = \frac{\text{volume (mL)}}{\text{massa (g)}} \quad (\text{Equação 4})$$

2.4.3 Atividade de água

A a_w (adimensional) foi determinada em equipamento digital (Decagon Devices, AquaLab Series 3-TE, Pullman, EUA), sob temperatura constante de 25 °C. As leituras foram realizadas em triplicata.

2.4.4 Dureza instrumental

A dureza das amostras foi determinada em um texturômetro (Texture Analyser, TA-XT Plus, Surrey, England), com probe de lâmina de corte afiada (HDP/BSK); velocidade de pré-teste e teste de $1,0 \text{ mm s}^{-1}$; e velocidade pós-teste de 10 mm s^{-1} , conforme adaptações das metodologias descritas por Xiong et al. (2023) e Kaur et al. (2019). Os biscoitos foram selecionados de forma aleatória, e os resultados foram expressos em Newton (N). As determinações foram realizadas em 10 replicatas.

2.4.5 Acidez total titulável e potencial hidrogeniônico (pH)

As análises foram realizadas de acordo com as normas estabelecidas pela AOAC (2016). A acidez foi determinada pelo método de titulação, para tanto, 5g de amostra foi diluída em 100 mL de água destilada e posteriormente titulada (até faixa de pH de 8,2 – 8,4) com NaOH 0,1 N (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).

2.5 Análises microbiológicas

Todos os produtos foram produzidos de acordo com as normas de Boas Práticas de Fabricação RDC nº 275 (ANVISA, 2002). As análises microbiológicas seguiram as diretrizes da Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 724, e Instrução Normativa- IN nº 161, de 1º de julho de 2022 (BRASIL, 2022). Foram realizadas as seguintes análises nos *cookies*: presença de *Salmonella* em 25 g, *Bacillus cereus* presuntivo (UFC/g), *Escherichia coli* (UFC/g), e bolores e leveduras (UFC/g), conforme o item 19 (d) anexo 1 para “pães, bolos, bolachas, biscoitos e outros produtos de panificação, estáveis à temperatura ambiente” da Instrução normativa nº 161. As análises microbiológicas foram realizadas de acordo com os métodos descritos pela American Public Health Association (APHA, 2015).

2.6 Aceitação sensorial e intenção de compra

Todas as amostras experimentais foram submetidas a teste de aceitação sensorial e intenção de compra. Participaram 100 julgadores (maiores de 18 anos, de ambos os sexos, feminino e masculino) não treinados no teste de aceitação sensorial e intenção de compra. O teste foi realizado nos domínios da Universidade Federal de Goiás. Foi entregue o “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido”, que em conjunto com o protocolo experimental, foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CAAE 66317322.7.0000.5083). As amostras foram codificadas com números de três dígitos aleatórios e servidas aleatoriamente oferecendo água entre uma amostra e outra. Foram avaliadas quanto à aparência, cor, aroma, sabor, textura e avaliação global, com a escala hedônica estruturada de 9 pontos (9 = gostei muitíssimo, 5 = não gostei/nem desgostei e 1 = desgostei muitíssimo). Para intenção de compra, utilizou-se escala de cinco pontos (1 = certamente não compraria, 5 = certamente compraria) (MEILGAARD et al., 1999). O índice de aceitabilidade (IA) do produto foi calculado com a equação 5 (STONE; SIDEL, 1985).

$$IA (\%) = \frac{A \times 100}{B} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde: A = nota média obtida para o produto, e B = nota máxima dada ao produto.

2.7 Composição proximal e valor energético

A composição proximal foi determinada apenas para o BC e o biscoito selecionado (BS) em função da qualidade física, tecnológica e aceitação sensorial. A composição proximal ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) foi determinada de acordo com os métodos propostos pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2016). O teor de umidade foi obtido por meio do método gravimétrico em estufa à 105 °C, até peso constante (método 925.09-1925); as cinzas pelo método gravimétrico de incineração, em forno mufla a 550 °C (método 923.03-1923); o nitrogênio total pelo método Micro-Kjeldahl, convertido em proteína bruta usando o fator de conversão de 6,25 (método 920.87-1920); os lipídios pelo método de Soxhlet, usando éter de petróleo p.a. como solvente (método 920.39-1920); a fibra alimentar total por processo de digestão enzimática, filtração e pesagem (método 985.29); e o teor de carboidratos totais e de

carboidratos disponíveis foram estimados pelo método da diferença (Equações 6 e 7, respectivamente). Todas as análises foram realizadas em triplicata. O valor energético total foi estimado pelos coeficientes de ATWATER (MERRIL; WATT, 1973), acrescido do valor energético para fibra alimentar (carboidratos disponíveis = 4,0 kcal g⁻¹; lipídeos = 9,0 kcal g⁻¹; proteínas = 4,0 kcal g⁻¹; fibra alimentar total = 2,0 kcal g⁻¹) (FAO, 2003).

$$\text{Carboidratos totais} = 100 - (\text{umidade} + \text{cinzas} + \text{proteínas} + \text{lipídios}). \quad (\text{Equação 6})$$

$$\text{Carboidratos disponíveis} = 100 - (\text{umidade} + \text{cinzas} + \text{proteínas} + \text{lipídios} + \text{fibra alimentar total}).$$

(Equação 7)

2.8 Delineamento experimental e análise estatística

Delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por cinco tratamentos (0, 10, 25, 40 e 55 % de substituição da farinha de trigo por gérmen de milho estabilizado e adicionado de milho torrado) e quatro repetições originais, totalizando assim, 20 unidades experimentais, foi utilizado para avaliação das características físicas e tecnológicas. Um DIC foi utilizado para a aceitação sensorial, com os cinco tratamentos (0, 10, 25, 40 e 55 % de substituição da farinha de trigo por gérmen de milho estabilizado e adicionado de milho torrado) e 100 repetições (provadores). As características físicas, tecnológicas e os atributos sensoriais das amostras foram avaliados com auxílio do software Statistica (Statsoft Inc., Statistica 14.0, Tulsa, EUA), por meio de análise de variância, e as médias comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades físicas, físico-químicas e tecnológicas

Os biscoitos experimentais apresentaram variações significativas em relação aos parâmetros de cor (Tabela 2), apenas não para a coordenada de cromaticidade a^* (+ vermelho). Pois os valores variaram pouco, de 8,25 a 10,60, assim os cinco biscoitos não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$). Todos os biscoitos tenderam igualmente para uma coloração mais avermelhada que esverdeada (Figura 1).

