

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DO SORGO
GERMINADO EM DIFERENTES TEMPOS

PAMELA CRISTINA SANTOS
RAYZA ROXANE DE OLIVEIRA LEITE

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL

2024

CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DO SORGO GERMINADO EM DIFERENTES TEMPOS

Pamela Cristina Santos
Rayza Roxane de Oliveira Leite

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Vanderleia Schoeninger

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Agrícola.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

L533c Leite, Rayza Roxane De Oliveira; Santos, Pamela Cristina

CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DO SORGO GERMINADO EM DIFERENTES TEMPOS [recurso eletrônico] / Rayza Roxane De Oliveira Leite, Pamela Cristina Santos. -- 2024.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Vanderdeia Schoeninger.

TCC (Graduação em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024. Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Germinação. 2. Propriedades físicas. 3. Proteínas. I. Santos, Pamela Cristina. II. Schoeninger, Vanderdeia. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DO SORGO GERMINADO EM DIFERENTES TEMPOS

Por

Pamela Cristina Santos
Rayza Roxane de Oliveira Leite

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA

Aprovado em: 08 de fevereiro de 2024



Documento assinado digitalmente
VANDERLEIA SCHOENINGER
Data: 02/04/2024 17:48:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Drª. Vanderleia Schoeninger
Orientador – UFGD/FCA



Documento assinado digitalmente
MARIANA ZAMPAR TOLEDO
Data: 31/03/2024 23:34:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Drª. Mariana Zampar Toledo
Membro da banca – UFGD/FCA

Naiara Lopes Duarte – Panage Foods
Membro da banca

AGRADECIMENTOS PAMELA

À medida que encerro esta jornada, olho para trás e vejo um caminho marcado por desafios, aprendizados e, acima de tudo, pela incrível presença de pessoas que fizeram cada passo valer a pena. Agradeço, em primeiro lugar, a Deus e a Nossa Senhora Aparecida, por serem minha luz nos momentos mais sombrios e por guiarem cada passo dessa trajetória desafiadora.

À minha mãe Fátima Barbosa e ao meu padrasto Djalma, que é como um segundo pai, dedico esta etapa com o coração transbordando de amor e reconhecimento. Este sucesso é tão deles quanto meu, pois sem seu apoio incondicional, dedicação e confiança, eu não teria alcançado este feito.

Ao meu marido Nicolau Martinez, agradeço por ser minha rocha, por acreditar em mim quando eu duvidei, por compartilhar o fardo dos desafios e por ser a fonte inesgotável de amor e suporte. Seu amor renovava minhas energias diariamente para prosseguir. A você, meu companheiro de vida, esta etapa também te pertence.

Ao meu querido irmão, Alysson Luis, manifesto minha profunda gratidão por sua presença constante, unido a mim de coração. À minha cunhada Danyelle e ao meu cunhado Vidal, expresso meu sincero agradecimento por acreditarem em mim e dedicarem suas preces ao longo deste desafiador caminho. Aos meus amados sobrinhos, Lucas Davi e Maria Luiza, que se tornaram fontes inesgotáveis de inspiração e esperança nos momentos em que duvidei de minha própria capacidade, meu agradecimento especial por fazerem parte desta jornada.

À minha dupla de TCC e amiga de longa data, Rayza Roxane, expresso profundos agradecimentos pela paciência, amizade, parceria, risadas e até pelas dores de cabeça que enfrentamos juntas ao longo desse caminho desafiador. Sem a sua presença e apoio incansável, nada disso teria sido possível. Sou verdadeiramente grata por cada momento compartilhado e por contribuir significativamente para o sucesso deste trabalho.

A minha orientadora excepcional, Professora Doutora Vanderleia, merece meus sinceros agradecimentos por sua dedicação incansável, carinho, compartilhamento de conhecimento, força e esperança que foram fundamentais durante todo o percurso desta dissertação. Obrigada por aceitar me orientar e por me ensinar o quanto podemos nos tornar aquilo que desejamos, tanto profissional quanto pessoalmente.

Agradeço profundamente à Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA) - Milho e Sorgo (CNPMS), com sede na cidade de Sete Lagoas, Minas Gerais, que prontamente aceitaram contribuir com a análise NIR (“Near Infrared Reflectance”) que foi fundamental para a obtenção de resultados valiosos para a nossa pesquisa.

Quero dedicar um sincero agradecimento à minha banca de TCC, formada pela dedicada Profª Drª. Mariana Zampar e pela atenciosa Naiara Lopes. Suas contribuições marcadas pela compreensão e gentileza foram realmente valiosas para o desenvolvimento final do meu trabalho. Estou profundamente grata por ter tido a oportunidade de contar com o auxílio de vocês neste momento importante da minha formação. Muito obrigada por tudo.

Expresso meus agradecimentos ao meu amigo Fabio, que não poupou esforços para colaborar nas análises laboratoriais, demonstrando total dedicação e apoio ao longo desta jornada acadêmica. Agradeço por sua amizade, generosidade e valiosa contribuição para o sucesso deste trabalho. Conte comigo e com minha amizade durante a continuidade da jornada da vida.

Aos meus queridos amigos Padre Ciro, Malu e Victoria, não posso expressar em palavras o quanto sou grata por suas presenças que trouxeram não apenas tranquilidade, mas uma bênção constante à minha vida. A orientação sábia que recebi de cada um de vocês e a acolhida calorosa em sua amizade foram como raios de luz nos momentos mais sombrios desta jornada. Agradeço do fundo do meu coração pela paz que suas amizades trouxeram e por serem verdadeiros anjos que caminharam ao meu lado. Esta jornada foi mais suportável e significativa graças a vocês. Que a vida retribua a cada um de vocês a mesma bondade e carinho que compartilharam comigo.

Ao longo da minha jornada, quero expressar minha profunda gratidão aos amigos que desempenharam um papel crucial em momentos diversos, oferecendo apoio emocional, torcendo pelo meu sucesso e mantendo-me em suas preces. Vocês foram essenciais, e destaco com especial reconhecimento ao Bruno, Claudia, Luiz Felipe, Gabriel Bernardo, Thiarles, Mariana, Airton, João, Heloisa, Antônio Miguel, Izabela, Michelly, Adrielly, Alcielen, Maureci, Donizete, Kellis, Adriane e Ismael. Sua presença e suporte foram como pilares firmes ao longo desta jornada acadêmica, contribuindo significativamente para a concretização deste trabalho. Obrigada por serem fontes constantes de inspiração e por compartilharem comigo a alegria desta conquista.

Aos amigos que o curso de Engenharia Agrícola me proporcionou, expresso minha profunda gratidão. Vocês são verdadeiramente incríveis, e agradeço pela parceria que compartilhamos em risadas, estudos, nas reclamações sobre a faculdade e nos encontros fora do campus. Vocês foram mais do que colegas; tornamo-nos uma verdadeira família ao longo desses anos, muitas vezes tendo mais contato na universidade do que com nossos próprios familiares. Nesse sentido, gostaria de destacar e expressar minha gratidão especial a Lucas Teixeira, Wanny, Juliana, Jordana, José Favela, Larissa Dorce, Gabriel Hernandez, Pedrinho,

Thais, Roberto, Mauricio e Tainá e Jozé Monari. Obrigada por fazerem parte da minha trajetória acadêmica, por compartilharem desafios e vitórias, e por tornarem essa jornada inesquecível. Juntos, alcançamos muito mais do que poderíamos individualmente. Que continuemos a celebrar conquistas e fortalecer nossos laços ao longo dos anos que virão.

Ao expressar meus agradecimentos a todos os professores com os quais tive a oportunidade de conviver, gostaria de enfatizar minha profunda gratidão por todo o conhecimento que generosamente transmitiram. Suas contribuições foram essenciais para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional, proporcionando uma compreensão mais ampla e profunda do curso de Engenharia Agrícola. Que a influência positiva de cada um de vocês continue a se refletir em minha jornada, contribuindo para o meu sucesso futuro.

Por fim, e nunca menos importante, elevo meu coração aos céus em lembrança à pessoa que eu mais desejaria ter fisicamente ao meu lado neste momento: meu amado pai, Luiz Cassiano de França. Com lágrimas de gratidão, afirmo que estou concluindo uma das etapas mais esperadas pelo senhor, meu querido pai, que foi minha maior fonte de inspiração em persistência, fé, honestidade e humildade. Ao senhor, que escolheu ser meu pai e lutou até o último suspiro para proporcionar-me as melhores oportunidades, quero expressar minha alegria por estar realizando o seu sonho. O sonho de um homem simples, com mãos calejadas e sem educação formal, mas que me deu as oportunidades necessárias para adquirir conhecimento e chegar até aqui. Agradeço por interceder por mim do céu. Te amo e dedico esta dissertação e o título de engenheira, que, se Deus permitir, irei obter em breve, a você.

"É justo que muito custe o que muito vale!"

- Sta. Teresa D'Ávila

AGRADECIMENTOS RAYZA

Agradeço profundamente a Universidade Federal da Grande Dourados por proporcionar como uma instituição de ensino, que fez uma base educacional sólida e enriquecedora, essencial no meu desenvolvimento como estudante. Não posso deixar de expressar minha gratidão aos programas de bolsa que, generosamente, me auxiliaram durante minha trajetória acadêmica. O suporte financeiro proporcionado foi crucial para que eu pudesse dar continuidade aos meus estudos, permitindo-me focar no aprendizado e no aprimoramento acadêmico. À equipe de professores, expresso minha profunda gratidão. Cada um de vocês desempenhou um papel fundamental na minha educação, compartilhando-o com paciência, dedicação, amor e carinho.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à Prof^a. Dr^a. Vanderleia Schoeninger por toda sua orientação dedicada e inspiradora. Ao longo desse percurso desafiador, sua orientação foi como uma luz orientadora, iluminando o caminho e proporcionando clareza aos meus objetivos acadêmicos. Sua paciência, sabedoria e compreensão foram fundamentais para que eu superasse obstáculos e alcançasse este marco importante em minha jornada acadêmica. Cada conselho, cada correção e cada palavra de incentivo que recebi de você contribuíram significativamente para o meu desenvolvimento profissional. Sua paixão pelo ensino e sua dedicação aos seus alunos são verdadeiramente inspiradoras, e sinto-me incrivelmente sortuda por tê-la como minha orientadora. Além da orientação acadêmica, quero expressar minha gratidão pelo apoio emocional que você ofereceu.

Agradeço ao meu amigo Fabio por sua disposição em colaborar, oferecendo não apenas seu conhecimento, mas também sua ajuda no laboratório. Sua participação ativa e entusiasmada no processo de pesquisa não apenas facilitou a execução das tarefas, mas também enriqueceu a qualidade final.

Aos meus familiares, cada conquista, cada desafio superado, é também uma vitória de vocês e obrigado por serem os pilares que sustentam meus sonhos, por acreditarem em mim quando eu duvidei e por me amarem incondicionalmente. Em especial aos meus avós Otilia e Luiz, a sabedoria que vocês compartilharam comigo ao longo dos anos foi uma fonte inestimável de inspiração. Seus conselhos, histórias e encorajamentos foram como bússolas, guiando-me sempre na direção certa.

À minha mãe Glauciene, agradeço por ser minha fonte constante de amor e apoio. Sua capacidade de acreditar em mim, mesmo nos momentos mais desafiadores, foi um farol de esperança. Sou imensamente grata por ser minha maior defensora e por ser a âncora que me manteve firme durante essa jornada. Seu amor é o alicerce sobre o qual construí minha vida, e

não há palavras suficientes para expressar o quanto eu aprecio você. Obrigado por ser minha guia, minha amiga e meu porto seguro. Você é a pessoa mais importante da minha vida e eu te amo muito.

