

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos



**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS QUÍMICOS, FÍSICOS E TECNOLÓGICOS DO
SORGO PRODUZIDO EM MOÇAMBIQUE**

ALDO JOSÉ MABUREZA
Licenciado em Agroprocessamento

Pelotas, 2023

ALDO JOSÉ MABUREZA

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS QUÍMICOS, FÍSICOS E TECNOLÓGICOS DO
SORGO PRODUZIDO EM MOÇAMBIQUE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Comitê de orientação: Prof.^a Dr.^a Rosana Colussi

Prof. Dr. Nathan Levien Vanier

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

M112a Mabureza, Aldo José

Avaliação dos parâmetros químicos, físicos e tecnológicos do sorgo produzido em Moçambique / Aldo José Mabureza ; Rosana Colussi, orientadora ; Nathan Levien Vanier, Moacir Cardoso Elias, coorientadores. — Pelotas, 2023.

104 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Farinha de sorgo. 2. Amido. 3. Digestibilidade. 4. Amido resistente. I. Colussi, Rosana, orient. II. Vanier, Nathan Levien, coorient. III. Elias, Moacir Cardoso, coorient. IV. Título.

CDD : 633.6209679

Agradecimentos

A DEUS pela vida, saúde e bênçãos em minha vida.

Manifesto imensa gratidão ao meu pai particularmente por sempre me ajudar na minha formação e a minha mãe, mulher de grande coração, pela moral e carinho prestado ao longo da formação.

A minha simpática e muito trabalhadora Prof. Doutora Rosana Colussi e coorientadores Prof. Dr. Nathan Vanier e Prof. Dr. Moacir Cardoso por aceitar o desafio de me supervisionar tornado este trabalho uma realidade.

Agradecimento especial vai a Dr^a.Helen Cristina dos Santos Hackbart por ter ajudado em algumas análises.

Aos meus irmãos que sempre me apoiaram de todas as formas para alcance dos meus sonhos, Telma Mabureza, Nilza Mabureza, Marcelo Mabureza, Sandra Mabureza especial Edmundo Mabureza, que DEUS o tenha.

Aos meus colegas do laboratório de grãos, de modo especial aos colegas do meu grupo de estudo Sabrina Feksa Frasson, Isabela Narita, Lucas Nascimento, Isabel Pedone, Philomene Audrey.

Aos meus colegas, amigos (as) e companheiros (as) da cidade de Pelotas, em particular a Família África.

Ao Instituto de Investigação Agrária de Moçambique, pelo trabalho de melhoramento do sorgo e posterior partilha de material, em especial ao Eng. Mutaliano e Eng. Teca, Dr. Leonel Moiana, Dr Bart Van Schie que foram parte necessária e indispensável para concretização deste trabalho.

E a todos aqueles que de uma forma ou de outra tornaram possível a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

Aldo José Mabureza

Avaliação dos parâmetros químicos, físicos e tecnológicos do sorgo produzido em
Moçambique

Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em
Ciência e Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade
Federal de Pelotas.

Data da defesa: 27/04/2022.

Banca examinadora:

Prof.^a Dr.^a Rosana Colussi (Orientadora)

Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de
Pelotas

Prof.^a Dr.^a Carla Rosane Barboza Mendonça

Doutora em Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof.^a Dr.^a Elessandra Zavareze

Doutora em Engenharia e Ciências de Alimentos pela Universidade Federal do Rio
Grande Sul

Prof. Dr. Nathan Levien Vanier

Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas

RESUMO

Mabureza, Aldo José. **Avaliação dos parâmetros químicos, físicos e tecnológicos do sorgo produzido em Moçambique**. Orientadora: Prof.^a Rosana Colussi. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é um alimento básico em muitas áreas semiáridas e tropicais do mundo, principalmente na África Subsaariana devido à sua adaptação a ambientes hostis. Há um interesse crescente do uso do sorgo na alimentação humana devido ao baixo custo de produção e às características nutricionais que possibilitam seu uso como ingrediente funcional. O processo de melhoramento de sorgo para desenvolver cultivares com altos rendimentos e qualidade do grão aceitável do Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM) resultou na obtenção de novas cultivares com características de interesse, que ainda não são conhecidas e avaliadas, dificultando o conhecimento do seu uso. Assim, o objetivo deste estudo foi de avaliar os parâmetros químicos, físicos e tecnológicos do grão de sorgo produzido em Moçambique, bem como a extração e caracterização do seu amido. Amostras de 3 cultivares de sorgo (Mucuveia, Otela, Tocale) e uma variedade (criola) de nome Local foram avaliadas. Os grãos foram caracterizados quanto ao peso de mil grãos, peso do hectolitro, dimensões e cor. A composição proximal, digestibilidade *in vitro* do amido, proteína solúvel, digestibilidade proteica, fatores antinutricionais, teor de fitoquímicos, totais e atividade antioxidantes foram determinadas nos grãos transformados em farinha. O amido dos grãos de sorgo foi extraído e quantificado quanto ao rendimento de extração, grau de pureza, teor de amilose, propriedades de pasta, poder de inchamento, solubilidade, transmitância, propriedades térmicas, cristalinidade relativa, digestibilidade *in vitro* e morfologia. O conteúdo de proteína, lipídios, taninos, antocianinas, índice glicêmico estimado, digestibilidade proteica, proteínas solúveis, peso mil grãos e peso hectolitro, foram inferiores nas cultivares em relação a variedade (criola) Local, características alcançadas com o melhoramento orientado ao aumento de rendimento; em contraste apresentou valor maior nos conteúdos de carboidrato, cinzas, fenólicos livres, fibras, rendimento de amido, flavonóides e atividade antioxidante. A viabilidade do uso da farinha de sorgo como alta fonte de amido resistente (AR) foi confirmada, pois as cultivares apresentaram maior teor de AR, sendo benéficas para nutrição humana. Os grânulos de amido de sorgo apresentaram estrutura poliédrica e esférica. Os amidos apresentaram padrão de difração tipo A. Os amidos das cultivares Tocale e Mucuveia obtiveram maior e menor percentagem de hidrólise do amido, respectivamente. As cultivares apresentaram maiores temperaturas de gelatinização, denotando a necessidade de mais energia para gelatinizar. A variedade (criola) Local apresentou maior pico de viscosidade, demonstrando o bom potencial para uso como espessante. Estes resultados contribuirão na geração de conhecimento científico sobre a composição e propriedades tecnológicas das cultivares Mucuveia, Tocale, Otela e variedade (criola) Local.

Palavras-chave: farinha de sorgo, amido, digestibilidade, amido resistente.

ABSTRACT

Mabureza, Aldo José. **Evaluation of chemical, physical and technological parameters of sorghum produced in Mozambique.** Advisor: Prof. Rosana Colussi. 2022. Dissertation (Master in Food Science and Technology) – Graduate Program in Food Science and Technology, Federal University of Pelotas, 2022.

Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is a staple food in many semi-arid and tropical areas of the world, particularly in sub-Saharan Africa, due to its adaptation to hostile environments. There is a growing interest in the use of sorghum in human food due to the low production cost and nutritional characteristics that allow its use as a functional ingredient. The sorghum breeding process to develop cultivars with high yields and acceptable grain quality at the Agricultural Research Institute of Mozambique (IIAM) resulted in obtaining of new cultivars with characteristics of interest that are not yet known and evaluated, making it difficult to understand their use. Thus, the objective of this study was to evaluate the chemical, physical, and technological parameters of the sorghum grain produced in Mozambique, as well as the extraction and characterization of its starch. Samples of 3 sorghum cultivars (Mucuveia, Otela, Tocolé) and one variety (criola) named Local were evaluated. The grains were characterized according to the weight of a thousand grains, hectoliter weight, dimensions, and color. Proximal composition, in vitro digestibility of starch, soluble protein, protein digestibility, anti-nutritional factors, phytochemical content, and total and antioxidant activity were determined in grains transformed into flour. Starch from sorghum grains was extracted and quantified for extraction yield, purity, amylose content, paste properties, swelling power, solubility, transmittance, thermal properties, relative crystallinity, in vitro digestibility, and morphology. The protein content, lipids, tannins, anthocyanins, estimated glycemic index, protein digestibility, soluble proteins, thousand-grain weight, and hectoliter weight were lower in the cultivars in relation to the variety (criola) Local, characteristics achieved with the improvement oriented to increase yield; in contrast, it showed a higher value in carbohydrate, ash, free phenolic, fiber, starch yield, flavonoids, and antioxidant activity. The feasibility of using sorghum flour as a high source of resistant starch (RS) was confirmed, as the cultivars had a higher RS content, being beneficial for human nutrition. The sorghum starch granules showed a polyhedral and spherical structure. Starches showed a type A diffraction pattern. Starches from Tocolé and Mucuveia cultivars had higher and lower percentages of starch hydrolysis, respectively. The cultivars showed higher gelatinization temperatures, denoting the need for more energy to gelatinize. The variety (criola) Local had a higher viscosity peak, demonstrating good potential for use as a thickener. These results will contribute to the generation of scientific knowledge about the composition and technological properties of the cultivars Mucuveia, Tocolé, and Otela and variety (criola) Local.

Keywords: sorghum flour, starch, digestibility, resistant starch.

Lista de Figuras

Figura 1. Estrutura do grão de sorgo, com pormenores da camada de pericarpo. Fonte: Earp et al. (2004).....	19
Figura 2. Colheita de sorgo em Moçambique (a), e pós-colheita de sorgo em Moçambique (b).	20
Figura 3. Representação das cadeias de amilose (a), e amilopectina (b).....	25
Figura 4. Fluxograma do processo de extração do amido dos grãos de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.	39
Figura 5. Grãos da variedade Local (a), cultivar Mucuvea (b), cultivar Otela (c) e cultivar Tocolé (d).....	51
Figura 6. Digestibilidade in vitro do amido da farinha de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.	53
Figura 7. Poder de inchamento de amido de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.	68
Figura 8. Solubilidade de amido de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.....	68
Figura 9. Transmitância de amido de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local em função do tempo de armazenamento refrigerado.... (completar informações para que fique auto-explicativa)	69
Figura 10. Difractogramas de raio X de amido de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.	72
Figura 11. Digestibilidade in vitro de amido de sorgo isolado de diferentes cultivares de sorgo e da variedade Local.	74
Figura 12. MEV de grânulos de amido de sorgo (a, b) variedade Local, (c, d) cultivar Mucuvea, (e, f) cultivar Otela e (g, h) cultivar Tocolé, (1500 e 5000x, respectivamente).....	77
Figura 13. Elipses de confiança de amostras de sorgo.	78
Figura 14. Análises de componentes principais.	79
Figura 15. Correlação de Pearson.	80

Lista de Tabelas

Tabela 1. Características agronômicas de cultivares Moçambicanas e da variedade Local de sorgo.....	21
Tabela 2. Composição proximal do sorgo (g.100 g ⁻¹) na forma de grãos inteiros e de farinha do grão cru.	22
Tabela 3. Tipos de sorgo e quanto a sua utilização.	23
Tabela 4. Delineamento experimental das análises dos grãos de sorgo de diferentes cultivares de sorgo e da variedade Local.	31
Tabela 5. Determinações realizadas no amido do sorgo das diferentes cultivares e da variedade Local, após o processo de extração.	31
Tabela 6. Peso de mil grãos, peso do hectolitro e dimensões de grãos de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.	44
Tabela 7. Composição proximal e valor calórico total de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.	47
Tabela 8. Rendimento médio de nutrientes por hectare (kg.hc ⁻¹) de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.	48
Tabela 9. Cor do grão e da farinha de diferentes cultivares de sorgo e da variedade Local.....	51
Tabela 10. Digestibilidade in vitro do amido aos 180 min de digestão, índice glicêmico estimado, amido rapidamente digerível, amido lentamente digerível e amido resistente de farinhas de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.	54
Tabela 11. Digestibilidade proteica, proteína solúvel, taninos e ácido fítico de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.	56
Tabela 12. Teores de flavonóides, atividade antioxidante determinada pelos métodos de ABTS e DPPH, teor de fenólicos livres e antocianinas de grãos de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.	59
Tabela 13. Rendimento de extração, pureza e teor de amilose de amido de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.	63
Tabela 14. Propriedades de pasta de amido de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.	66

Tabela 15. Propriedades térmicas de amido de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.....	70
Tabela 16. Digestibilidade in vitro do amido aos 120 min de digestão, índice glicêmico estimado, amido rapidamente digerível, amido lentamente digerível e amido resistente de amido de sorgo isolado de diferentes cultivares e da variedade Local.....	75

Lista de abreviaturas e siglas

AACC	<i>American Association of Cereal Chemists</i>
ACP	Análise de Componentes Principais
ADL	Amido lentamente digerível
ANI	Agricultura Nutricionalmente Inteligente
AOAC	<i>Association of Official Agricultural Chemists</i>
AR	Amido resistente
ARD	Amido de rápida digestão
CR	Cristalinidade relativa
DRX	Difração de Raio-X
DSC	<i>Differential Scanning Calorimeter</i>
FAO	<i>Food Agriculture Organization</i>
IIAM	Instituto de Investigação Agrária de Moçambique
Ige	Índice glicêmico estimado
IH	Índice de hidrólise
LDL	Lipoproteína de baixa densidade
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
ORAC	Capacidade de absorção de radical de oxigênio
RVA	<i>Rapid Visco Analyser</i>
USDA	<i>United States Department Agriculture</i>
UV	Ultra-violeta
WFP	<i>World Food Programme</i>

Sumário

1. Introdução	15
2. Objetivos	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
2.3 Hipóteses	17
3. Revisão de Literatura	18
3.1 O Sorgo	18
3.2 Estrutura do grão de sorgo	18
3.3 Sistema de Cultivo	20
3.4 Características agronômicas de cultivares de sorgo e da Variedade Local de Moçambique.	21
3.5 Composição química	21
3.6 Digestibilidade de proteínas	23
3.7 Amido de sorgo	24
3.8 Digestibilidade de amido	26
3.9 Classificação do amido e sua digestibilidade	27
3.10 Fatores antinutricionais	28
3.11 Benefícios de utilização de sorgo e seus subprodutos	28
3.12 Compostos fenólicos	29
4. Material e Métodos	30
4.1 Materiais	30
4.1.1 Ensaio Laboratoriais	30
4.1.2 Delineamento experimental	30
4.2. Métodos	32
4.2.1. Caracterização dos grãos de sorgo	32
4.2.1.1. Peso de Mil Grãos	32
4.2.1.2 Peso do hectolitro	32
4.2.1.3 Dimensões do grão	32
4.2.1.4 Composição proximal e valor calórico	32
4.2.1.5. Rendimento médio de nutrientes por hectare	33
4.2.1.6 Cor	33
	12