Tabela 2- Características físicas e tecnológicas (média $\pm$ desvio-padrão) dos biscoitos tipo *cookie* em função do nível de substituição de farinha de trigo (FT) por gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave preparado com adição de antioxidante natural (5 % de milho torrado) (GMP).

Propriedade ¹	Nível de substituição de FT por GMP (%)				
	0 (BC) ²	10 (B10)	25 (B25)	40 (B40)	55 (B55)
a^* ²	10,43 $\pm$ 1,76 ^A	8,25 $\pm$ 1,13 ^A	8,99 $\pm$ 2,09 ^A	10,19 $\pm$ 1,37 ^A	10,60 $\pm$ 0,38 ^A
b^* ²	22,68 $\pm$ 0,94 ^A	22,26 $\pm$ 0,45 ^A	20,43 $\pm$ 0,91 ^{AB}	18,05 $\pm$ 2,367 ^{BC}	16,24 $\pm$ 1,36 ^C
L^* ²	61,72 $\pm$ 2,82 ^{AB}	62,87 $\pm$ 1,21 ^A	59,45 $\pm$ 1,86 ^{AB}	56,00 $\pm$ 3,77 ^{BC}	52,28 $\pm$ 1,65 ^C
C^* ²	25,04 $\pm$ 0,32 ^A	27,76 $\pm$ 0,66 ^{AB}	22,31 $\pm$ 1,26 ^{ABC}	21,32 $\pm$ 1,95 ^{BC}	19,42 $\pm$ 0,81 ^C
H° ³	65,26 $\pm$ 3,95 ^{AB}	69,73 $\pm$ 1,97 ^A	66,86 $\pm$ 4,06 ^A	62,34 $\pm$ 5,04 ^{AB}	56,67 $\pm$ 2,71 ^B
VE ⁴	2,92 $\pm$ 0,19 ^A	2,63 $\pm$ 0,49 ^A	3,62 $\pm$ 0,58 ^A	3,01 $\pm$ 0,27 ^A	2,76 $\pm$ 0,22 ^A
Umidade ⁵	3,40 $\pm$ 0,17 ^A	3,21 $\pm$ 0,60 ^A	3,05 $\pm$ 0,06 ^A	3,49 $\pm$ 0,03 ^A	2,70 $\pm$ 0,15 ^A
Aw ²	0,32 $\pm$ 0,03 ^A	0,34 $\pm$ 0,03 ^A	0,32 $\pm$ 0,03 ^A	0,34 $\pm$ 0,01 ^A	0,30 $\pm$ 0,06 ^A
Dureza ⁶	35,35 $\pm$ 7,92 ^A	30,95 $\pm$ 3,52 ^A	33,76 $\pm$ 3,51 ^A	32,97 $\pm$ 9,81 ^A	30,15 $\pm$ 8,32 ^A
IE ²	1,21 $\pm$ 0,03 ^A	1,20 $\pm$ 0,04 ^A	1,18 $\pm$ 0,03 ^A	1,24 $\pm$ 0,02 ^A	1,23 $\pm$ 0,04 ^A

¹ Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha apresentam diferença significativa estatisticamente ($P \leq 0,05$) pelo teste de Tukey; ² adimensional; ³ H° = ângulo Hue (graus); ⁴ VE = volume específico (mL g⁻¹); ⁵ Umidade (g 100 g⁻¹); ⁶ Newton (N).



Figura 2 - Biscoitos tipo *cookie* com diferentes níveis de substituição de farinha de trigo por farinha de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5%). BC = biscoito controle

Em relação à coordenada de cromaticidade b^* (+ amarelo), os valores oscilaram entre 16,24 e 22,68. BC e B10 apresentaram valores significativamente mais elevados que B40 e B55 ($p \leq 0,05$), sendo que B25 não diferiu de B10 e nem de B40 ($p > 0,05$), ou seja, as formulações sem ou com menor substituição de FT por GMP apresentaram coloração amarelada mais acentuada do que as amostras com maiores teores de GMP.

Em relação ao parâmetro L^* (luminosidade ou brilho), os valores se concentraram dentro da faixa entre 52,28 e 62,87. BC, B10 e B25 apresentaram valores maiores que B55 ($p \leq 0,05$), e B40 somente diferiu de B10 (Tabela 2). O que indica que apenas B40 e B55, que apresentaram os maiores níveis de substituição de FT por gérmen de milho, se apresentaram com uma cor mais escura.

Já os valores de croma dos biscoitos experimentais oscilaram entre 19,42 e 27,76. B40 e B55 apresentaram menores índices de saturação ou croma (C^*) que o BC, este não diferiu de B10 e B25, B40 não diferiu de B10, B25 e B55, e B25 não diferiu de nenhum outro biscoito experimental, apresentando uma característica intermediária (Tabela 2). Portanto, houve uma gradual tendência de diminuição da intensidade da cor com a elevação do nível de substituição da FT por GMP.

O ângulo hue dos biscoitos variou de $56,67^\circ$ a $69,73^\circ$ (Tabela 2), sendo que o valor 0° representa a cor vermelha pura e 90° representa a cor amarelo pura (HUNTERLAB, 2008). B10 e B25 diferiram apenas de B55 em relação ao ângulo Hue, assim B10 e B25 apresentaram uma tonalidade alaranjada mais amarelada, enquanto B55 um alaranjado mais avermelhado, os demais biscoitos não diferiram entre si, apresentando tonalidade intermediárias.

Sakač et al. (2019) ao investigar a utilização do gérmen de trigo desengordurado como substituto da farinha de trigo em biscoitos e seus efeitos na formação de hidroximetilfurfural (HMF) e nos parâmetros de cor instrumental, constataram que o biscoito controle (sem

gérmen de trigo) apresentou uma superfície mais clara, sendo que o índice de escurecimento se mostrou maior para biscoitos feitos com maiores concentrações de gérmen de trigo desengordurado, similar ao ocorrido no presente estudo. O HMF se origina no processo de cocção dos biscoitos, decorrente das reações de Maillard e de caramelização.