Aos meus amigos Giulia, Gabriel, Maria e Thais, cada um de vocês trouxe uma energia única para minha vida e para este trajeto, tornando os desafios mais leves e as vitórias mais alegres. Obrigado por compartilharem conhecimento, risadas, e por serem uma fonte constante de inspiração e companheirismo.

À Pamela, minha amiga e companheira de TCC, que juntas enfrentamos desafios, celebramos conquistas e construímos não apenas um trabalho acadêmico, mas também uma amizade sólida. Obrigado por sua amizade e paciência, apoio incondicional e por tornar essa jornada acadêmica tão especial.

Bruno, desde os tempos de escola até a conclusão da faculdade, sua amizade tem sido uma luz brilhante em minha vida. Agradeço por compartilharmos risadas, desafios e conquistas ao longo dessa trajetória, sua presença sempre trouxe cor, alegria e amor para minha vida, tornando qualquer situação mais leve e uma riqueza que levarei para sempre no coração.

Samara, minha amiga quase irmã, sua presença em minha vida é um tesouro inestimável. Você sempre esteve ao meu lado, irradiando positividade e amor. Obrigado por ser minha confidente, minha conselheira, minha irmã de coração e por compartilhar cada alegria comigo.

Agradeço profundamente à Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA) - Milho e Sorgo (CNPMS), com sede na cidade de Sete Lagoas, Minas Gerais, por sua inestimável contribuição com a análise NIR (“Near Infrared Reflectance”) que foi fundamental para a obtenção de resultados valiosos para a pesquisa.

Gostaria, ainda, de expressar minha profunda gratidão à banca de avaliação do trabalho de conclusão de curso, composta pela Prof^a Dr^a. Mariana e Naiara. Agradeço a atenção, disponibilidade, orientação e avaliação enriqueceram as correções finais do projeto.

SANTOS, Pamela Cristina; LEITE, Rayza Roxane de Oliveira. **Caracterização da farinha do sorgo germinado em diferentes tempos**. 2024. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2024.

RESUMO

O sorgo (*Sorghum bicolor*), originário da África, destaca-se como uma cultura agrícola global, ocupando a quinta posição entre os cereais mais plantados mundialmente. Embora seja essencial em regiões como África, Oriente Médio e Índia, no Brasil, o sorgo permanece pouco conhecido apesar de sua ampla utilização na alimentação animal e humana. Em comparação com outros grãos, o sorgo mostra vantagens agronômicas significativas em otimizar o uso de água e nutrientes do solo. Além disso, também apresentam vantagens nutricionais pois é uma alternativa interessante para substituição de outras culturas mais comuns, devido à sua característica de ser um cereal sem glúten, ou seja, sem as proteínas gliadina e glutenina, mas enfrenta desafios comerciais. A farinha de sorgo é rica em nutrientes, apresentando potencial para uso na alimentação humana. O objetivo deste estudo foi investigar os efeitos de diferentes períodos de germinação nas propriedades físicas e químicas da farinha de sorgo. A germinação dos grãos de sorgo foi realizada em períodos variados, incluindo 0 horas (grupo de controle), 24 horas, 48 horas, 72 horas, 96 horas e 120 horas. Após, o material foi seco e processado na forma de farinha. A análise abrangeu a avaliação das propriedades físicas e químicas da farinha de sorgo germinada, englobando a determinação do pH, cinzas (%), acidez, cor e rendimento. Além disso, a composição nutricional da farinha de sorgo germinado foi avaliada por meio do método de infravermelho próximo (NIRS). Com base em todos os resultados obtidos observou-se que a farinha germinada demonstra benefícios mais expressivos quando submetida ao processo de germinação até 72 horas.

Palavras-chave: Germinação. Propriedades físicas. Proteínas.

CHARACTERIZATION OF SORGHUM FLOUR GERMINATED AT DIFFERENT TIMES

ABSTRACT

Sorghum (*Sorghum bicolor*), originally from Africa, stands out as a global agricultural crop ranking fifth among the most planted cereals worldwide. Although it is essential in regions such as Africa, the Middle East and India, but in Brazil sorghum remains little-known despite its wide use in animal and human nutrition. Compared to other crops, sorghum shows significant agronomic advantages in optimizing the use of water and soil nutrients. Furthermore, it also present nutritional advantages and can be an interesting alternative to replace other more common crops, due to their characteristics of being a gluten-free cereal, without the proteins gliadin and glutenin, but they face commercial challenges. Sorghum flour is rich in nutrients, presenting potential for use in human nutrition. The objective of this study was to investigate the effects of different germination times on the physical and chemical properties of sorghum flour. Germination of sorghum seeds was carried out at different periods, including 0 hours (control), 24 hours, 48 hours, 72 hours, 96 hours and 120 hours. Afterwards, the material was dried and processed into the flour. The analysis covered the evaluation of the physical and chemical properties of germinated sorghum flour, including the determination of pH, ash (%), acidity, color and yield. Furthermore, the nutritional composition of germinated sorghum flour was evaluated using the near infrared method (NIRS). Based on all the results obtained, it was observed that germinated flour demonstrates more significant benefits when subjected to the germination process for up to 72 hours.

Keywords: Germination. Physical properties. Proteins.

SUMÁRIO

	Página
1 Introdução	1
2 Revisão de literatura	3
2.1 O sorgo	3
2.2 Farinha do sorgo	6
2.2.1 Farinha do sorgo germinado	8
3 Material e métodos	16
3.1 Germinação do sorgo	16
3.2 Secagem do material após germinação	17
3.3 Processamento da farinha	17
3.4 Análises de qualidades das farinhas	18
3.5 Análises nutricionais da farinha de sorgo	19
3.6 Análise estatística	19
4 Resultados e discussão	19
5 Conclusões	27
6 Referências bibliográficas	28

1 INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é uma planta originária da África, mais especificamente da região da Etiópia e Sudão. Ao longo dos anos, tem ganhado destaque com uma das principais culturas no cenário agrícola mundial e com perspectivas de aumento de produção no futuro, no entanto, é importante notar que, apesar de sua crescente importância, o sorgo permanece relativamente pouco conhecido no Brasil.

No cenário mundial, o sorgo ocupa o lugar de quinto cereal mais plantado no mundo (FAOSTAT, 2024), vindo atrás do trigo, arroz, milho e da cevada. Ele desempenha um papel fundamental como fonte de alimento e ração animal em diversas regiões, destacando-se na África, Oriente Médio, principalmente na Nigéria, e Índia.

No Brasil, o sorgo é utilizado na alimentação de animais, como bovinos e suínos, além disso, recentemente, tem se revelado como uma opção viável para processamento em biocombustível. No âmbito da alimentação humana, o sorgo representa uma alternativa interessante para substituição de outras culturas mais comuns, como arroz, milho, trigo e cevada, devido à sua característica de ser um cereal sem glúten, ou seja, sem as proteínas gliadina e glutenina, o que o torna uma alternativa alimentar para portadores de doença celíaca, uma desordem autoimune causada pela ingestão dessas proteínas. Desta maneira o sorgo pode vir substituir outros grãos e farinhas que apresentam glúten em sua composição.

Segundo o décimo segundo levantamento da Safra 2022/23 da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023), a região Centro-oeste do Brasil se destaca como a principal área de cultivo de sorgo, abrangendo 865,4 mil hectares na safra de 2021/22, com uma produção de 2.594 mil toneladas, e 109,3 mil hectares na safra de 2022/23 com uma produção de 4.000,4 mil toneladas. Em contrapartida, a região Sul do país apresenta a menor área plantada, com apenas 15,1 mil hectares na safra de 2021/22 e produção de apenas 52,9 mil toneladas. Porém, na safra de 2022/23, nesta mesma região a área plantada aumentou para 24,7 mil hectares, resultando em uma produção de 93,6 mil toneladas. A menor produtividade do sorgo no sul do país pode ser atribuída à fisiologia da planta.

Conforme indicado por Aldrich et al. (1982), o sorgo é um cereal que demanda menos água para se desenvolver quando comparado com outros cereais. Notavelmente, o sorgo demonstra capacidade de produção sob estresse hídrico, graças ao seu sistema radicular eficaz, que explora profundamente o solo e é capaz de se recuperar de períodos prolongados de seca. Porém, devido à sua origem tropical, o sorgo é extremamente sensível à temperaturas noturnas mais baixas. Sua temperatura ideal de crescimento situa-se em torno de 33-34 °C, e temperaturas acima de 38 °C e abaixo de 16 °C impactam negativamente a produtividade, como

observado por Clegg et al. (1983). Em comparação com o milho, o sorgo é mais tolerante às altas temperaturas, mas menos tolerante a temperaturas baixas, o que afeta o desenvolvimento da panícula, principalmente por seu efeito sobre a esterilidade das espiguetas (BROOKING, 1976).

No entanto, vale ressaltar que o sorgo ainda enfrenta desafios em termos de valor comercial, que permanece inferior quando comparado a outros cereais. Conforme descrito por Ferreira et al. (2009) a farinha de sorgo emerge como uma opção alimentar viável para indivíduos com doença celíaca, explorando o desenvolvimento de produtos tradicionalmente à base de trigo, integrantes da dieta comum. A farinha do sorgo é rica em fibras, proteínas, ferro, vitamina E, zinco, antocianinas, ácidos fenólicos, taninos e amido resistente (TSUNECHIRO; MIURA, 2011).

Conforme mencionado Maia et al. (2020) grãos germinados representam aquelas que retomaram o desenvolvimento embrionário para originar uma plântula, caracterizando-se pela protrusão da raiz primária no grão, tornando visível o crescimento do eixo embrionário. Esse estágio é particularmente rico em nutrientes durante o desenvolvimento vegetal, apresentando formas facilmente digestíveis e assimiláveis, equivalente, em suas características fisiológicas, a um processo pré-digestivo.

De acordo com Singh e Sharma (2017) e Lemmens et al. (2019), a germinação do sorgo se apresenta como uma tecnologia sustentável que induz alterações estruturais nos grãos, refletindo na funcionalidade da farinha resultante. Conforme sugerido por Nout e Ngoddy (1997), o processo de germinação dos grãos desencadeia a atividade enzimática, levando à quebra de proteínas, carboidratos e lipídios em formas mais simples, resultando em melhorias significativas no perfil nutricional e nas propriedades tecnológicas da farinha.

Portanto, a caracterização e avaliação das propriedades da farinha do sorgo, obtida a partir de grãos germinados, representa uma área de grande interesse e importância no processamento do produto agrícola. Nesse contexto, espera-se a partir do presente trabalho contribuir para a avaliação da farinha do sorgo germinado em diferentes períodos de germinação, permitindo uma análise abrangente de sua composição físico-química e colorimétrica por meio de métodos cientificamente validados.

Com isto, este trabalho avaliou a farinha de sorgo geminada em cinco diferentes períodos de germinação, objetivando investigar os efeitos resultantes desses distintos tempos de germinação na composição e características da farinha.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O SORGO

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é um cereal originário da África, que se adapta bem a áreas com déficit hídrico e altas temperaturas. Ele tem múltiplos usos, tanto na alimentação humana quanto animal, na indústria e na agricultura sendo que entre os cereais cultivados no mundo (TABOSA et al., 2002), sendo superado pelo trigo, arroz, milho e cevada. O sorgo pode ser usado para produzir ração, farinha, amido, etanol, silagem, feno, vassouras e biomassa. Além disso, pode ser usado como cobertura de solo no sistema de plantio direto, contribuindo para a conservação do solo e da água (Duarte, 2021).