4.2.1.7 Digestibilidade <i>in vitro</i> do amido dos grãos de sorgo	33
4.2.1.8 Cinética de hidrólise do amido e índice glicêmico (IGe)	34
4.2.1.9 Determinação de amido rapidamente digerível (ARD), amido lentamente digerível (ALD) e amido resistente (AR)	35
4.2.1.10 Proteína solúvel em dodecil sulfato de sódio (SDS)	35
4.2.1.11 Digestibilidade proteica	36
4.2.1.12 Fatores antinutricionais	36
4.2.1.13 Teor de fitoquímicos	36
4.2.1.14 Flavonóides totais	37
4.2.1.16 Atividade Antioxidante pelos métodos ABTS e DPPH	38
4.2.2 Extração e caracterização do amido	39
4.2.2.1 Extração de amido	39
4.2.2.2 Rendimento de extração	40
4.2.2.3 Grau de pureza	40
4.2.2.4 Teor de amilose	40
4.2.2.5 Propriedades de pasta	40
4.2.2.6 Poder de inchamento e solubilidade	41
4.2.2.7 Análise de Transmitância no UV-Vis	41
4.2.2.8 Propriedades térmicas (DSC)	42
4.2.2.9 Cristalinidade Relativa (DRX).	42
4.2.2.10 Digestibilidade <i>in vitro</i> do amido extraído	42
4.2.2.11 Cinética de hidrólise do amido e índice glicêmico (eGI)	42
4.2.2.12 Determinação de amido rapidamente digerível (ARD), amido lentamente digerível (ALD) e amido resistente (AR)	43
4.2.2.13 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	43
4.2.3 Análise estatística	43
5. Resultados e Discussão	44
5.1. Caracterização dos grãos	44
5.1.1 Peso de mil grãos, peso do hectolitro e dimensões dos grãos	44
5.1.2 Composição proximal	45
5.1.3 Cor	49

5.1.4 Digestibilidade <i>in vitro</i> do amido dos grãos de sorgo, cinética de hidrólise do amido, índice glicêmico, amido rapidamente digerível (ARD), amido lentamente digerível (ALD) e amido resistente (AR)	52
5.1.5 Proteína solúvel, digestibilidade proteica e fatores antinutricionais	55
5.1.6 Teor de fitoquímicos, flavonóides totais e atividade antioxidante	59
5.2 Caracterização do amido	62
5.2.1 Propriedades de pasta	64
5.2.2 Poder de inchamento, solubilidade e transmitância	67
5.2.3 Calorimetria Diferencial De Varredura (DSC)	70
5.2.4 Cristalinidade relativa (DRX)	70
5.2.5 Digestibilidade <i>in vitro</i> do amido isolado de grãos de sorgo, cinética de hidrólise do amido, índice glicêmico, amido rapidamente digerível (ARD), amido lentamente digerível (ALD) e amido resistente (AR)	72
5.2.6 Microscopia eletrônica de varredura	76
5.2.7 Elipses de confiança, análise de componentes principais e correlação de Pearson	78
6. Conclusões	82
Referências Bibliográficas	83

1. Introdução

O Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é um cereal membro das Gramíneas, família Poaceae e é uma planta monocotiledónea. Esta é uma importante cultura nos Estados Unidos, Índia, Argentina, México e África (ARENDR; ZANNINI, 2013). É uma planta que tem origem na África e em parte da Ásia. Embora seja uma cultura muito antiga, seu desenvolvimento se deu em várias regiões do mundo somente no final do século XIX (ROSA, 2012).

Nos países em desenvolvimento, o sorgo é muito usado na alimentação humana, enquanto em países desenvolvidos, é empregado basicamente na alimentação animal (ROSA, 2012). No entanto, o consumo de grãos de sorgo como fonte de alimento humano está crescendo lentamente, mas constantemente nos Estados Unidos e em outras culturas ocidentais como um substituto do trigo, por ser uma alternativa sem glúten (TAYLOR, SCHOBBER; BEAN, 2006).

Segundo Mutaliano e Teca (2017) em Moçambique, a cultura da mapira (como o sorgo é chamado neste país) é basicamente produzida na zona norte nas regiões agroecológicas R7 e R8 que abrangem as zonas das províncias de Nampula, Cabo Delgado e Niassa; na faixa das províncias de Tete, Manica e Sofala nas regiões agroecológicas R4, R5 e R7 parte da Zambézia. Na zona Sul do país o sorgo é cultivado majoritariamente nas províncias de Gaza e Inhambane, nos distritos de Chicualacula, Mabote, Inharrime e Vilanculos; nas regiões agroecológicas R1 e R3.

O sorgo ocupa o terceiro lugar dos cereais consumidos em Moçambique depois de milho e do arroz. É também considerada importante cultura para a segurança alimentar e pode ser usada para outros fins, como a produção do bioetanol, silagem e ração animal (MUTALIANO; TECA, 2017).

A composição química dos grãos de sorgo varia de acordo com o genótipo, e o amido é o principal macronutriente (entre 70 e 80%), que pode ser usado em várias aplicações industriais, principalmente como ingrediente alimentício (BANDEIRA et al., 2015). O sorgo pode ser considerado uma fonte potencial de amido resistente devido à sua maior concentração do que a encontrada em outros cereais e leguminosas (BORGES, 2013). O amido resistente possui propriedades funcionais e efeitos positivos sobre diabetes, alguns tipos de câncer, doenças cardiovasculares, saúde do cólon, obesidade e osteoporose (PEREIRA; LEONEL,

2014). Em sua forma integral, o sorgo é uma boa fonte de fibras e compostos bioativos, como taninos e antocianinas, amido resistente, minerais e vitaminas (BORGES, 2013).

O sorgo tem grande potencial em alimentos e bebidas e foi estudado em muitos produtos alimentícios, incluindo pães (Schober et al., 2005, 2007), chips de tortilha (Rooney; Waniska, 2000), biscoitos (Morad et al., 1984) *nuggets* de frango (Devatkal et al., 2011) e macarrão (WINGER et al., 2014). Segundo a Agricultura Nutricionalmente Inteligente (ANI, 2020), em Moçambique, os níveis de consumo de todos os principais grupos alimentares estão abaixo dos limites planetários de saúde recomendados pela Comissão EAT-Lancet, com exceção dos grãos e vegetais amiláceos.

Em Moçambique, as taxas de desnutrição aumentam progressivamente do Sul para o Norte. A desnutrição crônica é superior a 50% no Norte, nas províncias de Nampula e Cabo Delgado, enquanto é inferior a 30% nas províncias de Maputo e Gaza. O sorgo seco contribui para a nutrição suprimindo as deficiências de micronutrientes (principalmente ferro e zinco) e fornece uma fonte adicional de consumo de proteínas, portanto, há perspectivas positivas quanto à viabilidade comercial do produto pela demanda existente, especialmente em mercados de grande porte, com expectativa de crescimento do mercado (ANI, 2020).

Em Moçambique faltam pesquisas relacionadas à caracterização da farinha e de amido de sorgo durante o processamento e informações sobre a qualidade das diferentes cultivares de sorgo e da variedade (criola) denominada Local. Este estudo irá contribuir para responder a estas questões e preencher a lacuna de conhecimento, identificando as cultivares e variedade com alto teor de amido resistente e outros componentes. Elas poderão ser utilizadas em programas de melhoramento para o desenvolvimento de cultivares que possam atuar como alimentos funcionais e com benefícios à saúde. Com esta pesquisa, objetiva-se avaliar os parâmetros químicos, físicos, tecnológicos e de digestibilidade de diferentes cultivares de sorgo e amido de sorgo produzidas em Moçambique e compará-las a uma variedade Local.

2. Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os parâmetros químicos, físicos, tecnológicos do sorgo e amido de sorgo de cultivares e da variedade Local produzidas em Moçambique.