Os biscoitos experimentais apresentaram pequenas variações no volume específico (de 2,63 a 3,01 mL g⁻¹) e no índice de expansão (de 1,18 a 1,24), não apresentando diferença significativa entre os diferentes níveis de substituição de FT por GMP ($p \leq 0,05$) (Tabela 2). Portanto, a substituição de até 55 % da farinha de trigo por farinha de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %) não afetou significativamente estas propriedades, o que é extremamente importante, pois indica que é possível substituir os ingredientes sem comprometer estas características, que afetam diretamente a textura e aceitação sensorial do produto (RODRIGUES; CALIARI; ASQUIERI, 2011).

A manutenção dos níveis adequados de umidade e atividade de água (A_w) é muito importante em produtos de panificação para garantir a estabilidade microbiológica e a vida útil dos produtos (LIMA, 2019; JAYAWARDANA, 2021). Não houve diferença estatística para umidade e atividade de água entre os cinco biscoitos tipo *cookie* nesta pesquisa, pois os valores variam muito pouco, entre 2,70 e 3,49 %, e entre 0,30 e 0,34, respectivamente (Tabela 2). A manutenção dos níveis de umidade e A_w nos biscoitos tipo *cookies* é muito importante, pois indicou que a substituição da FT por GMP não comprometeu esses fatores críticos de segurança e qualidade, e que o processo de cocção foi hábil para remover a umidade a níveis adequados para a conservação do produto, apesar do nível mais elevado de fibras dos biscoitos com substituição parcial dos ingredientes em relação ao BC.

Lima et al. (2019) encontraram valores superiores de a_w para biscoitos confeccionados com farinha de resíduos de frutas (entre 0,43 a 0,49). Segundo esses autores, alterações na crocância e na durabilidade de biscoitos, dependem significativamente deste parâmetro, e que para biscoito o nível ideal de a_w deve ser inferior a 0,6, pois nesta faixa ocorre uma estabilidade microbiológica, desde que o produto seja adequadamente embalado. Assim, o BC e os biscoitos com adição de GMP deste estudo apresentaram valores adequados de a_w .

De acordo com a Resolução RDC 711/2022 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2022), que dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães, o teor máximo de umidade permitido para amidos de cereais, farelos e farinhas é de

15%. Os teores de umidade para o biscoito padrão e os biscoitos adicionados de gérmen de milho variaram de 2,70 a 3,49 %, o que não ultrapassa o valor máximo permitido para farinhas. Em um estudo sobre o desenvolvimento de biscoitos com baixo teor de glúten utilizando farinha composta de milheto e farinha de trigo, foi observado que com o aumento do nível da farinha de milheto nos biscoitos, houve aumento da umidade, e os valores encontrados variaram de 2,3 % para o controle à 4,7 % para o biscoito com 100 % de substituição (KULKARNI; SAKHALE; CHAVAN, 2021). Segundo estes autores, esse aumento pode ser justificado pela alta capacidade de retenção de umidade da farinha de milheto em relação a farinha de trigo, tendência não observada neste estudo.

Em relação à dureza, medida da resistência dos alimentos à deformação (XIONG et al., 2023), pôde-se observar que todos os biscoitos experimentais apresentaram valores semelhantes, entre 30,15 a 35,35 N (Tabela 2), pois não houve diferença estatística entre os mesmos ($p > 0,05$). O que indica que a adição de gérmen de milho estabilizado com vapor direto em autoclave e adicionado de antioxidante natural não afetou significativamente a firmeza dos biscoitos, aspecto importante para a aceitação dos mesmos pelos consumidores (CHEN; OPARA, 2013).

Kaur et al. (2019) encontraram valores de dureza menores, de 13,41 N (10 % de adição) e 12,01 N (30 % de adição) em amostras de biscoitos de farinha de trigo refinada adicionados de farinha de linhaça torrada. Esses autores reportaram que a dureza dos biscoitos diminuiu com o aumento do teor de linhaça, porque a textura dos biscoitos ficou mais macia devido à maior capacidade de ligação da água com as proteínas e fibras alimentares presentes na farinha de linhaça, resultando em uma diminuição da dureza dos biscoitos. Ao contrário deste estudo, no qual não houve diferença significativa entre os valores de dureza dos biscoitos com a elevação da farinha de gérmen de milho estabilizado e adicionado de milho torrado moído nas formulações de biscoitos tipo *cookie*, provavelmente devido à influência da aplicação direta de vapor d'água em autoclave durante a estabilização do gérmen de milho sobre a estrutura do amido (gelatinização), fibras (hidrólise) e proteínas (desnaturação), ou ainda a ligação entre as moléculas de proteína e carboidratos com os compostos fenólicos do milho torrado utilizado como antioxidante natural (JIA et al., 2020).

3.2 Análises microbiológicas

Todas as formulações dos biscoitos tipo *cookies* estão de acordo com os limites estabelecidos na Instrução Normativa - IN nº 161, de 1º de julho de 2022 (Tabela 3), conforme o item 19 (d) para “pães, bolos, bolachas, biscoitos e outros produtos de panificação, estáveis à temperatura ambiente” (BRASIL, 2022).

Tabela 3. Risco microbiológico dos biscoitos tipo *cookie* em função do nível de substituição de farinha de trigo (FT) por gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave preparado com adição de antioxidante natural (5 % de milho torrado) (GMP).

Microorganismo	0 (BC)	10 (B10)	25 (B25)	40 (B40)	55 (B55)	Limites permitidos (VMP) ¹
<i>Salmonella sp/25g</i>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausência em 25g
<i>Bacillus cereus</i> presuntivo (UFC/g)	<10 UFC	<10 UFC	<10 UFC	<10 UFC	<10 UFC	10 ² UFC
<i>Escherichia coli</i> (UFC/g)	<1UFC	<1UFC	<1UFC	<1UFC	<1UFC	10 UFC
Bolores e leveduras (UFC/g)	<100 UFC	<100 UFC	<100 UFC	<100 UFC	<100 UFC	5x10 ² UFC

¹VMP: Valor Máximo Permitido

3.3 Aceitação sensorial e intenção de compra

A cor dos alimentos é um fator importante na indústria alimentícia, podendo influenciar a percepção da qualidade do alimento, além de afetar a decisão de compra do consumidor (MORAES et al., 2010). Para o atributo cor, as médias variaram de 6,88 a 8,05 (entre gostei ligeiramente a pouco acima de gostei muito), sendo a maior nota foi atribuída ao B10, que não diferiu de B25 e B40, enquanto a menor nota média foi de B55, que não diferiu da nota do BC (Tabela 4).