No Brasil, segundo Menezes et al. (2021), existem seis tipos de sorgo que são cultivados para diferentes fins. O sorgo granífero é cultivado para produção de grãos, enquanto o sorgo forrageiro é cultivado para produção de silagem. O sorgo de corte e pastejo é utilizado diretamente como forragem, enquanto o sorgo vassoura é cultivado para produção de vassouras artesanais. O sorgo sacarino é cultivado para produção de etanol e o sorgo biomassa pode ser utilizado como fonte de energia térmica em usinas ou para palhada no sistema de plantio direto.



Figura 1. Variedade de cores de sorgo.

Fonte: BEAN (2023).

Referente as variedades de cor o sorgo é principalmente determinada por três variáveis controladas geneticamente. Estas são a cor e espessura do pericarpo (casca do grão ou farelo), a presença ou ausência de uma subcamada abaixo do pericarpo chamada testa, e a cor e textura do endosperma. O pericarpo é composto por várias camadas e pode ser vermelho, amarelo ou branco (incolor) conforme mostrado na Figura 1. Um pericarpo fino será mais transparente, permitindo que a testa e o endosperma tenham uma maior influência na cor final. Um pericarpo espesso será opaco, e o grão variará de branco a marrom com uma aparência opaca.

A produção mundial de sorgo em 2022 (Tabela 1), de acordo com os dados fornecidos pela Food and Agriculture Organization (FAO, 2023), reflete uma distribuição significativa entre os países produtores. A Nigéria lidera a lista, contribuindo com uma produção de 6.8 milhões de toneladas, em uma área de 5.7 milhões de hectares. O Sudão segue de perto, com uma produção de 5.2 milhões de toneladas em uma área de 7 milhões de hectares. O Brasil, em 2022, consolidou sua posição como um dos principais produtores de sorgo global, contribuindo com uma produção de 2.92 milhões de toneladas em uma área de 1.04 milhão de hectares. Esses números refletem a significativa participação do país na produção agrícola mundial, destacando sua capacidade de cultivar sorgo de maneira eficiente e sustentável.

Tabela 1. Produção de sorgo (ton e área (ha)) no ano de 2022 dos maiores produtores mundiais, conforme dados da FAOSTAT, 2023.

País	Produção em Ton	Área (há)
Nigéria	6.806.370	5.700.000
Sudão	5.248.000	7.000.000
Estados Unidos da América	4.769.960	1.849.430
México	4.754.169,10	1.332.929
Etiópia	4.200.000	1.660.000
Índia	4.150.570	3.800.810
China	3.184.000	662.000
Brasil	2.923.318	1.043.480
Argentina	2.883.301	699.887

Fonte: FAOSTAT (2024).

Na Tabela 1 também mostra-se a disparidade entre a produção e a área dedicada ao cultivo de sorgo entre os países em 2022. Enquanto a Nigéria está liderando em termos de

produção, sua extensa área de cultivo de 5,7 milhões de hectares sugere uma abordagem mais extensiva. Em contraste, os Estados Unidos, com uma produção comparável de 4,77 milhões de toneladas, otimizam a utilização de terras, conseguindo esse rendimento expressivo em uma área consideravelmente menor de 1,85 milhão de hectares. Essa análise pode ressaltar a diversidade de estratégias adotadas pelos países para alcançar seus objetivos na produção de sorgo.

A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023) forneceu dados recentes sobre a safra de sorgo no Brasil, destacando informações específicas por regiões. A região Centro-Oeste se destaca como maior produtor possuindo uma área cultivada de 545,3 mil hectares na safra 2021/2022 e 615,7 mil hectares na safra 2022/2023, a produtividade cresceu de 2.993,72kg/ha para 3.737,17kg/ha. A produção total de sorgo na região aumentou consideravelmente, passando de 1.632,5 mil toneladas para 2.300,9 mil toneladas. Na região, o estado de Mato Grosso do Sul, apresentou uma expansão de área cultivada de sorgo de 87,8 mil hectares para 129,7 mil hectares. A produtividade manteve-se robusta, atingindo 3.840 kg.ha⁻¹ na safra 2022/2023. A produção de sorgo no estado cresceu significativamente, indo de 326,6 mil toneladas para 498 mil toneladas entre as safras analisadas.

Com os dados registrados pela CONAB (2023), referentes à safra de sorgo nos últimos anos no Brasil, emerge uma tendência positiva de crescimento que se manifesta através da expansão das áreas cultivadas e melhorias na produtividade em diversas regiões do país. Essa tendência, por sua vez, sugere não apenas uma consolidação do cultivo do sorgo, mas também a possibilidade de um crescimento ainda mais expressivo no futuro. O cenário observado aponta para um fortalecimento gradual, porém constante, da posição do Brasil como um dos protagonistas na produção de sorgo, exercendo impactos significativos no cenário agrícola nacional.

É importante destacar que as variações na produção de sorgo podem ser atribuídas à diversidade climática do país, que influencia diretamente as necessidades climáticas específicas da cultura. Além disso, o apoio político e financeiro destinado ao cultivo do sorgo também desempenha um papel crucial nessas mudanças, contribuindo para o estímulo e expansão da produção.

2.2 FARINHA DO SORGO

A crescente preocupação com a promoção de hábitos alimentares saudáveis, impulsionada por condições como a intolerância ao glúten, tem conduzido indivíduos a explorarem alternativas inovadoras e convenientes em sua alimentação, priorizando a inclusão

de alimentos funcionais e sustentáveis (MARTINELLI e CAVALLI, 2019). Nota-se que o tratamento efetivo da intolerância ou alergia ao glúten envolve a adesão rigorosa a uma dieta isenta desse componente, o que, por vezes, impõe desafios, principalmente no contexto brasileiro, onde a disponibilidade de produtos sem glúten, ainda está em expansão. Este cenário é especialmente evidente em categorias alimentícias como massas, produtos de panificação, pizzas e macarrões, majoritariamente formulados com farinha de trigo como visto em receitas na Figura 2.



Figura 2. Produtos à base de grãos e farinha de sorgo. (A) Barra de cereais com pipoca de sorgo, (B) Bolo de sorgo com banana, (C) Pão de sorgo e (D) *Cookies* de sorgo com amendoim. Fonte: Queiroz et al. (2021).

A farinha de sorgo emerge como uma alternativa de alimentos, pois não apenas é desprovida de glúten, mas também se destaca por suas propriedades nutricionais. A estrutura do grão de sorgo é composto por três camadas principais: o pericarpo, o endosperma e o gérmen. Segundo e Earp; Mcdonough, Rooney (2004) dependendo da variedade, pode haver uma estrutura adicional chamada testa pigmentada, localizada entre o pericarpo e o endosperma, que contém taninos pigmentados. Os autores falam também que, localizados no revestimento externo do grão, chamado de pericarpo, estão os compostos fenólicos e os carotenoides. Já o endosperma, que é o tecido de armazenamento, é composto de amido, proteínas e sais minerais. No gérmen, encontram-se lipídeos, vitaminas lipossolúveis, vitaminas do complexo B e mais minerais (FIGURA 3).

Paiva et al. (2019) em sua pesquisa trouxe o uso da farinha de sorgo em três tipos de macarrão, avaliando assim a diferenças em uso na alimentação humana que essa substituição traz. Os tipos de macarrão analisados são eles 100% de farinha de sorgo (MS), 50% de farinha

de sorgo e 50% de farinha de milho (MSM), e 100% de farinha de milho (MM, controle). As análises químicas abrangeram fibras, lipídeos, proteínas, cinzas e carboidratos, além da extração de compostos fenólicos, obtendo resultados que destacaram o alto valor nutricional das massas de sorgo, especialmente em proteínas e fibras, com padrões de cozimento adequados para todas as opções sem glúten. Embora MS e MSM necessitassem de reformulação para maior aceitação entre não celíacos, indivíduos celíacos apreciaram o macarrão de sorgo, sugerindo uma alternativa nutricionalmente vantajosa e economicamente acessível em comparação com outros cereais sem glúten. A avaliação sensorial, realizada com molho de tomate, ressaltou a aceitação positiva do macarrão de sorgo por esse grupo específico.

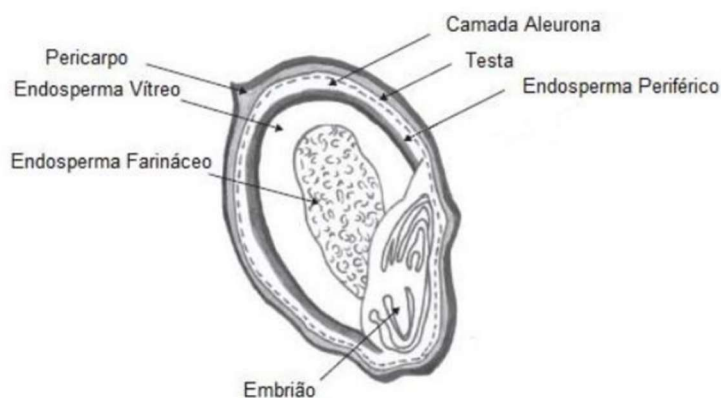


Figura 3. Estrutura morfológica interna do grão de sorgo.

Fonte: Santos et al (2021).

Rico em proteínas, fibras, ferro, zinco, vitamina E, antocianinas, ácidos fenólicos, taninos e amido resistente, o sorgo apresenta duas formas principais de consumo humano: em grãos, como substituto ao arroz, ou moída, na forma de farinha (OLIVEIRA et al., 2017). O sorgo, por não conter proteínas formadoras de glúten, emerge como uma excelente matéria-prima para produtos sem glúten, como pães e massas. A sua utilização nesse contexto é particularmente significativa diante das dificuldades enfrentadas pelas pessoas celíacas no acesso a produtos industrializados sem glúten, muitas vezes combinados com farinhas e amidos de outros cereais. Além disso, o sorgo, caracterizado por um custo de produção inferior ao trigo, pode proporcionar uma solução econômica e nutritiva para atender à crescente demanda por produtos sem glúten (MOCELLIN, 2021).

Além disso, o sorgo contribui para a saúde cardiovascular e gastrointestinal, proporcionando fibras alimentares, amido resistente, minerais, tocoferóis, tocotrienóis,

vitaminas do complexo B, compostos bioativos e antioxidantes. Destaca-se pela presença de policosanol, que auxilia na redução dos níveis de lipoproteína de baixa densidade (LDL), aumento das lipoproteínas de alta densidade (HDL) e redução plaquetária, contribuindo na prevenção de doenças cardiovasculares (CORREIA et al., 2011). Adicionalmente, o sorgo apresenta mais de 20 tipos de minerais, com destaque para fósforo, potássio, ferro, zinco, cálcio, magnésio, manganês, níquel, alumínio, cromo, cádmio, enxofre e chumbo, sendo o gérmen a principal localização desses elementos, representando 68% do total (SVENSSON et al., 2010).

A incorporação da farinha de sorgo na alimentação representa uma estratégia promissora para atender às demandas crescentes por produtos sem glúten e exigidos por esse público específico, garantindo a aceitação e diversificação de produtos alimentícios aptos a atender suas necessidades nutricionais e sensoriais e uma dessas novas tecnologias implantadas é a germinação do grão do sorgo antes do processamento da farinha.