2.2 Objetivos Específicos

Caracterizar os grãos de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

Extrair e caracterizar o amido de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

Avaliar a digestibilidade da farinha e do amido de sorgo.

Avaliar o conteúdo fitoquímico e a atividade antioxidante do sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

2.3 Hipóteses

As cultivares de ciclo curto e livres de tanino, Mucuvea, Tocolé, Otela apresentaram alterações em sua composição proximal, denotando modificações resultantes do melhoramento.

As cultivares de ciclo curto e com maior produção por hectare Mucuvea, Tocolé, Otela apresentam maior conteúdo de fitoquímicos e rendimento de extração de amido, denotando boa aplicação industrial.

3. Revisão de Literatura

3.1 O Sorgo

Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma cultura amplamente cultivada em todo o mundo para alimentação humana e animal. É um dos principais produtos básicos para as pessoas mais pobres e inseguras do mundo, em muitos países em desenvolvimento, especialmente nas regiões mais secas e mais áreas marginais dos semitropicais (ELKHALIFA et al., 2005).

Este cereal é o quinto mais produzido no mundo, 58 milhões de toneladas em 2019 (USDA, 2019). Em 2021/22, os Estados Unidos foram o maior produtor mundial de sorgo, produzindo cerca de 11,4 milhões de toneladas métricas de sorgo. Naquele ano, a Nigéria produziu cerca de 6,7 milhões de toneladas métricas de sorgo e o Brasil produziu 3,042 milhões de toneladas métricas de sorgo (SHAHBANDEH, 2023).

Moçambique produz menos sorgo que o Brasil, dados reportados pela (FAO, 2023) indicam que Moçambique produziu cerca de 153.000 toneladas métricas no ano de 2022. Os grandes produtores da cultura no país são os pequenos e médios produtores na sua maioria, pois esses ocupam a maior área no cultivo do sorgo. O rendimento potencial da cultura nas condições de pequenos e médios produtores varia em média entre 1,5 e 3,0 ton.ha⁻¹ (MUTALIANO; TECA, 2016).

3.2 Estrutura do grão de sorgo

Segundo Earp et al., (2004), o sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é considerado uma cariopse nua, no qual o pericarpo (originado da parede do ovário) é fortemente aderido a membrana da semente. Como ilustra a Figura 1 sua estrutura básica se assemelha a de outros cereais, o grão de sorgo é constituído por três componentes anatômicos gerais: tegumento (pericarpo, 4%), gérmen (embrião, 10%) e endosperma (tecido de armazenamento, 86%) (EARP et al., 2004; WANISKA; ROONEY, 2000). A espessura da testa varia com cada cariopse, entre 8 e 40 µm (WANISKA, 2000; SCHOBER; BEAN, 2008).

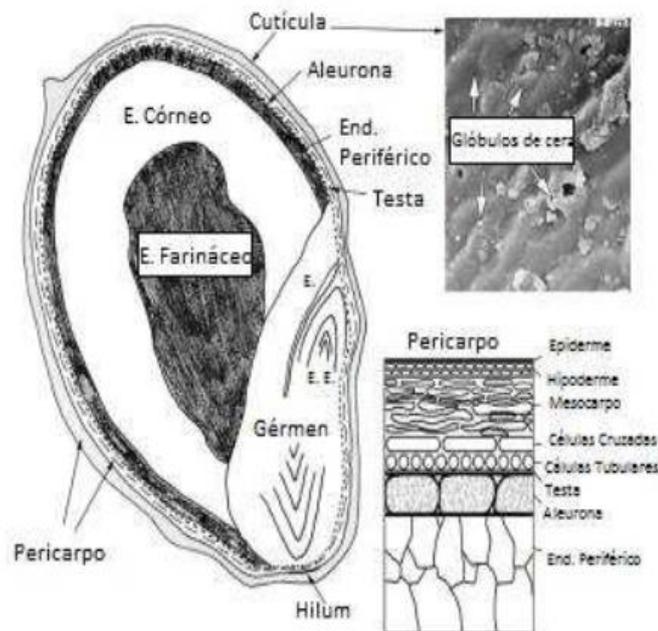


Figura 1. Estrutura do grão de sorgo, com pormenores da camada de pericarpo. Fonte: Earp et al. (2004). *E E* = eixo embrionário; *E* = escutelo.

O pericarpo é a parte mais externa do grão e divide-se em três camadas: o epicarpo, o mesocarpo e o endocarpo. O epicarpo é constituído de células retangulares, geralmente com presença de pigmentos, e pode ser ou não coberto por uma fina camada de cera. O mesocarpo possui pequenos grânulos de amido em suas células, característica exclusiva do sorgo perante os outros cereais. A espessura do pericarpo abrange de 8 a 160 μm , variando com a maturação individual da cariopse (WANISKA, 2000; EARP et al., 2004; SCHOBER; BEAN, 2008). O endocarpo é formado por células tubulares e cruzadas (WANISKA, 2000; SCHOBER; BEAN, 2008). O gérmen do sorgo é firmemente aderido ao grão, e não se separa facilmente durante o processo de moagem. É composto pelo eixo embrionário, o qual possui a nova planta, e o escutelo, cujas células são responsáveis por armazenar nutrientes (MOHARRAM; YOUSSEF, 1995). Segundo o Rooney e Miller (1982) o amido determina a textura do endosperma, sendo classificado em vítreo (característica de dureza dada pelos corpos protéicos que envolvem os grãos de amido, formando uma matriz protéica), farináceo (característica de farinha por apresentar poucas proteínas em volta do amido) ou a combinação dos dois.

Segundo Mutaliano e Teca (2016), o Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM) estabeleceu o Programa Nacional de Melhoramento de sorgo e Mexoeira, com objetivo de desenvolver cultivares com altos rendimentos e qualidade do grão aceitável, resistentes a pragas, doenças, tolerantes a seca e pragas do armazenamento. As variedades Locais (criola) de sorgo requerem um período de crescimento muito longo e têm baixo rendimento potencial, de porte muito alto e que não respondem ao manejo melhorado das práticas agronômicas. Contudo, as cultivares de sorgo são muito produtivas e respondem a aplicação de insumos, além de serem tolerantes a seca. Segundo Schober e Bean (2008), híbridos de sorgo com características tecnológicas melhoradas para elaboração de alimentos podem ser identificados e selecionados para contribuir na obtenção de melhor qualidade.

3.3 Sistema de Cultivo

O sorgo é geralmente cultivado em sequeiro durante a época chuvosa em todo país. No sistema irrigado, o sorgo tem um crescimento vigoroso e a cultura pode expressar o seu máximo potencial produtivo por unidade de área. O rendimento do sorgo nas condições ótimas atinge 6,0 a 7,0 ton.ha⁻¹ (MUTALIANO; TECA, 2016). A seguir são mostradas imagens produzidas pelo autor, durante as operações de colheita e pós-colheita de sorgo em Moçambique, distrito de Montepuez, mês de junho de 2021.



Figura 2. Colheita de sorgo em Moçambique (a), e pós-colheita de sorgo em Moçambique (b).

3.4 Características agronômicas de cultivares de sorgo e da Variedade Local de Moçambique.

As novas cultivares de sorgo não são sensíveis ao fotoperíodo, isto é, florescem em qualquer época do ano, com rendimento médio de 3 ton.ha⁻¹ (Tabela 1). São de grãos brancos como mostram as figuras abaixo, com o colmo coberto com um pó branco (waxy), sinônimo de tolerância a seca; resistentes a mosquito do sorgo, aflatoxina, e livres de taninos (MUTALIANO; TECA, 2017).