Já para aparência, as notas variaram entre 6,70 e 8,73 (entre gostei ligeiramente a pouco abaixo de gostei muitíssimo) B10 obteve a maior nota, seguida por B25, B40 e BC, semelhantes ao nível de 5 % de probabilidade. A menor nota média para aparência também foi designada para o B55 (Tabela 4).

Tabela 4 – Atributos sensoriais cor; aparência; aroma; textura; sabor e avaliação global determinadas no teste de aceitabilidade sensorial dos biscoitos tipo *cookie* com diferentes níveis de substituição de farinha de trigo (FT) por farinha de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %) (GMP)

Atributo ¹	Nível de substituição de FT por GMP (%)				
	0 (BC)	10 (B10)	25 (B25)	40 (B40)	55 (B55)
Cor	7,42 ^{BC}	8,05 ^A	7,55 ^{AB}	7,74 ^{AB}	6,88 ^C
Aparência	7,34 ^B	8,73 ^A	7,51 ^B	7,47 ^B	6,70 ^C
Aroma	6,78 ^{AB}	7,33 ^A	6,88 ^{AB}	6,63 ^{AB}	6,38 ^B
Textura	7,62 ^{AB}	7,76 ^A	7,31 ^{ABC}	7,09 ^{BC}	6,81 ^C
Sabor	7,64 ^A	7,84 ^A	7,43 ^{AB}	6,96 ^{BC}	6,42 ^C
Avaliação global	7,54 ^{AB}	7,99 ^A	7,26 ^{BC}	6,96 ^{CD}	6,48 ^D

¹ Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha não apresentam diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) pelo teste Tukey

As notas médias para o aroma dos biscoitos oscilaram entre 6,38 a 7,33 (de gostei ligeiramente a pouco acima de gostei moderadamente), e o B10 obteve a maior nota, diferindo apenas do B55, também a menor nota média (Tabela 4). O BC obteve nota igual estatisticamente a todos os demais, indicando assim que a adição da farinha de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %) não afetou este atributo.

Em relação ao sabor as notas variaram entre 6,42 e 7,84 (entre gostei ligeiramente a pouco abaixo de gostei muito), o B10 novamente obteve a maior nota, que foi semelhante às notas do BC e do B25 ($p > 0,05$). Por outro lado, houve diferença do BC com B40 e B55, este último novamente obteve a menor nota (Tabela 4). Indicando portanto, que os potenciais consumidores preferiram os biscoitos com 40% de substituição de FT por GMP.

Já para textura e a avaliação global as maiores notas médias (7,76 e 7,99, respectivamente) também foram para o B10 (entre gostei moderadamente e quase gostei muito), que diferiu de B40 e B55 (menores notas 6,81 e 6,48, respectivamente), entre as classificações gostei ligeiramente e quase gostei moderadamente (Tabela 4).

A aceitabilidade do consumidor é determinada através da ciência sensorial que mede, analisa e interpreta as respostas relacionadas aos produtos, conforme percebidas através dos sentidos da visão, olfato, tato, paladar e audição. Este conhecimento é importante para qualquer novo produto antes de entrar no mercado para garantir a sua sobrevivência. A

identificação das preferências do consumidor também ajuda a determinar quais produtos são adequados e os parâmetros do produto que requerem melhorias adicionais (MANDHA et al., 2021). Diante disso, o índice de aceitabilidade (IA) é um parâmetro utilizado para avaliar a aceitação de um produto. Segundo Castro et al. (2007) e Texeira et al. (1987), para que um produto seja considerado aceito quanto às suas propriedades sensoriais, é necessário que obtenha um IA de no mínimo 70%.

O B10 se destacou com os maiores valores para todos os atributos. Logo, o biscoito tipo *cookie* com 10 % de substituição de farinha de trigo por farinha de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %) foi mais aceito que os demais biscoitos, incluindo o *cookie* padrão sem adição de GMP, indicando que a utilização deste coproduto devidamente preparado na produção de biscoitos tipo *cookie* é atrativa sensorialmente, com alto potencial comercial no mercado consumidor. Entretanto, neste trabalho todos os biscoitos tipo de *cookies* obtiveram um índice de aceitabilidade maior que 70 % (Tabela 5). Assim, conclui-se que todos foram aceitos sensorialmente. Ressalta-se que o B10 obteve o maior índice de aceitabilidade, de acordo com as maiores médias entre todos os atributos sensoriais (Tabela 4, Figura 3).

Apesar deste fato, o B25 foi escolhido para avaliação da composição proximal, pois obteve ótimos índices de aceitabilidade, com valores acima de 80 % para todos os atributos sensoriais, exceto para aroma (Tabela 5). Além do que, tanto nas propriedades tecnológicas (Tabela 2), como no teste de aceitabilidade (Tabela 4), o B25 não diferiu estatisticamente em relação ao BC. Portanto, para um maior enriquecimento nutricional dos biscoitos, o B25 foi considerado o biscoito selecionado (BS) e foi comparado com o BC.

Tabela 5 – Índice de aceitabilidade dos biscoitos tipo *cookie* com diferentes níveis de substituição (NS) de farinha de trigo (FT) por farinha de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %) (GMP)

NS	Cor	Aparência	Aroma	Textura	Sabor	Avaliação global
0%	82,44	81,56	75,33	84,67	84,89	83,78
10%	89,44	90,33	81,44	86,22	87,11	88,78
25%	83,89	83,44	76,44	81,22	81,56	80,67
40%	86	83	73,67	78,78	77,33	77,33
55%	76,44	74,67	70,89	75,67	71,33	72,00