2.2.1 Farinha do sorgo germinado

Á germinação de grãos de cereais tem sido reconhecida como um método alternativo para aprimorar o valor nutricional e as propriedades sensoriais desses grãos. Segundo Eskin et al. (2015), os grãos germinados podem ser secas e moídas para produzir farinha, utilizada de maneira semelhante às farinhas derivadas do grão não germinadas. Além disso, nas culturas orientais, os grãos germinados são consumidos frescos, assemelhando-se a vegetais, e há uma crescente conscientização sobre a inclusão desses brotos na dieta ocidental. No panorama atual da pesquisa, aspectos cruciais foram apontados, por estudos de Ohanenye et al. (2020), que examinaram que a germinação resulta em um aumento do teor de proteína total em comparação com os grãos não germinados. Os autores também apontam que explorar a germinação como uma ferramenta eficaz de bioprocessamento poderia representar uma abordagem valiosa para aprimorar a qualidade das proteínas presentes em grãos de leguminosas, com aplicações potenciais em setores alimentícios, biofarmacêuticos e nutracêuticos.

Quanto às alterações na composição durante a germinação, os estudos enfocam diferentes componentes, como carboidratos, lipídeos, proteínas, vitaminas, minerais, fatores antinutricionais e componentes nutracêuticos (CHEN et al., 1975). A redução de a-galactosídeos, responsáveis por flatulência, nos primeiros dias de germinação, é relatada em várias leguminosas, indicando benefícios na digestibilidade. Além disso, a diminuição nos lipídeos durante a germinação é consensual, contribuindo para o estímulo do crescimento das plântulas. Observa-se um aumento geral na concentração de proteínas, destacando-se como fonte de energia nos grãos germinados. As vitaminas e minerais apresentam variações

específicas, sendo a vitamina C notavelmente aumentada, enquanto a concentração de fitatos, fatores antinutricionais, diminui, melhorando a absorção de minerais. Pesquisas recentes também se voltam para os componentes nutracêuticos, como as isoflavonas na soja, evidenciando a complexidade das mudanças durante a germinação. Por fim, grãos germinados tendem a apresentar melhorias nas qualidades organolépticas, sendo percebidas como mais aceitáveis sensorialmente (CHEN et al., 1975; AHMAD e PATHAK, 2000; SANGRONIS e MACHADO, 2007).

A prática da germinação de grãos de sorgo, segundo Khole et al. (2014), exerce efeitos benéficos em sua farinha sobre a digestão de proteínas, promovendo a redução dos ácidos graxos saturados totais, triglicerídeos e diminuição do teor de ácido fítico, ao mesmo tempo em que aumentam a disponibilidade de ferro.

A germinação do sorgo resulta em alterações estruturais no grão, refletindo diretamente na funcionalidade de sua farinha. O estudo conduzido por Marchini, Arduini e Carini (2021) confirma melhorias no perfil nutricional e sensorial, bem como mudanças nas propriedades tecnológicas, tanto nos grãos quanto na farinha de sorgo germinada. Durante o processo de germinação, proteases e amilases são ativadas, resultando na quebra de proteínas e amido. Isso promove uma maior solubilidade, capacidade de retenção de água e óleo, formação de espuma, capacidade de emulsão e estabilidade em comparação com a farinha de sorgo não germinada. Além disso, a degradação da proteína conduz a uma maior hidrólise do amido pelas amilases, influenciando as propriedades pastosas da farinha quando dispersa em excesso de água e agitada sob um programa controlado de temperatura de aquecimento/resfriamento, alterando também as propriedades de textura do amido hidrolisado.

A conscientização sobre os benefícios nutricionais do sorgo germinado reflete-se nas opções comerciais já disponíveis no mercado, incluindo a presença de farinha de sorgo germinado como mostrado na Figura 4. A presença dessas opções comerciais não apenas evidencia a aceitação do sorgo germinado na alimentação humana, mas também abre caminho

para a diversificação de produtos no mercado, oferecendo aos consumidores escolhas mais amplas e alinhadas com as tendências de alimentação saudável.



Figura 4. Alguns produtos encontrados no mercado internacional a base de sorgo germinado.

Fonte: Compilação da autora. (Créditos às marcas citadas¹).

Observou-se que o tempo e a temperatura de germinação exercem efeitos estatisticamente significativos na composição nutricional centesimal do sorgo, conforme evidenciado no estudo conduzido por Singh et al. (2017). Já Ledur (2022) constata que a germinação do sorgo resulta em uma significativa diminuição da firmeza e retrogradação do amido.

A pesquisa sobre sorgo germinado engloba diversas dimensões, desde aspectos físico-químicos até propriedades nutricionais e funcionais. Neste contexto, a Tabela 3 aborda, contribuições para compreender o impacto da germinação no sorgo e suas implicações.

Tabela 3. Revisão de artigos científicos sobre o processo de germinação e obtenção de farinha de sorgo germinado

Título da pesquisa	Autor/ano	Processamento do sorgo e avaliações
O impacto da germinação no sorgo - Propriedades Nutracêuticas	Arouna et al. (2020)	Grãos de três variedades foram submetidas à hidratação por 24 horas e, em seguida, realizada a germinação à temperatura ambiente, durante três dias, no escuro. O material foi então seco e processado na forma de farinha. Avaliaram o efeito do processo na capacidade antioxidante dos extratos do materil em células vermelhas do sangue (ensaio CAA-RBC) e avaliação da atividade inibitória da enzima conversora de angiotensina (ECA).

O tempo de germinação afeta a funcionalidade do sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> [L.] Moench) e o desempenho de panificação	Cardone et al. (2021)	Grãos de sorgo vermelho (<i>Sorghum bicolor</i> [L.] Moench; cv. Armorik) foram submetidas ao processo de hidratação por 16 horas, na proporção de 1:3 (m:v) e, então submetidas à germinação em diferentes tempos (24, 36, 48, 72 e 96 horas) à $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de 90%. Após a germinação, o produto foi submetido a desidratação na temperatura de 50°C por 9 horas. Avaliou-se o efeito do processo na composição química da farinha de sorgo, na quantificação de açúcares simples e nas propriedades físicas; assim como kafirina e eletroforese (SDS-PAGE); solubilidade proteica, além de testes de funcionalidade da mistura de sorgo-trigo e preparação e avaliação de pães.
As propriedades físico-químicas da farinha de sorgo são seletivamente modificadas por germinação-fermentação combinada	Elkhalifa et al. (2017)	Realizaram a hidratação em razão 1:2 (m:v) em solução de formaldeído 0,2% durante 40 minutos e realizaram a germinação do sorgo em dois períodos, 48 a 72 horas. Após o material foi então seco durante 16 horas na temperatura de 56°C . A farinha obtida passou pelo processo de fermentação seguida novamente da secagem. Avaliou-se o efeito do processamento na qualidade da farinha: estabilidade e clareza da pasta, as propriedades do amido, temperatura de pasta e viscosidade durante aquecimento e resfriamento, os índices estruturais e de solubilidade de proteínas.
Propriedades físico-químicas da farinha de grão de sorgo germinado	Elkhalifa e Bernhardt (2013)	Sorgo sudanês (cultivar Fetarita) foi submetido à hidratação em razão 1:2 (m:v) em solução de formaldeído 0,2% durante 40 minutos e em seguida a germinação do sorgo, no escuro, durante 24, 48 e 72 horas na condição de temperatura ambiente $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$. A secagem foi realizada à 40°C até o teor de água final de 5%. Avaliaram então o efeito do processo na estabilidade e clareza da farinha; as propriedades de pasta cozida; consistência de gel; poder de inchaço e estabilidade no congelamento/descongelamento.
Visão das propriedades moleculares e reológicas da farinha de sorgo germinado	Marchini et al. (2021)	Grãos de sorgo comercial branco foram submetidos ao processo de germinação durante os períodos de 16 e 72 horas, à 25°C e 90% de umidade relativa. Após o material foi seco em duas temperaturas de secagem, sendo 6 horas à 50°C e 12 horas à 40°C . Com o material foram obtidas três frações, sendo farinha refinada; farelo médio e farelo de sorgo. O material foi incorporado à misturas de farinha de trigo e testado quanto às propriedades viscoelásticas e mobilidade molecular.

Características moleculares de farinhas de sorgo fermentadas e germinadas relacionam-se com sua adequação como componentes de massas alimentícias enriquecidas sem glúten	Marengo et al. (2015)	Processamento de sorgo cultivar Tabat (branco, livre de tanino) com uso de germinação seguida de fermentação. Após o processo o material foi seco e a farinha obtida foi utilizada com diferentes farinhas à base de arroz e utilizadas em receitas sem glúten. As farinhas foram avaliadas quanto a características nutricionais, físicas, de solubilidade proteica e propriedades da pasta.
Impacto da germinação nas propriedades físico-químicas e nutricionais do sorgo: uma revisão	Saithalavi et al. (2021)	Trata-se de um texto de revisão que esclarece o processo de germinação em sorgo, as mudanças físico-químicas durante o processo, o efeito nos macronutrientes, nos fatores antinutricionais e nos compostos bioativos, juntamente com os benefícios à saúde.
Efeito do tempo e temperatura de germinação na funcionalidade e solubilidade proteica da farinha de sorgo	Singh et al. (2017)	Grãos de sorgo (cultivar SL 44) foram mantidos sob hidratação em água destilada durante 10 horas, na temperatura de 25°C. Então, foram submetidos à germinação por diferentes períodos (12, 24, 36 e 48 horas) e temperaturas (25, 30 e 35 °C). Avaliou-se as propriedades das farinhas obtidas através dos testes físicos, nutricionais e funcionais.
Digestibilidade in vitro de nutrientes e propriedades antioxidantes de farinha preparada a partir de sorgo germinado em diferentes condições	Singh et al. (2019)	Grãos de sorgo (cultivar SL 44) foram mantidos sob hidratação em água destilada durante 10 horas, na temperatura de 25°C. Em seguida foram submetidos à germinação por diferentes períodos (12 e 48 horas) e temperaturas (25, 30 e 35 °C). A farinha obtida foi avaliada quanto ao perfil de carboidratos; atividade diastásica; digestibilidade in vitro de amido e da proteína, atividade antioxidante e suas propriedades reológicas do sorgo.

Singh et al. (2017) exploraram o efeito do tempo e temperatura de germinação na funcionalidade e solubilidade protéica da farinha de sorgo, realizando análises, como densidade, capacidade de absorção de água e óleo, poder de inchaço, consistência de gel, e solubilidade da proteína. Os resultados mostram que a variação do tempo e temperatura de germinação demonstram impactos significativos, resultando na redução da densidade, capacidade de absorção de água e poder de inchamento da farinha de sorgo, devido à alteração

na estrutura do amido. O tempo e a temperatura de germinação prolongados melhoraram a consistência do gel, a solubilidade da proteína, a menor concentração de gelificação, as propriedades espumantes e emulsificantes em comparação com a baixa temperatura e a curta duração da germinação devido à mudanças na estrutura da proteína. Essas modificações indicam o potencial da farinha de sorgo germinada como uma alternativa viável em diversas aplicações, desde alimentos de desmame para lactentes até a produção de novos produtos alimentícios, proporcionando uma opção natural e econômica em comparação com técnicas tradicionais de modificação de farinha.