Tabela 1. Características agronômicas de cultivares Moçambicanas e da variedade Local de sorgo.

Característica	Cultivar Tocole	Cultivar Otela	Cultivar Mucuvea	Variedade Local
Rendimento potencial (ton.ha ⁻¹) ¹⁾	3,5 (condições de sequeiro)	2,0 - 3,5	3,5 (condições de sequeiro)	0,4 - 0,6
Altura (m)	1,42	1,59	1,80	2,8 - 3,0
Floração (dias após o plantio)	73	68-74	70	90
Maturação (dias)	120 – 130 dias	130 – 140 dias após a floração	130- 150 dias	180 dias depois plantio
Comprimento da panícula (cm)	27	20	24	-
Debulha	Boa	Boa	Boa	-
Tamanho da semente	Media-grande	Médio	Médio	-

Fonte: Adaptado de (MUTALIANO; TECA, 2016).

3.5 Composição química

A composição de nutrientes do sorgo indica que é uma boa fonte de energia, pois apresenta em sua composição proteínas, carboidratos, vitaminas e minerais incluindo os oligoelementos. O grão de sorgo contém 1,3% a 3,3% de cinzas e

minerais como fósforo, potássio e magnésio em quantidades variáveis. O sorgo também é uma importante fonte de alguns minerais, particularmente ferro e zinco, mas todos, exceto a farinha é pobre em cálcio (SERNA-SALDIVAR; ROONEY, 1995).

O ferro (Fe) e o zinco (Zn) são oligoelementos essenciais na nutrição humana e suas deficiências são as principais ameaças à saúde pública no mundo todo. Entre as situações de desnutrição de micronutrientes que afligem a população humana, as deficiências de Fe e Zn são de grande preocupação, não só por causa das graves consequências para a saúde, mas também pelo número de pessoas afetadas em todo o mundo, particularmente na África (KAYODE, 2006).

Na Tabela 2 encontra-se a composição média do sorgo em grãos inteiros e na forma de farinha segundo USDA (2011).

Tabela 2. Composição proximal do sorgo (g.100 g⁻¹) na forma de grãos inteiros e de farinha do grão cru.

Componente	Grão inteiro (g.100 g ⁻¹)	Farinha (g.100 g ⁻¹)
Energia (kcal)	339	361
Umidade	9,20	10,60
Proteínas	11,30	7,87
Lipídeos totais	3,30	3,29
Cinzas	1,57	1,31
Carboidratos	74,63	77,47
Fibra alimentar total	6,30*	6,60
Amido	-	71,37
Açúcares	-	1,87

* Fibra alimentar total para sorgo branco. Para outros tipos de sorgo os valores variam de 8,8-11,1 g. 100 g⁻¹. Fonte: USDA (2011).

Além das variações genótípicas e das condições ambientais de cultivo a aplicação de diferentes métodos analíticos geram dados distintos sobre a composição química do grão (SCHOBBER; BEAN, 2008).

Na Tabela 3 estão apresentados os tipos de sorgo e as suas principais aplicações.

Tabela 3. Tipos de sorgo e quanto a sua utilização.

Tipos de sorgo	Produto	Utilização
Granífero	Grãos	Alimentação humana, alimentação animal e indústria
Sacarino	Colmo e grãos	Na produção de etanol, sacarose, frutose, alimentação animal
Forrageiro	Biomassa	Corte, silagem, e feno
Biomassa	Biomassa	Produção de etanol 2ª geração, produção de bioenergia
Vassoura	Panícula	Produção de vassoura

Fonte: Adaptado de Barcelos (2012)

Em Moçambique, o principal tipo de sorgo produzido é o granífero para a alimentação humana. O sorgo granífero é caracterizado por plantas de porte baixo (até 1,60m), adaptadas à colheita mecânica (RIBAS, 2003). Possui sistema radicular desenvolvido (ALVARENGA, 1994), é resistente à seca, e possui a capacidade de se desenvolver em solos com baixa fertilidade. Além disso, é uma planta C4 e, portanto, possui alta taxa fotossintética (MAGALHÃES et al., 2000). O sorgo tem se destacado como uma boa opção para a produção de grãos em situações que o déficit hídrico e a baixa fertilidade do solo oferecem maiores riscos para outros cultivos (MAGALHÃES et al., 2000; RODRIGUES, 2010).

3.6 Digestibilidade de proteínas

As proteínas dos grãos de sorgo são menos digeríveis do que as de outros cereais, mas a digestibilidade é alterada pelo cozimento úmido, tanto no grão íntegro como na forma de farinha (HAMAKER et al., 1986; MACLEAN et al., 1981; MERTZ et al., 1984 *apud* WONG et al., 2009).

Dicko (2005) descreve os principais aminoácidos do sorgo: a leucina, lisina, metionina, tirosina, valina, triptofano, arginina, histidina, isoleucina, treonina e tirosina. As proteínas do sorgo são divididas em albuminas, globulinas, prolaminas

(também denominadas kafirinas) e gluteninas, sendo que as principais são as prolaminas, que correspondem a 70% das proteínas totais, seguidas das gluteninas (DICKO, 2005; DICKO et al., 2006; PEREIRA, 2007; QUEIROZ et al., 2009; CORREIA et al., 2011; PAIVA, 2014).

Alguns estudos mostraram como as proteínas do sorgo afetam outros constituintes dos grãos, incluindo sua influência no comportamento de gelatinização do amido e na taxa de digestão do amido (HAMAKER; BUGUSU, 2003). Segundo Wong et al. (2009), numerosos fatores contribuem para o problema de digestibilidade. Aspectos exógenos incluem a interação de proteínas com componentes não proteicos, como polifenóis, amido, polissacarídeos que não o amido, fitatos e lipídeos. Já os fatores endógenos surgem da natureza das próprias proteínas e de sua organização dentro do grão (BELTON et al., 2006; DUODU et al., 2003; EZEUGU et al., 2005, 2008; HAMAKER; BUGUSU, 2003). O calor empregado em preparações também influencia na sua digestibilidade, após a cocção úmida, as kafirinas se tornam ainda menos digeríveis, pois a conformação proteica é desfeita e a formação de ligações dissulfeto se torna ainda mais intensa. Outro fator que pode prejudicar a digestibilidade das proteínas são os taninos condensados, que se agregam a elas impedindo a sua digestão e absorção (DICKO, 2005; DICKO et al., 2006; PEREIRA, 2007; QUEIROZ et al., 2009; CORREIA et al., 2011; PAIVA, 2014).

3.7 Amido de sorgo

O amido é a principal reserva de carbono dos vegetais, além de ser importante fonte de energia na alimentação humana. Esse polissacarídeo está amplamente distribuído em diversas espécies de plantas como carboidratos de reserva. As fontes potenciais mais importantes de amido são os grãos de cereais (40 a 90% do seu peso seco), as leguminosas (30 a 70% do seu peso seco) e os tubérculos (65 a 85% do seu peso seco) (SANDHU et al., 2007).

Dois polissacarídeos compõem o amido em proporções variadas: amilose, molécula linear, e amilopectina, molécula ramificada, apresentando tanto a morfologia, bem como suas forças de ligações distintas, dependendo da sua origem. A funcionalidade do amido é atribuída a essas duas moléculas, assim como a organização física destas dentro da estrutura granular. A amilose (Figura 3a) é composta de cadeia helicoidal não ramificada, de resíduos de glicose ligados por

ligações α -1,4-glicosídicas, originando uma cadeia linear, com ligações entre o carbono 1 de uma unidade e o carbono 4 da unidade vizinha (SINGH et al., 2003). A amilopectina é um polímero altamente ramificado, de alto peso molecular, contendo ambas as ligações α -1,4 e α -1,6 (Figura 3b). É em sua maior parte ligada da mesma maneira que a amilose, mas contém também ramificações do carbono 6 de uma unidade ao carbono 1 da outra. Estas ramificações ocorrem a cada 20 a 25 unidades de monossacarídeo ao longo da cadeia (ELIASSON, 2004; TESTER et al., 2004).