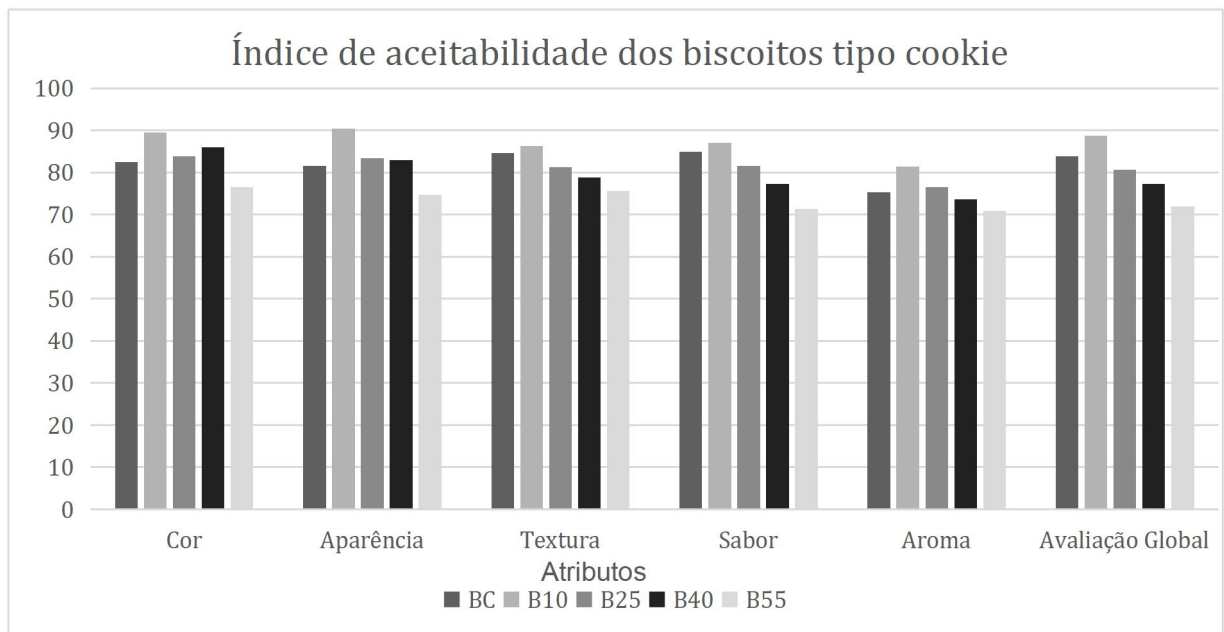


Figura 3 - Aceitabilidade sensorial dos biscoitos tipo *cookie* com diferentes níveis de substituição (NS) de farinha de trigo (FT) por farinha de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %) (GMP).

Na análise de intenção de compra foi verificado que o B10 obteve a maior média (4,33, entre provavelmente compraria e certamente compraria), seguido de BC (3,97, próximo a provavelmente compraria), B25 e B40 (3,58 e 3,46, respectivamente e entre tenho dúvida se compraria e provavelmente compraria), e por último B55 (3,09, próximo a tenho dúvida se compraria) (Figura 4).

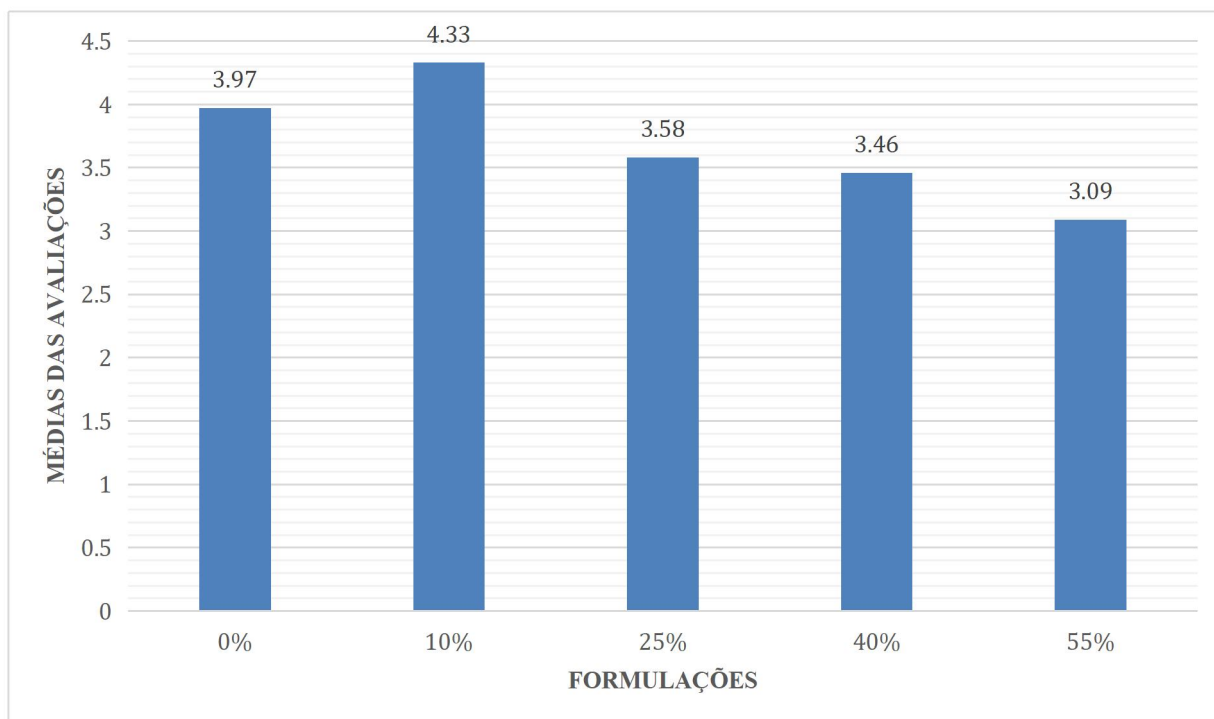


Figura 4 – Intenção de compra dos biscoitos tipo *cookie* com diferentes níveis de substituição (NS) de farinha de trigo (FT) por farinha de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %) (GMP).

3.3 Composição proximal e valor energético total

O BC obteve umidade 11,47 % maior quando comparado o B25, pois os valores determinados foram 3,40 e 3,05 %, respectivamente (Tabela 6). Estes valores de umidade estão de acordo com o nível máximo de umidade permitido para amidos de cereais, farelos e farinhas, 15%, conforme RDC 711/2022 (BRASIL, 2022).