Já em outra pesquisa Singh et al. (2019), investigaram farinhas de sorgo germinado em diferentes tempos e temperaturas de germinação e, avaliaram o perfil de carboidratos, atividade diastásica, digestibilidade *in vitro* de amido e proteína, atividade antioxidante e propriedades reológicas do sorgo. A pesquisa conduzida revelou que as condições de germinação exercem um impacto significativo na melhoria da digestibilidade dos nutrientes e componentes bioativos da farinha de sorgo, resultando na redução das viscosidades de pasta do sorgo. Observou-se que a germinação em temperaturas mais elevadas e por períodos mais longos acelera as enzimas hidrolíticas, promovendo uma digestibilidade aprimorada tanto do amido quanto da proteína, em comparação com a germinação em temperaturas mais baixas e por períodos mais curtos. O estudo também evidenciou que a temperatura elevada e a duração prolongada da germinação contribuem para a geração de compostos bioativos, resultando em um aumento significativo da atividade antioxidante, conteúdo fenólico e poder redutor. Tanto o tempo quanto a temperatura de germinação surgem como fatores cruciais que influenciam a digestibilidade dos nutrientes, propriedades antioxidantes, componentes bioativos e características tecnológicas da farinha de sorgo.

Conforme expresso pelos autores Elkhalfa e Bernhardt (2013), propriedades físico-químicas da farinha de sorgo são modificadas seletivamente por germinação-fermentação combinada, como a estabilidade e clareza da farinha do sorgo, propriedades de pasta cozida, consistência de gel e poder de inchaço. As modificações resultantes desses tratamentos revelam uma influência mais expressiva nas propriedades relacionadas ao amido, em comparação com as alterações observadas nas proteínas, que são semelhantes àsquelas induzidas apenas pela fermentação.

Saithalavi et al. (2021) conduziram uma revisão sobre o impacto da germinação nas propriedades físico-químicas e nutricionais do sorgo. Neste processo, os grãos são hidratados e germinados sob condições controladas e, não apenas altera a composição do grão, mas também desencadeia mudanças bioquímicas e fisiológicas substanciais. A ativação de enzimas

intrínsecas, como amilases, proteases e lipases, contribui para a degradação de fibras, fitases e corpos proteicos degradáveis, resultando na transformação de lipídios e carboidratos em moléculas simples. Com isso concluiu-se que ocorre melhora da digestibilidade de proteínas, carboidratos e nutrientes acessíveis por enzimas. O sorgo submetido à germinação demonstrou um aumento na atividade da amilase, danos nos grânulos do endosperma e nas paredes celulares, menor tenacidade, peso e tamanho do grão, bem como menor pico e temperatura de viscosidade em comparação com o grão não submetido ao processo. A síntese de enzimas de degradação da parede celular, como celulasas e endoxilanasas, resultou na hidrólise de compostos fenólicos ligados às paredes celulares, aumentando o conteúdo de compostos fenólicos livres, principalmente ácido ferúlico, e, assim, elevando a capacidade antioxidante da farinha de sorgo geminada.

Com base na pesquisa conduzida por Arouna et al. (2020) sobre as propriedades nutracêuticas do sorgo, destaca-se o impacto da germinação nas características antioxidantes e anti-hipertensivas desse cereal, especialmente em variedades do sorgo. Embora não tenha havido variação significativa no conteúdo fenólico total entre o sorgo germinado e não germinado, observou-se que o sorgo não germinado apresentou atividades antioxidantes *in vitro* significativamente superior. Ademais, constatou-se que o sorgo não germinado exibiu uma inibição mais substancial da enzima conversora de angiotensina (ECA), enquanto o sorgo germinado demonstrou melhor proteção dos eritrócitos contra radicais peroxil em doses mais baixas. Em síntese, a germinação impactou negativamente a atividade antioxidante *in vitro* e o efeito anti-hipertensivo do sorgo, ao mesmo tempo em que melhorou a proteção dos eritrócitos. O sorgo não germinado foi identificado como uma fonte mais promissora de atividades antioxidantes e inibição da ECA, destacando-se como uma valiosa matéria-prima para a formulação de alimentos com atributos saudáveis aprimorados.

Marchini et al. (2021) contrasta a abordagem sobre as propriedades moleculares e reológicas da farinha de sorgo germinado e, observou no seu trabalho um aumento na mobilidade molecular das amostras de sorgo durante o processo de germinação. Apesar disso, as propriedades viscoelásticas do sistema farinha-água não foram significativamente afetadas pela germinação. Os seus resultados sugerem que, embora o sorgo apresente maior mobilidade molecular em comparação com o trigo, suas propriedades viscoelásticas não são impactadas pelo processo de germinação. Este estudo indica que o uso de farinhas de sorgo pode ser vantajoso em aplicações que não demandem alto desempenho viscoelástico ou gelatinização intensiva do amido.

Cardone et al. (2021) apresentaram uma avaliação do processo de germinação do sorgo, especificamente na composição química e nas propriedades funcionais da farinha resultante. Utilizando sorgo sem casca e sem tanino, as amostras foram submetidas a diferentes períodos de germinação e uma temperatura constante. Posteriormente, os grãos foram secas e a farinha resultante foi analisada em termos de composição química, atividade enzimática, capacidade de absorção de água e óleo, poder de inchaço, além de propriedades específicas do pão, como volume e firmeza da migalha. Os resultados evidenciaram que o processo de germinação exerceu impacto significativo na composição química e nas atividades enzimáticas da farinha de sorgo. Houve variações sutis no amido total e no conteúdo de proteína em função do tempo de germinação, enquanto as atividades hidrolíticas, especialmente de α -amilase e protease, aumentaram consideravelmente durante o processo. Além disso, observou-se uma diminuição significativa na capacidade de absorção de água a partir de 48 horas de germinação, enquanto a capacidade de absorção de óleo aumentou desde as 24 horas. A germinação no período de 96 horas resultou em uma redução significativa no poder de inchaço. A adição de sorgo germinado por 36 horas ou mais em uma farinha composta resultou em pães com maior volume e volume específico em comparação com os feitos apenas com farinha de trigo. Utilizando sorgo germinado entre 36 e 72 horas em uma farinha composta, foi possível obter pães com maior volume específico e menor firmeza de migalha, indicando o potencial do sorgo germinado em produtos de panificação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os grãos de sorgo (*Sorgum bicolor*) utilizados foram da cultivar al precioso produzidas na safra 2022, com 98% de pureza, 75% de germinação, categoria S2 da empresa BRSEEDS.

No laboratório de Propriedades Físicas de Produtos Agrícolas da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), os grãos de sorgo foram retirados da embalagem e, utilizando um equipamento homogeneizador Boerner, foram homogeneizados para garantir uma distribuição uniforme. Então, foi realizada a análise do teor de água a partir de quatro amostras secas em uma estufa (Solab SL-102) na temperatura de 105°C por um período de 24 horas. Os resultados obtidos indicaram uma média do teor de água de 9,00%.

3.1 GERMINAÇÃO DO SORGO

Para realizar o experimento de germinação, foram analisados seis períodos diferentes para o processo, definidos como: 0 horas (controle), 24 horas, 48 horas, 72 horas, 96 horas e 120 horas. Para cada um desses períodos, foram montadas quatro bandejas repetições contendo aproximadamente 150 gramas de grãos cada uma, totalizando assim 24 bandejas previamente higienizadas com água sanitária e devidamente identificadas. Após essa etapa inicial, as amostras foram preparadas para o processo de hidratação.

Para cada repetição, foi utilizada uma proporção de 1 parte da massa dos grãos para 4 partes de solução de hidratação. Portanto, para as 150 gramas de grãos, foram adicionadas 600 ml de solução de hipoclorito de sódio a 0,07% para a hidratação.

Após um período de hidratação de 30 minutos, as amostras foram drenadas com o auxílio de peneiras, colocadas sobre papel toalha para remover o excesso de água por aproximadamente 10 minutos. Em seguida foram pesadas novamente, verificando-se a massa hidratada.

Sob bandejas de aço inoxidável, foi então disposto um papel de germinação e os grãos já hidratados foram espalhados uniformemente sobre ele. Outra camada de papel de germinação foi colocada por cima dos grãos. Todas as amostras foram devidamente umedecidas com água destilada, exigindo pelo menos duas regas diárias ao longo de todo o período de germinação. As bandejas foram posicionadas no germinador de forma aleatória, tendo sido previamente definida por sorteio. Durante a germinação, o material foi acondicionado no germinador (DeLeo) com temperatura média de 25° C e umidade relativa de 98%.



Figura 5. Grãos de sorgo não germinados após o processo de germinação de 120 horas.

Fonte: autoria própria.

3.2 SECAGEM DO MATERIAL APÓS GERMINAÇÃO

Ao final de cada período do experimento, as bandejas foram removidas e a massa dos grãos germinados foi determinada em balança de precisão (MARK M 723). Posteriormente, as amostras foram distribuídas em bandejas de secagem e colocadas em uma estufa (Solab SL-102) a uma temperatura de 60°C por um período de 4 horas (MARCHINI et al., 2021). Após esse processo de secagem, o material foi retirado da estufa e pesados novamente.

3.3 PROCESSAMENTO DA FARINHA

Após o processo da secagem, o material foi moído em um moedor de café (Cadence-Di Grano MDR 302) por 01 minuto e passado por uma peneira para retirar as partes grosseiras. Após esse processo, foi retornada para o moedor por 5 minutos, e a farinha obtida foi peneirada utilizando uma granulometria de 50 mesh. A farinha foi armazenada em embalagens *stand up pouch* metalizadas e mantidas sob refrigeração até serem utilizadas para as análises. O mesmo processo foi realizado para todos os tempos de germinação.

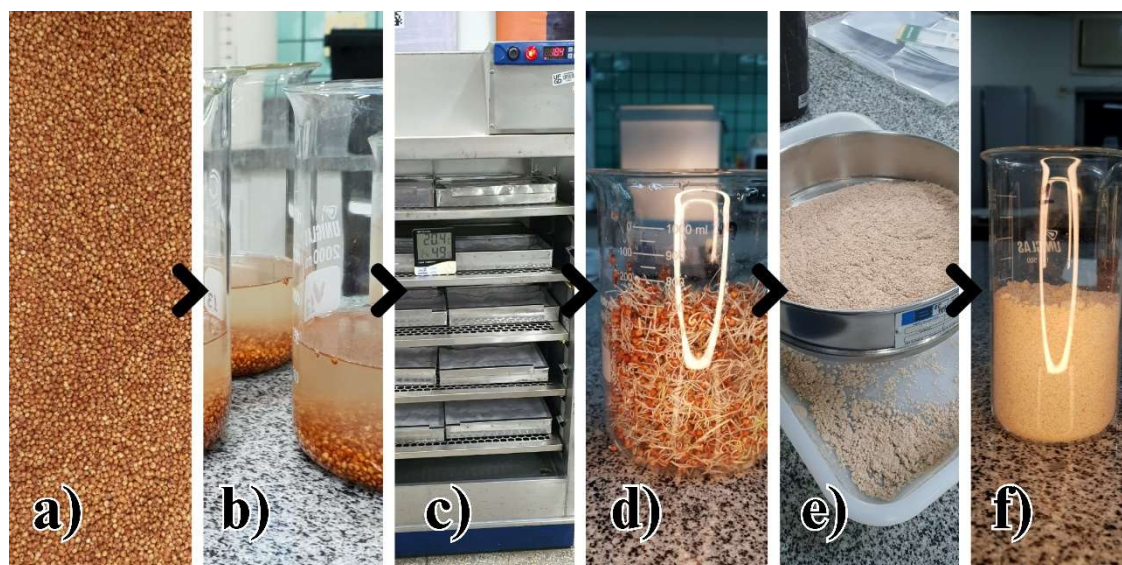


Figura 6. Etapas de (a) homogeneização, (b) hidratação, (c) início germinação, (d) secagem e (e) moagem utilizadas no processo da obtenção da farinha da farinha do sorgo germinado.