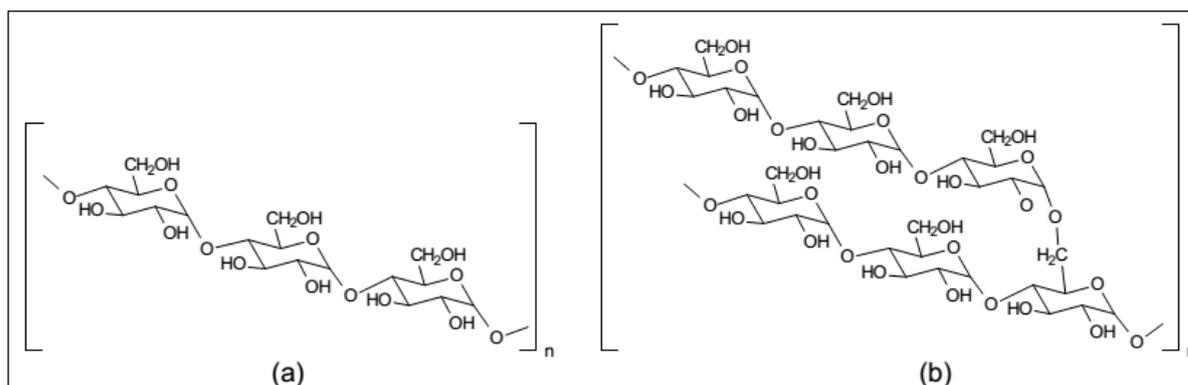


Figura 3. Representação das cadeias de amilose (a), e amilopectina (b).

Fonte: Nitschke, (2007).

As características estruturais do amido afetam suas propriedades funcionais, como as propriedades físico-químicas, de gelificação, digestibilidade e estabilidade no armazenamento. Variedade genética, condições de crescimento e clima podem afetar as características dos grânulos de amido (CHAO et al., 2014).

Os grânulos de amido nativo apresentam três tipos de estruturas cristalinas diferentes, chamadas de A, B e C. Tais estruturas se diferem pela densidade de empacotamento das hélices simples ou duplas e pelo teor de água. As redes cristalinas dos tipos A e B consistem em estruturas de duplas hélices hexagonais. A cristalinidade dos tipos A e B se diferem pela densidade de empacotamento das hélices duplas no interior da célula unitária. A estrutura do tipo B pode ser descrita como uma associação de hélices com uma coluna de água presente no centro e substituída por amilose-amilopectina e uma hélice dupla. O volume de água incorporado na rede cristalina é de aproximadamente 1 – 1,25 cm³ em cada um

grama de amido seco, para as formas A e B, respectivamente (VAN SOEST et al., 1996).

O conhecimento das propriedades físico-químicas do amido de sorgo pode transformá-lo em uma fonte alternativa de amido comercial, devido às suas características e baixo custo de produção (SINGH et al., 2011; ZHU, 2014). Além disso, o amido de sorgo possui propriedades semelhantes às do milho e é uma fonte potencialmente boa de matéria-prima para uma ampla gama de aplicações (SRICHUWONG et al., 2017).

3.8 Digestibilidade de amido

A digestibilidade do amido no sorgo é comumente menor, devido a restrições de acessibilidade de amido, causadas por certas interações com proteínas do endosperma (ROONEY; PFLUGFELDER, 1986) e com taninos condensados, conhecidas como proantocianidinas (BARROS et al., 2012). Como em outros cereais, a baixa quantidade de proteína em relação ao amido, ou seja, aproximadamente 10% de proteína *versus* 70-80% de amido, com base no peso seco do grão (ROONEY; PFLUGFELDER, 1986), afeta as propriedades funcionais de amido, como gelatinização e taxa de digestão em maior medida no sorgo do que em outros cereais (CHANDRASHEKAR; KIRLEIS, 1988; DUODU et al., 2002; EZEUGU et al., 2005, 2008).

Esta baixa digestibilidade do amido é notável, e reduz o valor nutricional do sorgo, afetando negativamente seu consumo (WONG et al., 2010). Essa mesma característica, também confere ao cereal potencial para prevenir doenças crônicas, como diabetes, obesidade e câncer, cujos riscos são aumentados pelo consumo de carboidratos de digestão rápida (QUEIROZ et al., 2011; ANUNCIAÇÃO et al., 2018).

Alguns genótipos de sorgo também são considerados como fontes potenciais de amido resistente (TEIXEIRA et al., 2016). A fração de amido resistente é importante devido a seus potenciais benefícios fisiológicos, uma vez que representa uma forma particular de amido que não é digerido até que chegue ao intestino grosso humano, onde é finalmente fermentado pela microbiota intestinal, atuando como uma fibra dietética (RAIGOND et al., 2015). Da mesma forma, a fração de amido lentamente digestível a qual, ainda que vagorosamente, apresenta completa hidrólise no intestino delgado. As suas vantagens fisiológicas vêm de sua

propriedade de sustentar e estabilizar os níveis de glicose no sangue, ambos os benefícios relacionados ao controle do diabetes e saciedade (LEHMANN; ROBIN, 2007; ZHANG; HAMAKER, 2009).

3.9 Classificação do amido e sua digestibilidade

Acreditava-se que o amido era um composto nutricional que poderia ser completamente digerido no intestino delgado humano (RAFIQ et al., 2021). Estudos *in vitro* mostraram que alguns amidos não são hidrolisados por enzimas e absorvido no trato digestivo. A classificação proposta por Englyst e Cummings (1986) é usada para descrever a digestibilidade do amido. Esses autores desenvolveram condições de hidrólise do amido em vários alimentos, comparando-os com os obtidos por métodos *in vivo*, permitindo classificar os produtos à base de amido quanto à liberação e absorção de glicose no trato gastrointestinal (ENGLYST et al., 1992). O amido pode ser dividido em três categorias com base na taxa e extensão da digestão: amido rapidamente digerível (ARD) é a quantidade de amido digerida por enzimas e absorvido na corrente sanguínea, dentro de 20 min de digestão *in vitro*, o amido lentamente digerível (ALD) é a quantidade de amido que pode ser totalmente digerido dentro de 20 min a 120 min (ENGLYST; CUMMINGS, 1986). O terceiro grupo, definido como amido resistente (AR), refere-se ao amido que não pode ser digerido dentro de 120 min no intestino delgado e, portanto, passa para o intestino grosso, onde pode atuar como substrato na fermentação intestinal (BELLO-PEREZ et al., 2020; ENGLYST; CUMMINGS, 1987). O amido resistente é um substrato importante para a síntese de ácidos graxos de cadeia curta; pode ter efeitos benéficos sobre saúde. Uma melhora na tolerância à glicose, maior sensibilidade celular à insulina e o aumento da saciedade pós-refeição são outros benefícios potenciais do amido resistente na dieta (BOJARCZUK et al., 2022).

A digestibilidade do amido de sorgo e o conteúdo de compostos bioativos é afetado pelo método de processamento usado. Em seu estudo, Cardoso et al. (2014, 2015), relatou que a cocção úmida (cozimento em água/secagem/moagem) diminuiu os conteúdos de 3-desoxiantocianidinas, compostos fenólicos totais, vitamina E e atividade antioxidante, e aumentou os carotenoides da farinha.