Ao estudar as características de biscoitos elaborados com diferentes níveis de farinha de milho e açúcar de palma, Dewi; Sudiarta e Rudianta (2022) observaram que quanto maior o nível de substituição de farinha de milho menor foi o valor de umidade encontrado. Para adição de 15 % de açúcar de palma, seus valores de umidade variaram de 7,41 a 6,04 %. Os autores explicaram que a redução do teor de água foi devido ao baixo teor de glúten na massa, pois quanto menor o teor de glúten, mais fácil à liberação de moléculas de água que ocorre durante o cozimento.

Tabela 6 – Composição centesimal (base úmida) e valor energético total (VET), acidez e pH dos biscoitos tipo *cookie* sem e com 25 % de substituição de farinha de trigo por farinha de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %)

Componente propriedade	ou BC	B25
Umidade	3,40 ± 0,17	3,05 ± 0,06
Cinzas	1,37 ± 0,04	1,68 ± 0,22
Lipídeos	19,24 ± 0,10	20,62 ± 0,173
Proteína	5,05 ± 0,22	5,01 ± 0,23
Fibra alimentar total	3,46 ± 0,50	7,96 ± 0,10
Carboidratos totais	70,94 ± 0,2981	69,64 ± 0,3671
Carboidratos disponíveis	67,48 ± 0,5821	61,68 ± 0,38
VET	470,20	468,26
Acidez	0,85 ± 0,25	1,33 ± 0,09
pH	7,09 ± 0,05	6,81 ± 0,06

*Média ± desvio padrão

Isso acontece porque o glúten tem grande tendência a se ligar à água, portanto, quanto menos glúten, menor será o teor de água. Dewi; Sudiarta e Rudianta (2022) também relataram que a farinha de milho tem uma capacidade limitada de retenção de água devido à presença de componentes de fibra solúveis em água, particularmente glucano. Quanto menor for o teor de glucano da farinha, mais fraca será a sua capacidade de reter água. O teor de cinzas de B25 foi 22,63 % maior que BC (Tabela 6), apontando um pequeno enriquecimento de nutriente minerais no biscoito tipo *cookie* com 25% de substituição da FT por GMP. O BC apresentou teor muito similar ao estudo de Martínez et al. (2021), que reportaram 1,34 % de cinzas para *cookies* produzidos com farinha de trigo.

O BC apresentou teor de lipídeos de 19,24 %, enquanto B25 20,62 %, apenas 7,17% a mais de lipídeos, enriquecimento um pouco abaixo do esperado, pois o GMP possui um teor mais elevado de lipídios (11,01 %) do que a FT. O que talvez possa ser explicado pela formação de complexos entre os lipídios e os compostos fenólicos presentes no milho torrado. O gérmen de milho concentra quase a totalidade dos lipídios do grão de milho, germens de cereais são conhecidos por apresentarem alto teor de ácidos graxos poli-insaturados que

podem ser considerados uma fonte saudável de gordura (WANG et al., 2021), que provavelmente melhorou o perfil de ácidos graxos do B25 em relação ao BC. Por envolver as partículas de açúcar e farinha de trigo, a gordura tem o potencial de minimizar o tempo de mistura necessário para a confecção dos biscoitos, além de desempenhar o papel de regular a formação de excesso de glúten, tornando o produto mais macio (LIMA et al., 2019), outra vantagem de B25 em relação a BC.

O BC apresentou 5,05 % de proteína e o B25 5,01 %, sendo assim, o acréscimo de 25 % de gérmen de milho para a produção de *cookies* não adicionou proteína à formulação. De forma semelhante, em estudos com substituição de farinha de trigo por farinha de milheto, foi relato um teor de 8,07 % para biscoitos com 50 % de substituição da farinha de trigo, enquanto o controle obteve um resultado de 8,63 % (JAYAWARDANA et al., 2021).

Os teores de fibra alimentar total (FAT) foram de 3,46 e 7,96 % para BC e B25, respectivamente (Tabela 6), o que representou um enriquecimento ao redor de 130 % de FAT. Este aspecto foi bastante positivo, visto que apesar dos benefícios para a saúde associados às fibras, que estão relacionados com parâmetros metabólicos, composição da microbiota e síntese de metabolitos, a ingestão de fibras permanece baixa nas sociedades ocidentais (KOH, BÄCKHED, 2020). Assim a fortificação de alimentos com fibras é um interesse crescente da indústria alimentar. Ao estudar a substituição da farinha de trigo por farinhas desengorduradas de linhaça, gergelim, chia e papoula, em biscoitos, Martínez et al. (2021), encontraram 4,03 e 6,96 % de FAT para biscoitos tipo *cookie* produzidos com farinha desengordurada de linhaça e de papoula respectivamente, valores inferiores ao determinado para B25 neste trabalho. Estes autores também apresentaram o teor de fibras de biscoitos produzidos com farinha de trigo sem substituição por outras farinhas alternativas que foi de 0,75 %, abaixo do valor determinado para BC do presente estudo. Neste contexto, biscoitos produzidos com 25 % de substituição de farinha de trigo por gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %) possuem vantagens nutricionais e possivelmente funcionais quando comparados com aqueles formulados com base somente na farinha de trigo.

A determinação de acidez pode fornecer um dado valioso na avaliação do estado de conservação de um produto alimentício, pode-se observar nesse estudo, que B25 apresentou acidez de 1,33 %, enquanto que BC 0,85 %, o que representou um aumento de 56,47% na acidez. Validando esta informação o valor de pH do B25 foi de 6,81, 3,85 % menor que o

determinado para o BC ($\text{pH} = 7,09$), o que aponta uma pequena vantagem físico-química do B25 em relação ao BC em relação a estabilidade microbiológica do produto.

4 CONCLUSÃO

A adição de gérmen de milho em biscoitos tipo *cookie* é uma estratégia viável para a fortificação desses produtos com nutrientes importantes para a saúde. A substituição da farinha de trigo por até 55 % de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %) não afetou significativamente as propriedades físicas e tecnológicas (umidade, a_w , índice de expansão, volume específico e dureza) dos biscoitos tipo *cookie*, o que sugere que a substituição dos ingredientes pode ser feita sem comprometer a qualidade do produto, embora tenha afetado a cor instrumental, com um ligeiro escurecimento acima de 25% de substituição, mas ainda sem prejudicar muito a aparência, visto que todos os biscoitos apresentaram índice de aceitação sensorial acima de 70 %. Quanto à composição centesimal, a substituição de 25% da FT pela farinha de gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %) resultou em um aumento de 130 % no teor fibras e de 22,63 % de cinzas, o que indica que a substituição dos ingredientes estudados pode ser uma estratégia segura para a fortificação de biscoitos. Conclui-se que as propriedades nutricionais do gérmen de milho estabilizado por vapor direto em autoclave e adicionado de milho torrado (5 %) com a popularidade e conveniência dos biscoitos, tem um grande potencial para o desenvolvimento de produtos alimentares mais saudáveis e atrativos para os consumidores. No entanto é importante ressaltar que ainda são necessários estudos adicionais para avaliar a viabilidade econômica da produção desses produtos em larga escala.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Committee on Microbiological Methods for Foods. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. Washington: APHA, 2015.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002**. Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados aplicados aos Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação em Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2002/anexos/anexo_res0275_21_10_2002_rep.pdf. Acesso em: 3 maio 2021.