Fonte: autoria própria.



Figura 7: Farinhas do sorgo germinado nos diferentes períodos.

Fonte: autoria própria.

3.4 ANÁLISES DE QUALIDADES DAS FARINHAS

Para determinar o pH das farinhas foi utilizado o medidor pHmetro (TECNAL). Amostras de 5,0000 g foram diluídas em 50 mL de água destilada e a leitura do pH realizada diretamente.

A atividade de água foi determinada utilizando o equipamento de marca Aqualab (BrasEq®), que foi calibrado primeiramente com água para então posteriormente utilizar soluções saturadas de LiCl (cloreto de lítio) 0,112, MgCl₂ (Cloreto de magnésio) 0,380 e NaCl (cloreto de sódio) 0,75. As amostras de farinha foram então colocadas em recipientes plásticos de medição, até a metade da sua capacidade, e logo em seguida foram colocadas no

equipamento que realizou a leitura e que indicou dois valores, o de atividade de água (a_w) e temperatura em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Para a análise de acidez titulável das farinhas foi realizada titulometria com solução de hidróxido de sódio (NaOH). Foi utilizada 1 g da amostra que foi disposta em um béquer, diluída em 50 mL de água destilada e agitada por 10 minutos. O volume de solução de NaOH 0,1 N utilizado na titulação até o ponto de completar a viragem, atingindo a coloração rosa usando 3 gotas de fenolftaleína como indicador.

Para avaliar o rendimento da farinha, foi empregado a relação entre a massa da farinha de sorgo germinada (g) e a massa inicial do grão seco (g), multiplicada por cem.

As análises colorimétricas foram realizadas com um colorímetro modelo Crhoma Meter CR – 400 (Konica Minolta Sensing Inc, Japan), utilizando a escala Cielab L^* , a^* e b^* . A luminosidade (L^*) - varia entre 0 (preto) e 100 (branco); o estímulo " a^* " indica a cromaticidade em um eixo verde (-) para o vermelho (+). O estímulo " b^* " indica a cromaticidade em um eixo azul (-) para o amarelo (+). O procedimento experimental envolveu a separação das amostras de farinha geminada de sorgo em uma placa de petri, preenchendo-se todo o fundo da placa. A placa foi posicionada sobre o balcão e o equipamento sobre, em contato direto com a farinha. Foram realizadas três leituras consecutivas para cada amostra, e o resultado foi a média dessas leituras.

3.5 ANÁLISES NUTRICIONAIS DA FARINHA DE SORGO

As análises de minerais, proteína e extrato etéreo sorgo utilizando a técnica de Espectroscopia de Infravermelho Próximo, frequentemente denominado por NIR ("Near infrared Reflectance") em colaboração com a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA) Milho e Sorgo (CNPMS) sediada na cidade de Sete Lagoas no estado de Minas Gerais. A determinação dos teores de proteínas em cada um dos tratamentos com quatro repetições em duplicatas.

As amostras de farinha foram submetidas à leitura NIR, em um equipamento BUCHI (modelo NIRFlex 500) equipado com detector de InGaAs. As amostras foram acondicionadas para efeitos de leitura em uma placa de petri de vidro borossilicato. Os espectros das amostras foram submetidos em duplicata, na região de 4.000 a 10.000 μm , com resolução de 4 cm^{-1} e 32 varreduras por espectro e os resultados calculados conforme metodologia descrita por Simeone et al. (2018).

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) testando-se os tratamentos (controle, 24,48,72,96 e 120 horas) com quatro repetições. Os resultados obtidos foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey em nível de significância de 5%. Para o desenvolvimento das análises estatísticas foi utilizado o programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela a seguir, encontram-se os dados referentes à média das análises de pH, acidez e atividade de água das farinhas de sorgo, tanto na forma controle quanto após o processo de germinação em diferentes tempos.

Tabela 3. Valores médios de pH, acidez (g de ácido equivalente. 100g⁻¹) e atividade de água (aw) das farinhas de sorgo em diferentes tempos de germinação

Tempo de germinação (h)	pH	Acidez	Aw
0	6,35 ± 0,07 bc	1,15 ± 0,16 bc	0,434 ± 0,006 ab
24	6,65 ± 0,09 a	0,99 ± 0,05 c	0,460 ± 0,026 b
48	6,51 ± 0,11 ab	1,08 ± 0,07 c	0,401 ± 0,009 a
72	6,22 ± 0,13 cd	1,30 ± 0,12 ab	0,396 ± 0,009 a
96	6,07 ± 0,10 d	1,34 ± 0,08 ab	0,476 ± 0,030 bc
120	5,75 ± 0,01 e	1,46 ± 0,04 a	0,519 ± 0,020 c
P- valor	0,000*	0,000*	0,000*

Valores expressos em média ± desvio padrão; * significativo na análise de variância sendo considerado um delineamento inteiramente casualizado, ao nível de 5% de significância; letras minúsculas iguais na coluna indicam médias iguais estatisticamente pelo teste de Tukey. (p < 0,05)

Para as análises de pH, observou-se diferença estatística significativa, sendo o valor médio para o tratamento controle de 6,35 ± 0,07, igual estatisticamente as farinhas germinadas nos tempos de 48 e 72 horas (Tabela 3). O tempo de germinação de 48 horas resultou em farinhas com valores médios de pH iguais estatisticamente ao período de 24 horas. Já o período de 72 horas foi igual estatisticamente ao período de 96 horas de germinação. Por outro lado, a farinha germinada no tempo de 120 horas, apresentou o menor valor de pH entre todos os períodos analisados (5,75 ± 0,01) sendo o mesmo diferente estatisticamente dos demais.

Desse modo, constata-se, na Tabela 3, a partir de 24 horas de germinação uma redução progressiva nos valores de pH à medida que o tempo de germinação aumenta. Essa redução no caso da farinha, pode ter ocorrido, segundo Alcântara et al. (2007), devido à concentração de ácidos durante a secagem. Segundo Kadam e Balasubramanian (2011) pH inferiores a 4,5 acarretam um crescimento reduzido de microrganismos, e amostras com pH superiores a 4,5 estão propensas ao desenvolvimento de proliferações microbiológicas com maior facilidade.

Na análise da acidez, observou-se uma diferença significativa entre os períodos de germinação. Os tratamentos controle, 24 e 48 horas, mostraram-se estatisticamente iguais, diferenciando-se, porém, dos demais intervalos de tempo. Além disso, o controle apresentou igualdade estatística com os períodos de germinação de 72 e 96 horas, os quais, por sua vez, foram estatisticamente iguais à condição de 120 horas (Tabela 3).

Conforme evidenciado na Tabela 3, quando se comparam o tratamento controle e o período de 120 horas de germinação observou-se que à medida que o tempo de germinação aumenta, observa-se um aumento no valor médio da acidez. Esse aumento da acidez, deve-se, provavelmente, à quebra enzimática dos lipídios durante o processo germinativo (LEITE, 2017). Esses resultados apontam para uma relação direta entre o tempo de germinação e os níveis de acidez, sugerindo uma influência temporal significativa sobre essa variável.

Leite et al. (2016) ao estudarem a germinação dos grãos de sorgo observaram que com o processo de germinação a acidez titulável passou de 1,08 para 1,99 g de ácido equivalente $100^{-1}g^{-1}$, havendo aumento na quantidade de ácidos orgânicos. Loures et al. (2009) analisaram físico-quimicamente os grãos de lentilha germinados e encontraram acidez de 2,64% após a germinação.

Ao analisar a Tabela 3, constata-se que a farinha submetida a um tempo de germinação de 120 horas demonstrou o valor médio mais elevado para a atividade de água. Notavelmente, esse resultado foi estatisticamente igual ao observado no período de 96 horas de germinação, que, por sua vez, apresentou igualdade estatística em relação ao tempo de 24 horas de germinação e ao controle. Adicionalmente, o controle exibiu igualdade estatística em relação aos tempos de 48 e 72 horas, destacando padrões de comportamento e similaridades entre esses diferentes períodos de germinação.

A atividade da água é um fator crítico que causa deterioração, conduzindo a alterações enzimáticas, escurecimento não enzimático, deterioração dos lipídios, perfil microbiano e estabilidade global dos alimentos. Estabelecer seu nível fornece informações sobre o provável nível de contaminação microbiológica, bem como o grau de deterioração da gordura nos alimentos. Alimentos com aw muito alta são propensos à proliferação de fungos, que podem ser acompanhados por contaminação por microtoxinas, sendo que o limite máximo de atividade de água para evitar deterioração do alimento por microrganismos é abaixo de 0,60 (TEMBA; NJOBH; KAYITESI, 2017). Nota-se então na Tabela 3 que nenhuma das farinhas obteve resultados de atividade de água tão elevados, revelando que a farinha de sorgo germinada apresenta resistência ao crescimento de fungos, leveduras e bactérias.

Na tabela 4 a seguir são apresentados os componentes colorimétricos das farinhas após diferentes tempos de germinação.

Tabela 4. Médias das coordenadas de cor (L* luminosidade, a* vermelho-verde, b* amarelo-azul (admissionais)) das farinhas de sorgo em diferentes tempos de germinação

Tempo de germinação	Coordenadas		
	L*	a*	b*
0	74,72 ± 0,69 a	7,49 ± 0,11 a	14,34 ± 0,11 a
24	74,55 ± 0,38 a	6,87 ± 0,14 b	13,36 ± 0,10 b
48	75,74 ± 0,86 a	6,30 ± 0,31 b	13,08 ± 0,18 bc
72	75,78 ± 0,38 a	6,37 ± 0,29 b	13,04 ± 0,15 bc
96	74,82 ± 0,76 a	6,48 ± 0,09 b	12,87 ± 0,27 c
120	74,54 ± 0,65 a	6,67 ± 0,40 b	11,94 ± 0,26 d
P- valor	0,303 ns	0,000*	0,000*

Valores expressos em média ± desvio padrão; * significativo na análise de variância s, ao nível de 5% de significância; letras minúsculas iguais na coluna indicam médias iguais estatisticamente pelo teste de Tukey. (p < 0,05)

A cor é um aspecto bastante relevante para o consumidor, sendo um dos parâmetros que interferem na decisão de qual farinha será adquirida no comércio. O consumidor apresenta preferência por farinhas de colorações brancas ou levemente mais claras, o que não necessariamente indica melhor qualidade, pois a cor é resultado de uma série de fatores, alguns são de natureza intrínseca ao tipo de matéria prima, como o teor de pigmentos (GUTKOSKI, 2009).

Para a coordenada L* observou-se que não ocorreu diferença estatística significativa entre os tempos de germinação (Tabela 4). Todas as farinhas apresentaram um valor médio maior que 74 o que comprova sua tendência a cor branca, sabendo-se que o parâmetro L* igual a 100 indica branco total e 0 indica preto total (MIRANDA et al., 2011). Dessa forma, observou-se que a germinação manteve a claridade da farinha do sorgo (Figura 7). Segundo Boudries, et al. (2009) obtiveram alto grau de brancura; os valores de L foram de 92,91 e 91,06, respectivamente, para o sorgo branco e vermelho, valores que confirmam a elevada pureza dos amidos isolados. Wang, et al. (1993) estimaram que um valor superior a 90 fornece uma brancura satisfatória para a pureza do amido.