3.10 Fatores antinutricionais

A qualidade nutricional do sorgo é ditada principalmente pela composição química da substância e a presença de fatores antinutricionais, como ácido fítico. O ácido fítico é a principal forma de armazenamento de fosfato, ubiquamente distribuído nas plantas, principalmente nos cereais e nas leguminosas. Os efeitos do ácido fítico na nutrição de homens e animais está relacionada à interação do ácido fítico com as proteínas, vitaminas e vários minerais e, assim, restringir sua biodisponibilidade (ELKHALIL, 2001).

Os taninos, também conhecidos como taninos condensados ou proantocianidinas (PAs), são oligômeros e polímeros de flavonoides. Efeitos benéficos de dietas ricas em alimentos contendo tanino incluem atividade imunomoduladora e anticâncer; antioxidante; efeitos anti-inflamatórios, cardioprotetores, vasodilatadores e antitrombóticos, e funções de proteção UV (DIXON; SHARMA, 2005; SHARMA; MEERAN, 2007). Sorgo contendo tanino é frequentemente cultivado em regiões quentes e úmidas da África por sua melhor resistência aos fungos de grãos e danos de pássaros, e eles têm sido usados em muitos produtos tradicionais, como mingaus e bebidas alcoólicas (AWIKA; ROONEY, 2004).

Asquith et al. (1983) relataram que as cultivares de sorgo podem ser divididas em três categorias, dependendo de seus genótipos e teores de taninos: os sorgos tipo I não possuem testa pigmentada e sem taninos; sorgos tipo II têm uma camada de testa pigmentada que contém taninos condensados; e sorgos Tipo III contêm tanino tanto na testa como no pericarpo.

3.11 Benefícios de utilização de sorgo e seus subprodutos

O sorgo é um cereal de alto valor nutricional. Os produtos à base de sorgo são isentos de glúten e ricos em fibras, que são conhecidas por melhorar o sistema digestivo, evitando cólicas, inchaço e constipação. Pesquisas têm mostrado que o consumo de grande quantidade de fibras pode ajudar a reduzir a lipoproteína de baixa densidade (LDL), conhecida como colesterol “ruim” e doenças cardiovasculares. Além disso, o cereal também é rico em antioxidantes, que eliminam radicais livres, geralmente responsáveis por transformar células saudáveis em células cancerígenas. O consumo de sorgo também ajuda a controlar níveis

glicêmicos, desempenhando um papel benéfico no monitoramento de algumas doenças crônicas, como diabetes (SOARES et al., 2019).

Avanços na ciência e tecnologia do sorgo têm possibilitado seu uso também na fabricação de produtos bioindustriais como amido, etanol e plástico (TAYLOR et al., 2006), além da extração de compostos bioativos (fitoquímicos) provenientes do farelo para uso comercial, como as antocianinas (AWIKA; ROONEY, 2004). O sorgo não apresenta proteínas formadoras do glúten, as quais promovem reação alérgica em indivíduos com doença celíaca. Por isso, o sorgo constitui-se em uma excelente matéria-prima para o mercado de produtos sem glúten, como produtos de panificação e massas (QUEIROZ et al., 2011).

A maior parte da atividade antioxidante dos grãos de sorgo tem sido associada à presença de compostos fenólicos, flavonoides, taninos e antocianinas. Curiosamente, Awika (2003) relatou que os grãos de sorgo preto e marrom exibiram atividades antioxidantes significativamente maiores quando comparado para mirtilos, morangos e uvas, conforme medido pelos métodos de capacidade de absorção de radical de oxigênio (ORAC). Com base nesses altos níveis de atividades antioxidantes, os grãos de sorgo podem ser poderosos eliminadores de radicais livres.

3.12 Compostos fenólicos

O sorgo apresenta quantidades apreciáveis de compostos fenólicos, os quais são produtos secundários do metabolismo das plantas, protegendo-as contra insetos e doenças, e também possuem ação antioxidante *in vitro*. A composição quantitativa e qualitativa desses compostos varia conforme o genótipo e as condições ambientais de cultivo (AWIKA; ROONEY, 2004; DYKES et al., 2005). Os compostos fenólicos encontrados no sorgo são os ácidos fenólicos (principalmente derivados do ácido hidrobenczoico e do ácido hidrocínâmico) e os flavonoides (antocianinas e taninos) (AWIKA; ROONEY, 2004).

4. Material e Métodos

4.1 Materiais

Foram utilizadas 3 cultivares de Sorgo (Mucuveia, Otela e Tocolé) e uma variedade Local produzidas em Moçambique, no distrito Montepuez, província de Cabo Delgado. A colheita do material que foi utilizado nos experimentos ocorreu em junho de 2021. Foram analisados os grãos de sorgo e o amido extraído. Os reagentes utilizados nas análises foram de padrão analítico.

4.1.1 Ensaio Laboratoriais

As análises das amostras de sorgo foram feitas nos laboratórios do Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos e no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos (LabGrãos) do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial (DCTA) da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” (FAEM) da Universidade Federal de Pelotas, ambos localizados no Campus Universitário, S/N, Capão do Leão - RS, 96010-900.

4.1.2 Delineamento experimental

Na Tabela 4 estão apresentadas as determinações efetuadas nos grãos de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local, e na Tabela 5 as determinações feitas no amido após o processo de extração.

Tabela 4. Delineamento experimental das análises dos grãos de sorgo de diferentes cultivares de sorgo e da variedade Local.

Variáveis Independentes Variedade e cultivares de Sorgo	Variáveis Dependentes Análises do Grão
Local	Peso de mil grãos
Otela	Peso hectolitro
Mucuvea	Umidade
Tocole	Cinzas
	Carboidratos
	Fibras
	Lipídeos
	Proteínas
	Digestibilidade do amido
	Teor de fitoquímicos (fenólicos livres, flavonoides, antocianinas)
	Fatores antinutricionais (taninos, fitatos)
	Amido resistente, amido lentamente digerível e amido rapidamente digerível
	índice glicêmico
	Digestibilidade de proteínas
	Atividade antioxidante
	Cor

Tabela 5. Determinações realizadas no amido do sorgo das diferentes cultivares e da variedade Local, após o processo de extração.

Variáveis independentes Variedade e cultivares de sorgo	Variáveis dependentes Análises do amido extraído
Local	Grau de pureza
Otela	Rendimento de extração
Mucuvea	Teor de amilose
Tocole	Digestibilidade do amido
	Amido resistente, amido rapidamente digerível, amido lentamente digerível
	Índice glicêmico
	Propriedades térmicas (DSC)
	Propriedades de pasta (RVA)
	Poder de inchamento
	Solubilidade
	Transmitância
	Microestrutura dos grânulos (MEV)
	Cristalinidade relativa (DRX)

4.2. Métodos

4.2.1. Caracterização dos grãos de sorgo

4.2.1.1. Peso de Mil Grãos

O peso de mil grãos foi determinado contando-se, ao acaso, manualmente, com o auxílio de pinça, 5 repetições de 200 grãos. Em seguida os grãos de cada repetição foram pesados em balança eletrônica digital com precisão de 0,01 g e posteriormente os valores obtidos foram multiplicados por 5 para resultar no peso de 1000 grãos, de acordo com Brasil (2009), com adaptações, ao invés de 8 repetições de 100 grãos, foram feitas 5 repetições de 200 grãos e desconsiderados os 2 valores extremos.