AOAC. American Association of Cereal Chemists. **Approved methods**, 11th ed., St. Paul:: AOAC, 2016.

STONE, H.; SIDEL, J.L. **Sensory evaluation practices** Florida, Academic Press, 1985. Cap.7: Affective testing, p. 227-252.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução normativa nº 161, de 1 de julho de 2022**. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. Brasília, DF, 2022. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/IN_161_2022_.pdf/b08d70cb-add6-47e3-a5d3-fa317c2d54b2. Acesso em: 3 maio 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução de Diretoria Colegiada - RDC Nº 724, de 1 de julho de 2022**. Dispõe sobre os padrões microbiológicos dos alimentos e sua aplicação. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_724_2022_.pdf/33c61081-4f32-43c2-9105-c318fa6069ce#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20os%20padr%C3%B5es%20microbiol%C3%B3gicos%20dos%20alimentos%20e%20sua%20aplica%C3%A7%C3%A3o.&text=DISP

OSI%C3%87%C3%95ES%20PRELIMINARES-

,Art.,dos%20alimentos%20e%20sua%20aplica%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 3 maio 2021.

CASTRO, L. A. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): digestibilidade *in vitro*, desenvolvimento e análise sensorial de preparações destinadas a pacientes celíacos. **Revista Alimentos e Nutrição**, v.18, n.4, p. 413-419, 2007.

CHEN, L.; OPARA, U. L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods – A review. **Food Research International**, Beltsville, v.51, p. 823-835, 2013.

DEWI, N. K. K. S.; I WAYAN SUDIARTA; I NYOMAN RUDIANTA. Substitution of Corn Flour and Additional Palm Sugar to *cookies* Characteristics. **SEAS (Sustainable Environment Agricultural Science)**, v. 6, n. 1, p. 42–52, 9 2022. DOI 10.22225/seas.6.1.4965.42-52.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (2003). **Food energy** - methods of analysis and conversion factors. FAO Food and Nutrition Paper, 77. Rome: FAO.

GARCÍA-LARA, S.; SERNA-SALDIVAR, S. O. Corn history and culture. **Corn**, p. 1–18, 2019. DOI 10.1016/b978-0-12-811971-6.00001-2.

HUNTERLAB. **Insight on color**: CIE L* a* b* color scale. Reston, VA, USA. 2008.

JAYAWARDANA, S. A. S.; SAMARASEKERA, J. K. R. R.; HETTIARACHCHI, G. H. C. M.; GOONERATNE, J. Formulation and quality evaluation of finger millet (*Eleusine coracana* (L.) gaertn.) flour incorporated biscuits. **Food Science and Technology International**, Nova Iorque, v. 28, n. 5, p. 430–439, 2021. DOI 10.1177/10820132211020839.

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**, Nova Iorque, v. 99, p. 105349, 2020.

KAUR, P.; SHARMA, P.; KUMAR, V.; PANGHAL, A.; KAUR, J.; GAT, Y. Effect of addition of flaxseed flour on phytochemical, physicochemical, nutritional, and textural properties of *cookies*. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 18, n. 4, p. 372–377, 2019. DOI 10.1016/j.jssas.2017.12.004.

KOH, A.; BÄCKHED, F. From Association to Causality: the Role of the Gut Microbiota and Its Functional Products on Host Metabolism. **Molecular Cell**, v. 78, n. 4, p. 584–596, 2020. DOI 10.1016/j.molcel.2020.03.005.

KULKARNI, D. B.; SAKHALE, B. K.; CHAVAN, R. F. Studies on development of low gluten *cookies* from pearl millet and wheat flour. **Food Research**, v. 5, n. 4, p. 114–119, 18 Jul. 2021. DOI 10.26656/fr.2017.5(4).028.

LIMA, A. R. N. L.; CÂMARA, G. B.; OLIVEIRA, T. K. B. de.; ALENCAR, W. D. A.; VASCONCELOS, S. H.; SOARES, T. da. C.; SOARES, T. da. C.; CAVALCANTI, M. da. S. Caracterização físico - química e microbiológica de biscoitos confeccionados com farinha de resíduos de frutas. **Research, Society and Development**, São Paulo, v. 8, n. 11, p. 1-18, 2019.

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

MANDHA, J.; SHUMOY, H.; DEVAERE, J.; SCHOUTETEN, J. J.; GELLYNCK, X.; DE WINNE, A.; MATEMU, A. O.; RAES, K. Effect of lactic acid fermentation of watermelon juice on its sensory acceptability and volatile compounds. **Food Chemistry**, Barking, v. 358, p. 129809, 2021. DOI 10.1016/j.foodchem.2021.129809.

MARTI, A.; TORRI, L.; CASIRAGHI, M. C.; FRANZETTI, L.; LIMBO, S.; MORANDIN, F.; QUAGLIA, L.; PAGANI, M. A. Wheat germ stabilization by heat-treatment or sourdough fermentation: Effects on dough rheology and bread properties. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 59, n. 2, p. 1100–1106, 2014. DOI 10.1016/j.lwt.2014.06.039.

MARTÍNEZ, E.; GARCÍA-MARTÍNEZ, R.; ÁLVAREZ-ORTÍ, M.; RABADÁN, A.; PARDO-GIMÉNEZ, A.; PARDO, J. E. Elaboration of Gluten-Free *cookies* with Defatted Seed Flours: Effects on Technological, Nutritional, and Consumer Aspects. **Foods**, Basel, v. 10, n. 6, p. 1213, 2021. DOI 10.3390/foods10061213.