Figura 8. Grãos e farinha do sorgo germinado em diferentes tempos de germinação

Fonte: autoria própria.

Todas as farinhas avaliadas apresentaram valores positivos para a^* e b^* , o que indica respectivamente que, quando positivo para a^* a coordenada tende vermelho e para b^* , tem tendência para a cor amarela (Tabela 3). No entanto, para a coordenada a^* , observou-se diferença estatística significativa ($p < 0,05$) da amostra controle (sem germinação) quando comparada com às farinhas de sorgo germinadas em diferentes tempos.

Para a coordenada b^* , observou-se também diferença estatística significativa, sendo o valor médio para o tratamento controle maior e diferente das demais farinhas avaliadas. Para os períodos de germinação 24, 48 e 72 horas os valores da coordenada de cor b^* são iguais estatisticamente, sendo estes dois últimos períodos também iguais ao tempo de 96 horas. Já para o período de germinação de 120 horas a farinha apresentou a menor média para a coordenada b^* ($11,94 \pm 0,26$) sendo diferente estatisticamente dos outros tratamentos. Dessa forma, com a observação da Figura 7, observamos que quando comparadas as farinhas de sorgo não germinado e germinado por 120 horas, ocorreu a diminuição da intensidade do componente de cor vermelho e aumento do componente da cor verde, assim como a diminuição da intensidade da cor amarela e o aumento da intensidade da cor azul.

Na tabela 5, observam-se os valores médios de proteína bruta, extrato etéreo, material mineral e umidade das farinhas de sorgo em diferentes tempos de germinação.

Tabela 5. Valores médios nutricionais de proteína bruta (%), extrato etéreo (%), material mineral (%) e umidade das farinhas de sorgo em diferentes tempos de germinação

Tempo de germinação (h)	Proteína Bruta	Extrato Etéreo	Material Mineral	Umidade
0	$12,55 \pm 0,17$ b	$4,56 \pm 0,02$ a	$1,37 \pm 0,02$ bcd	$10,14 \pm 0,31$ a
24	$13,06 \pm 0,08$ a	$4,38 \pm 0,27$ a	$1,58 \pm 0,14$ ab	$10,16 \pm 0,51$ a
48	$13,17 \pm 0,11$ a	$4,62 \pm 0,14$ a	$1,23 \pm 0,04$ cd	$9,06 \pm 0,15$ bc
72	$13,12 \pm 0,20$ a	$4,37 \pm 0,14$ a	$1,15 \pm 0,16$ d	$8,81 \pm 0,25$ c
96	$12,26 \pm 0,28$ b	$3,15 \pm 0,77$ b	$1,51 \pm 0,19$ abc	$9,77 \pm 0,42$ ab
120	$11,73 \pm 0,13$ c	$2,06 \pm 0,37$ b	$1,74 \pm 0,13$ a	$10,18 \pm 0,18$ a
P- valor	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*

Valores expressos em média $\pm$ desvio padrão; * significativo na análise de variância, ao nível de 5% de significância; letras minúsculas iguais na coluna indicam médias iguais estatisticamente pelo teste de Tukey.

Conforme apresentado na Tabela 5, observa-se que o valor mais elevado de proteína bruta foi encontrado na farinha obtida após tempo de germinação de 48 horas, embora igual estatisticamente aos tempos de germinação de 24 e 72 horas. Por outro lado, o tempo de 120 horas de germinação do sorgo implicou em menor valor médio de proteína bruta na farinha, este resultado foi estatisticamente diferente dos demais tempos de germinação avaliado.

Na Tabela 5, observa-se um aumento significativo na quantidade de proteína presente na farinha de sorgo germinada nos tratamentos de 24, 48 e 72 horas, em comparação com o tratamento controle. No entanto, ao alcançar os tratamentos de 96, que também é igual estatisticamente ao tratamento controle, e 120 horas nota-se uma diminuição na quantidade de proteína em relação ao tratamento controle, sendo esta inclusive inferior a este último.

Comportamento este semelhante foi observado por Fernández et al. (2021), que verificaram que o conteúdo de proteínas (21,6 g/100g a 17,8 g/100g) da farinha do feijão germinado foi reduzido. Foi observado comportamento semelhante também por Rosa-Millán et al. (2019) em feijão preto germinado. O processo de germinação gera enzimas que degradam a matriz da proteína para o crescimento dos novos brotos (FRANCISQUETI; SOUZA, 2014; DUANGMAL; SABGSUKIAN 2015).

Resultados este que diferem de Leite et al. (2016), onde o grão de sorgo germinado apresentou um aumento no seu teor proteico, que passou de 4,32 a 7,20%. Segundo Mubarak, et al. (2005), o método de germinação pode ser uma maneira de converter proteínas vegetais de fraca qualidade nutricional em proteínas de melhor qualidade, para uso humano e animal.

Ao analisar a Tabela 5 verificou-se que à medida que o tempo de germinação se estende, observa-se uma tendência decrescente na quantidade de extrato etéreo. Notavelmente, o valor médio no tempo de germinação de 120 horas, apresentou igualdade estatística com o período de 96 horas, porém evidenciando diferenças significativas em relação aos demais intervalos de tempo analisados.

Leite et al. (2016) também observaram queda do teor de lipídios em grãos de sorgo passando de 3,52% na amostra *in natura* para 2,21% na amostra germinada. Esta diminuição se deve à degradação dos nutrientes, carboidratos e lipídios, para a energia requerida durante o desenvolvimento do eixo embrionário (MUBARAK, 2005). Esta diminuição no teor de gorduras pode ser atribuída ao aumento das atividades de enzimas lipolíticas durante a germinação, que hidrolisam os componentes de gorduras em ácidos graxos (CHINMA et al., 2009).

Analisando a Tabela 5 observou-se também diferença estatística significativa, para o conteúdo de material mineral (cinzas) das farinhas de sorgo germinadas. O maior valor médio foi para o tratamento de 120 horas de germinação que foi igual estatisticamente ao tempo de 24 e 96 horas. A menor quantidade de material mineral foi encontrada com o tempo de germinação de 72 horas que teve igualdade estatística significativa com os tratamentos controle e 48 horas.

Na Tabela 5, ao comparar o tratamento de 120 horas de germinação com o tratamento controle, nota-se que teve um aumento de quantidade mineral presente na farinha de sorgo germinada, concordando com o estudo de Fernández et al. (2021), que ao estudar sobre a farinha de feijão germinado, verificou um aumento com a presença de germinação. Observou-se que a água usada na germinação poderia ter influenciado no teor de minerais presentes no feijão refletido no teor de cinzas nas farinhas (BENAYAD, 2020; MILLAR et al., 2019). Contrariamente, Leite et al. (2016), verificaram uma diminuição no teor de cinzas do grão após a germinação esse decréscimo pode ser atribuído a possível lixiviação durante o processo.

Para as análises de umidade, observou-se diferença estatística significativa, sendo o valor médio para o tratamento controle, igual estatisticamente as farinhas germinadas nos tempos de 24, 96 e 120 horas (Tabela 5). O tempo de germinação de 72 horas resultou em farinha com o menor valor médio de umidade, que é igual estatisticamente ao período de 48 horas. Já o período de 48 horas também foi igual estatisticamente ao período de 96 horas de germinação. Com relação ao grau de umidade, observou-se um aumento após a germinação, uma vez que o grão passa por um processo de hidratação para que as transformações bioquímicas aconteçam em seu interior (VILLELA et al., 2007). É de grande importância controlar o grau de umidade presente na farinha, pois esse parâmetro é responsável pela aceleração das reações químicas, enzimáticas e microbiológicas (FERNÁNDEZ, 2021).

Na Figura 9, é possível observar o rendimento, expresso em porcentagem, em diferentes tempos de germinação da farinha de sorgo germinada.

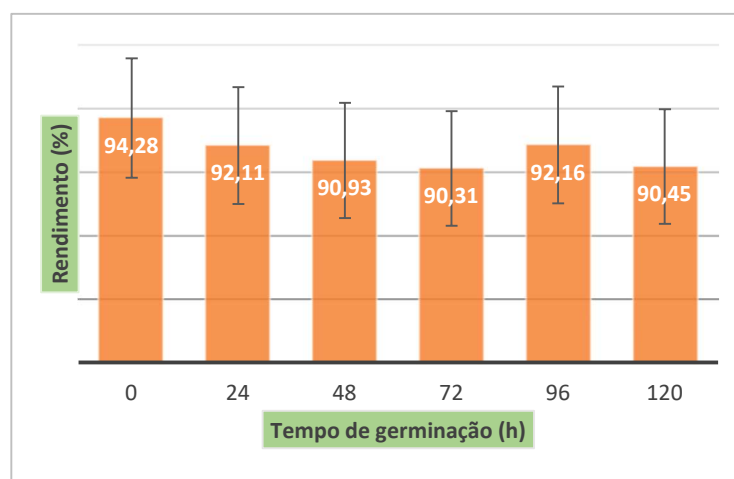


Figura 9. Valores médios do rendimento com desvio padrão das farinhas de sorgo em diferentes tempos de germinação.

Conforme evidenciado, observa-se que não houve diferença significativa no rendimento da farinha de sorgo, independentemente do tratamento aplicado.

5 CONCLUSÕES

Com base em todos os resultados obtidos observou-se que a farinha germinada demonstra benefícios mais expressivos quando submetida ao processo de germinação até 72 horas. Observa-se que, a partir de 96 horas e especialmente em 120 horas, ocorre uma diminuição não apenas no teor de lipídios, mas também de proteína. Este resultado contrasta com a expectativa de aumento de proteína, como sugerido por outros pesquisadores mencionados anteriormente. Portanto, o período de 72 horas emerge como um ponto crítico, evidenciando um equilíbrio entre a manutenção ou aumento de propriedades nutricionais desejáveis na farinha.

No que diz respeito ao material mineral, a tendência é de diminuição até 72 horas, a partir das quais ocorre um aumento. Isso ressalta a importância de considerar não apenas o tempo total de germinação, mas também as mudanças específicas que ocorrem em diferentes estágios do processo. Já para o rendimento da farinha não foram observadas diferenças significativas entre os diferentes tempos de germinação. Isso sugere que o rendimento permanece consistente, independentemente do tempo aplicado no processo. Considerando as análises realizadas, a farinha do sorgo germinada obteve melhores resultados até 72 horas destacam-se por apresentar melhores condições nutricionais ressaltando assim a importância de otimizar o tempo de germinação para obter produtos finais mais vantajosos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, S.; PATHAK, D.K. Nutritional changes in soybean during germination. *Journal of Food Science and Technology*, v. 37, p. 665, 2000.

ALCÂNTARA, S. R.; Almeida, F. A. C.; Silva, F. L. H. Emprego do bagaço seco do pedúnculo do caju para posterior utilização em um processo de fermentação semi-sólida. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 9, n. 2, p. 137-142, 2007.

ALDRICH, S.R.; SCOTT, W.O.; LENG, E.R. Modern corn production. 2.ed. Champaign: A & L Publication, 1982. 371 p.

BATISTA, P.S.C. **Tolerância ao estresse hídrico em sorgo granífero**. 2018. 90 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.