MCGUIRE, R. G. Reporting of Objective Color Measurements. **HortScience**, v. 27, n. 12, p. 1254–1255, 1992. DOI 10.21273/hortsci.27.12.1254.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. **Sensory evaluation techniques**. 3.ed. New York: CRC, 1999. 281 p.

MERRIL, A. L. WATT, B. K. **Energy value of foods: basis and derivation**. Washington: United States Department of Agriculture, 1973. 105 p.

MORAES, K. S. de; ZAVAREZA, E. da R.; MIRANDA, M. Z. de; SALAS-MELLADO, M. de las M. Avaliação tecnológica de biscoitos tipo *cookie* com variações nos teores de lipídio e de açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, p. 233–242, May 2010. DOI 10.1590/s0101-20612010000500036.

REDAELLI, R.; ALFIERI, M.; CABASSI, G. Development of a NIRS calibration for total antioxidant capacity in maize germplasm. **Talanta**, v. 154, p. 164-168, 2016. DOI: 10.1016/j.talanta.2016.03.048.

RODRIGUES, J. P. de 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, Dec. 2011. DOI 10.1590/s0103-84782011001200025.

SABCHUK, T. T.. **Co-produtos do milho e perdas endógenas da gordura em cães**. 2018. 87 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/58294/R%20-%20T%20-%20TABYTA%20TAMARA%20SABCHUK.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 abr. 2021.

SAKAČ, M.; JOVANOVIĆ, P.; PETROVIĆ, J.; PEZO, L.; FIŠTEŠ, A.; LONČAREVIĆ, I.; PAJIN, B. Hydroxymethylfurfural content and colour parameters of *cookies* with defatted wheat germ. **Czech Journal of Food Sciences**, Prague, v. 37, n. 4, p. 285–291, 2019. DOI 10.17221/324/2017-cjfs.

SAMTIYA, M.; ALUKO, R. E.; DHEWA, T.; MORENO-ROJAS, J. M. Potential Health Benefits of Plant Food-Derived Bioactive Components: An Overview. **Foods**, Basel, v. 10, n. 4, p. 839, 2021. DOI 10.3390/foods10040839.

SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI, M.; TORRES, M. C. L.; VERA, R.; TEIXEIRA, J. S.; ALVES, L. C. Qualidade de biscoitos formulados com diferentes teores de farinha de amêndoa de baru (*Dipteryx alata* Vog.). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 51-56, 2007.

SOUSA, M. F. de; GUIMARÃES, R. M.; ARAÚJO, M. de O.; BARCELOS, K. R.; CARNEIRO, N. S.; LIMA, D. S.; SANTOS, D. C. D.; BATISTA, K. de A.; FERNANDES, K. F.; LIMA, M. C. P. M.; EGEEA, M. B. Characterization of corn (*Zea mays* L.) bran as a new food ingredient for snack bars. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 101, p. 812–818, 2019. DOI 10.1016/j.lwt.2018.11.088.

TEIXEIRA, E.; MEINERT, E.M.; BARBETA, P. A. **Análise Sensorial de Alimentos**. Florianópolis: UFSC, 1987.

TUROLA BARBI, R. C.; TEIXEIRA, G. L.; HORNUNG, P. S.; ÁVILA, S.; HOFFMANN-RIBANI, R. Eriobotrya japonica seed as a new source of starch: Assessment of phenolic compounds, antioxidant activity, thermal, rheological and morphological properties. **Food Hydrocolloids**, Nova Iorque, v. 77, p. 646–658, 2018. DOI 10.1016/j.foodhyd.2017.11.006.

WALTER, M.; MARCHESAN, E. Phenolic compounds and antioxidant activity of rice. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 54, n. 2, p. 371–377, 2011. DOI 10.1590/s1516-89132011000200020.

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, 2021. DOI 10.1016/j.foodchem.2021.130066.

XIONG, S.; LI, Y.; CHEN, G.; ZOU, H.; YU, Q.; SI, J.; YANG, H. Incorporation of Huangjing flour into *cookies* improves the physicochemical properties and in vitro starch digestibility. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 184, p. 115009, 2023. DOI 10.1016/j.lwt.2023.115009.

ЯРМАГАМЕТОВА, А.Б.; КИЗАТОВА, М.Ж. CURRENT STATE OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING EXTRACT FROM CORN GERM (ZEA MAYS GERMINIS). **Farmaciã Kazahstana**, n. 2, p. 79–83, 2021. DOI 10.53511/pharmkaz.2021.31.72.021.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os resultados obtidos ao longo desta pesquisa sobre a estabilidade oxidativa do gérmen de milho integral autoclavado e sua aplicação em biscoitos, algumas considerações finais podem ser realizadas:

- 1) Potencial Antioxidante do milho torrado:** O milho torrado em seu maior grau de torra apresentou um alto potencial antioxidante. Isso sugere que o milho torrado pode ser uma fonte promissora de compostos antioxidantes para aplicações em alimentos.
- 2) Estabilidade oxidativa:** A adição de antioxidantes naturais foi satisfatória, influenciando positivamente nos valores de TBARS, prevenindo a oxidação lipídica. Destaca-se a aplicação de extrato de milho torrado como sendo o ensaio mais promissor, levando as maiores quedas nos valores de TBARS.
- 3) Aplicação em Biscoitos:** Os biscoitos formulados com os diferentes níveis de substituição da farinha de trigo por gérmen de milho estabilizado mostraram características físicas, tecnológicas e sensoriais satisfatórias. A adição de antioxidante natural em pó (milho torrado e moído) nos biscoitos se mostrou viável em relação às características físicas e sensoriais dos mesmos.
- 4) Perspectivas Futuras:** Considerando os resultados promissores desta pesquisa, sugere-se a continuidade dos estudos para explorar novas aplicações do gérmen de milho integral autoclavado em diferentes produtos alimentícios. Além disso, investigações sobre a estabilidade oxidativa em condições diferentes de armazenamento prolongado e a avaliação do impacto na saúde humana desses produtos poderiam ser realizadas.

Em suma, o gérmen de milho estabilizado por autoclavagem sob vapor direto e adicionado de milho torrado em pó ou na forma de extrato é um promissor novo ingrediente para a indústria de panificação, contribuindo para a promoção de uma alimentação mais saudável e nutritiva.