BEAN, Brent. Sorghum's grain color on full display. *High Plains Journal*, 2023. Disponível em: <https://hpj.com/2023/10/25/sorghums-grain-color-on-full-display/>. Acesso em: 25 out. 2023.

BENAYAD, Asmaa; TAGHOUTI, Mona; BENALI, Aouatif; ABOUSSALEH, Youssef; BENBRAHIM, Nadia. Nutritional and technological assessment of durum wheat-faba bean enriched flours, and sensory quality of developed composite bread. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2020.

BROOKING, I.R. Male sterility in *Sorghum bicolor* (L.) Moench induced by low night temperature. I. Timing of the stage of sensitivity. *Australian Journal Plant Physiology*, v.3, p.589-596, 1976.

CHEN, L. H.; WELLS, C. E.; FORDHAM, J. R. Germinated seeds for human consumption. **Journal of Food Science**, v. 40, n. 6, 1975.

CHINMA: CHINMA, C. E.; ADEWUYI, A. O.; ABU, J. O. Effect of germination on the chemical, functional and pasting properties of flour from brown and yellow varieties of tigernut. *Food Research International*, v. 42, n. 8, p. 1004-1009, 2009.

CLEGG, M. D.; EASTIN, J. D.; NELSON, L. A. Field evaluation for cold tolerance in grain sorghum. **Crop Science**, Madison, v. 23, n. 1, p. 23-26, Jan./Feb. 1983

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2022/2023, v. 10, n. 12, p. 1-110, 2023.

CORREIA, Isabel et al. High pressure treatments largely avoid/revert decrease of cooked sorghum protein digestibility when applied before/after cooking. *LWT-Food Science and Technology*, v. 44, n. 4, p. 1245-1249, 2011.

DUARTE, Naiara. Cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench): uma revisão sobre sua versatilidade tecnológica, processamento e pós-colheita. 2021. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2021.

EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL. Sorgo. [S. l.], [21--]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agrossilvipastoril/sitio-tecnologico/trilhatecnologica/tecnologias/culturas/sorgo>. Acesso em: 22 de outubro de 2023.

ESKIN, N. A. M. Bioquímica de alimentos. Coautoria de Fereidoon Shahidi. Tradução de Claudia Coana, Yara Marina Joanna. Revisão técnica de Helia Harumi Sato, Gabriela Alves Macedo. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2015. 518 p., il. ISBN 9788535271645 (broch.).

FAO, 2024. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and Agricultural Data. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acessado em: 03 jan.2024.

FRANCISQUETI, F. V.; SOUZA, S. Alimentos germinados: das evidências científicas à viabilização prática. Revista Brasileira de Nutrição Funcional, v. 6, n. 58, p. 29- 35, 2014.

GUTKOSKI, Luis Carlos. Controle de Qualidade de grãos e farinhas de cereais. Universidade de Passo Fundo – Centro de pesquisa e alimentação. Passo Fundo – RS, 2009. Disponível em: http://200.135.19.1/4simposio/docs/avaliacao_qualidade_de_graos_concordia_2009.pdf. Acesso em 24/01/2024.

KHOLE, Swati; CHATTERJEE, Suchandra; VARIYAR, Prasad; SHARMA, Arun; DEVASAGAYAM, T. P. A.; GHASKADBI, Saroj. Bioactive constituents of germinated fenugreek seeds with strong antioxidant potential. Journal of Functional Foods, v. 6, p. 270-279, 2014.

LEDUR, Eduardo Henrique. Influência do processo de germinação de grãos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) nas características tecnológicas do gel de amido. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2022.

LEITE, D. D. F.; CAVALCANTI, M. T.; SILVA, A. S.; GONÇALVES, M. C.; ALMEIDA, M. C. B. M. Propriedades funcionais da semente do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in natura e germinado. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 11, n. 1, p. 07-11, 2016.

LEMMENS, E., Moroni, A. V., Pagand, J., Heirbaut, P., Ritala, A., Karlen, Y., Kim-Anne, L., Van den Broeck, H. C., Brouns, F. J. P. H., De Brier, N., and Delcour, J. A. (2019). Impact of Cereal Seed Sprouting on Its Nutritional and Technological Properties: A Critical Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 18, 305-328. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12414>

LOURES, N. T. P.; NOBREGA, L. H. P.; COELHO, S. R. M. Análise físico- Análise físico-química, microbiológica e sensorial de brotos de química, microbiológica e sensorial de brotos de lentilha da variedade PRECOZ lentilha da variedade PRECOZ. Acta Scientiarum Agronomy, v. 31, n. 4, p. 599-606, 2009.

MARCHINI, Mia; ARDUINI, Riccardo; CARINI, Eleonora. Insight into molecular and rheological properties of sprouted sorghum flour. Food Chemistry, v. 356, p. 129603, 2021.

MARIANI, M.; OLIVEIRA, V. R.; FACCIN, R.; RIOS, A. O.; VENKZE, J. G. Elaboração e avaliação de biscoito sem glúten a partir farelo de arroz e farinhas de arroz e de

soja. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v. 18, n. 1, p. 70-78, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.6514>

MARTINELLI, S.S.; CAVALLI, S.B. Alimentação saudável e sustentável: uma revisão narrativa sobre desafios e perspectivas. *Ciência e Saúde Coletiva*, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/z76hs5QXmyTVZDdBDJXHTwz/?lang=pt> em: 14/01/2024..

MENEZES, C. B. DE; FERNANDES, E. A.; PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E.; RODRIGUES, J. A. S. Importância do sorgo para o abastecimento de grãos, forragem e bioenergia no Brasil. In: Menezes, C. B. de. *Melhoramento genético de sorgo*. Brasília: Embrapa, 2021. Cap.1, p.13-58, 2021.

MIRANDA, M. Z.; GUARIENTI, E. M.; BASSOI, M. C.; SHEEREN, P. L.; SILVA, M. S.; CAIERÃO.; Qualidade tecnológica de cultivares de trigo da Embrapa indicadas para o Paraná na safra de 2011. V reunião da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticale. 2011.

MOCELLIN, Kérli Daiana. Sorgo Granífero (“sorghum bicolor l. moench”): uma revisão sobre as propriedades funcionais e utilização do grão na alimentação humana. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos com Ênfase em Alimentos Funcionais) – Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

MUBARAK, A. E. Nutritional composition and antinutritional factors of mung bean seeds (*Phaseolus aureus*) as affected by some home traditional processes. *Food Chemistry*, v. 89, n. 4, p. 489-495, 2005.

DUARTE, Naiara Lopes. Cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench): uma revisão sobre sua versatilidade tecnológica, processamento e pós-colheita. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2021.

NOUT, M. J. R.; NGODDY, P. O. Technological aspects of preparing affordable fermented complementary foods. *Food control*, v. 8, n. 5-6, p. 279-287, 1997.

OLIVEIRA, K. G.; Queiroz, V. A.; Carlos, L. A.; Cardoso, L. M.; Pinheiro-Sant'Ana, H. M.; Anunciação, P. C.; Menezes, C. B.; Silva, E. C.; Barros F. Effect of the storage time and temperature on phenolic compounds of sorghum grain and flour. *Food Chemistry*, v.216, p.390-398, 2017.

PAIVA, Caroline Liboreiro; QUEIROZ, Valéria Aparecida Vieira; GARCIA, Maria Aparecida Vieira Teixeira. Características tecnológicas, sensoriais e químicas de massas secas sem glúten à base de farinhas de sorgo e milho. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 22, 2019.

QUEIROZ, V. A. V.; OLIVEIRA, F. C. E.; MENEZES, C. B.; RODRIGUES, J. A. S. Sorgo: cereal ancestral bem atual: coletânea de receitas sem glúten com sorgo integral. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/229643/1/Cap-16-Sorgo-para-alimentacao-humana.pdf>. Acesso em: 29 jan 2024.

ROSA-MILLÁN, Julián; HEREDIA-OLEA, Erick; PEREZ-CARRILLO, Esther; GUAJARDO-FLORES, Daniel; SERNA-SALDÍVAR, Sergio. Effect of decortication, germination and extrusion on physicochemical and in vitro protein and starch digestion

characteristics of black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *LWT - Food Science and Technology*, v. 102, p.330-337, 2019.

SANGRONIS, E.; MACHADO, C. J. Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. *Food Science and Technology, Swiss*, v. 40, n. 1, p. 116-120, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2005.08.003>. Acesso em: 19 jan 2024.

SARMENTO, Erivanessa Costa Sousa. Espectroscopia no infravermelho próximo e análise multivariada na avaliação do potencial fisiológico de sementes de gergelim e sorgo. 2022. 63 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

SANTOS, C. V. dos; RIBEIRO, P. C. de O.; SILVA, K. J. da; MENEZES, C. B. de. Tecnologia de produção de sementes de sorgo. In: MENEZES, C. B. de (ed.). *Melhoramento genético de sorgo*. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 495-526. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1138348/1/Cap-17-Tecnologia-producao-sementes-sorgo.pdf>. Acesso aberto.

SINGH, A.; SHARMA, S.; SINGH, B. Effect of germination time and temperature on the functionality and protein solubility of sorghum flour. *Journal of Cereal Science*, [S.l.], v. 76, p. 131-139, 2017.

SINGH, Arashdeep; SHARMA, Savita. Bioactive components and functional properties of biologically activated cereal grains: A bibliographic review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 57, n. 14, p. 3051-3071, 2017.

SVENSSON, L., Sekwati-Monang, B., Lutz, D. L., Schieber, A., e Gänzle, M. G. (2010). Phenolic acids and flavonoids in nonfermented and fermented red sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 58, n. 16, p. 9214-9220. <https://doi.org/10.1021/jf101504v>. Acesso em: 18 dez 2023.

TABOSA, J. N. et al. Filho, JTT; Nascimento, MMA do; Lima, LE de; Carvalho, HWL de; Oliveira, LR de. Comportamento de cultivares de sorgo forrageiro em diferentes ambientes agroecológicos dos Estados de Pernambuco e Alagoas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 1, n. 2, p. 47-58, 2002.

TSUNECHIRO, A.; MIURA, M. Relações de preço sorgo/milho nos Estados de São Paulo, Goiás e Rio Grande do Sul, 2001-2009. *Informações Econômicas*, v.41, p.45-50, 2011.

VILAS BOAS, E. V. B.; BARCELOS, M. F. P.; LIMA, M. A. C. Tempo de germinação e características físicas, químicas e sensoriais dos brotos de soja e de milho nas formas isoladas e combinadas. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 26, n. 1, p. 148-156, 2002.

VILLELA, F. A.; NOVENBRE, A. D. L. C.; MARCOS FILHO, J. Estado energético da água na germinação de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, v. 29, n.1, p. 27-34, 2007.

YARA LÚCIA MARQUES MAIA; MARIA LUÍSA DE SOUSA CORREIA; FELIPE LOURENÇO DANTAS MELO. Saúde e sustentabilidade em grãos: germinados, brotos e microgreens. *Referências em Saúde do Centro Universitário Estácio de Goiás*, [S. l.], v. 3, n. 02, p. 147–157, 2020. Disponível em:

<https://estacio.periodicoscientificos.com.br/index.php/rrsfesgo/article/view/181>. Acesso em: 11 mar. 2024.

WANG, Y.J. et al. Characterization of starch structure of 17 maize endosperm mutant genotypes with Oh43 inbred line background. *Cereal chemistry*, 70 (2) (1993), pp. 171-179