4.2.1.2 Peso do hectolitro

O peso do hectolitro foi determinado em balança hectolétrica, de acordo com Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 1992), pelo uso de balança marca Dalle Molle e os resultados expressos em $m^3.kg^{-1}$.

4.2.1.3 Dimensões do grão

As dimensões dos grãos foram determinadas com o uso de um paquímetro digital, através da determinação do comprimento, da largura e da espessura de 100 grãos com três repetições (COSTA, 2001).

4.2.1.4 Composição proximal e valor calórico

O teor de umidade foi determinado pelo método 945-45 da AOAC (2005) utilizando a estufa a 105 °C, até peso constante, os resultados foram expressos em percentagem. O teor de cinzas foi determinado pela metodologia AOAC (2005) a 600 °C por 240 min. O conteúdo total de lipídios foi determinado pelo método Am 5-04 AOAC (2005) em extrator Soxhlet utilizando éter de petróleo como solvente, os resultados foram expressos em porcentagem. O conteúdo de proteína foi determinado pelo método 991-22 AOAC (2005), utilizando o fator de conversão de 6,25. A determinação de fibra bruta foi realizada de acordo com método proposto pelo Instituto Adolfo Lutz (2008) e os resultados foram expressos em percentagem. Os carboidratos foram determinados por diferença, subtraindo de 100 o valor de proteínas, lipídios, cinzas e umidade, segundo Instituto Adolfo Lutz (2005). O valor

energético total foi calculado pela soma das calorias (kcal) fornecidas por carboidratos, lipídios e proteínas, multiplicando-se seus valores em gramas pelos fatores de Atwater 4 kcal, 9 kcal e 4 kcal, respectivamente.

4.2.1.5. Rendimento médio de nutrientes por hectare

O rendimento médio de nutrientes por hectare foi calculado pelo valor médio do nutriente na composição proximal multiplicado pelo rendimento por hectare da cultivar pela equação a seguir:

Os nutrientes utilizados foram proteína bruta, lipídeos, cinzas, fibras e carboidrato.

4.2.1.6 Cor

O perfil colorimétrico das amostras foi determinado usando colorímetro Minolta (Modelo CR-310, Osaka, Japão), realizando leituras de cores em um sistema tridimensional, gerando os parâmetros L*, a* e b*. O parâmetro L* representa a luminosidade e pode variar de preto (L=0) a branco (L=100). Os valores das coordenadas a* e b*, variam de -a (verde) até +a (vermelho) e de -b (azul) até +b (amarelo), respectivamente. As imagens dos grãos foram captadas usando uma máquina fotográfica Samsung Galaxy A12 de 48 megapixels, com resolução de 8000*6000 pixels.

4.2.1.7 Digestibilidade *in vitro* do amido dos grãos de sorgo

A digestibilidade *in vitro* do amido foi realizada conforme a metodologia proposta por Dartois et al. (2010) com as adaptações. O preparo da amostra foi feito baseado na forma com que o sorgo é consumido na África, em forma de “polenta”. Foram pesados 4,8 g de farinha de sorgo e gelatinizados em 120 mL de água destilada, mantendo-se durante 20 min a temperatura de 90 °C, para obter uma concentração de 4%. Posteriormente, o gel formado foi resfriado até 40 °C, e adicionado em reator de vidro encamisado, juntamente com 70 mL de água destilada, sendo a temperatura mantida a 37±1 °C. Posteriormente, o pH da solução foi ajustado para 1,2 com ácido clorídrico (0,5 mol.L⁻¹) e logo em seguida foi adicionado o fluido gástrico simulado (SGF), contendo pepsina, alíquotas de 0,5 mL foram retiradas nos tempos 0, 15 e 30 min de digestão. Para simular as condições

do intestino delgado o pH foi reajustado para 6,8 com hidróxido de sódio (0,5 mol.L⁻¹) e em seguida adicionado o fluido intestinal simulado (SIF) contendo pancreatina, amiloglucosidase e invertase; alíquotas de 0,5 mL foram retiradas nos tempos 0, 5, 10, 15, 20, 30, 60, 90 min de digestão e colocadas em tubos Falcon contendo 3 mL de etanol absoluto, para paralisar a reação. As amostras foram incubadas com solução contendo amiloglucosidase e invertase, conforme descrito por Dartois et al. (2010), e em seguida analisadas utilizando o *kit* D-glucose assay (GOPOD-FORMAT, K-GLUC 05/2008, Megazyme International Ireland Ltd., Ireland). Os resultados foram calculados a partir das Equações 1 e 2, apresentadas a seguir, e expressos em porcentagem de amido hidrolisado.

$$\% \text{ SH} = \text{Sh} / \text{Si} \quad (1)$$

Em que:

%SH = percentual de hidrólise do amido (total);

Sh = quantidade de amido hidrolisado (g);

Si = quantidade inicial de amido (g).

$$= \text{Cf} * \text{Gp} / \text{Si} \quad (2)$$

Em que:

GP = quantidade de glicose produzida (g);

Cf = fator de conversão calculado a partir do peso molecular do monômero de amido/peso molecular da glicose (162/180 = 0,9).

4.2.1.8 Cinética de hidrólise do amido e índice glicêmico (IGe)

A cinética da hidrólise do amido foi calculada durante a digestão simulada do intestino delgado pela Equação de primeira ordem (Equação 3) de acordo com a metodologia proposta por (GOÑI et al., 1997).

$$C = C^{\infty} (1 - e^{-kt}) \quad (3)$$

Em que: C[∞] corresponde às porcentagens de equilíbrio da hidrólise do amido ao fim da reação; C representa a hidrólise percentual do amido, que foi medido em tempos que são separados por um incremento de tempo constante de acordo com a fases da digestão; k é uma constante de velocidade de pseudo-primeira ordem que mede

a taxa de liberação de glicose. Os índices de hidrólise (IH) e o índice glicêmico estimado (IGe) foram obtidos usando as Equações 4 e 5, respectivamente:

$$IH = C_{\infty}tx + (C_{\infty}/k) \times (e^{-kt}-1) \quad (4)$$

$$IGe = 39,71 + 0,549 \times HI \quad (5)$$

4.2.1.9 Determinação de amido rapidamente digerível (ARD), amido lentamente digerível (ALD) e amido resistente (AR)

As porcentagens das frações de amido rapidamente digerível (ARD), hidrolisada em 0-20 min; amido lentamente digerível (ALD), hidrolisada em 20-120 min; e, amido resistente (AR), a porção não digerida após 120 min, foram determinadas e os teores calculados de acordo com Englyst et al. (1992), seguindo as Equações 6, 7 e 8, respectivamente:

$$ARD (\%) = ((G_{20} - G_0) \times (0,9 / AT)) \times 100 \quad (6)$$

$$ALD (\%) = ((G_{120} - G_{20}) \times (0,9 / AT)) \times 100 \quad (7)$$

$$AR (\%) = (100 - RDS - SDS) \quad (8)$$

Em quem: G é a concentração de glicose ($\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$) de peso seco e AT é o conteúdo total de amido ($\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$).

4.2.1.10 Proteína solúvel em dodecil sulfato de sódio (SDS)

Para determinar proteínas solúveis em SDS foi realizada a extração de proteína por solução tampão com a presença de solventes desnaturantes e redutores, de acordo com a método proposto por Buggenhout et al. (2013) com modificações. Uma amostra seca de 0,2 g foi misturada com 10 mL de tampão de fosfato de sódio ($0,05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; pH 6,8) contendo (i) 2,0% ($\text{m} \cdot \text{v}^{-1}$) de SDS. A dispersão foi homogeneizada por 60 min e centrifugada (15 min, 2250 xg), após a centrifugação foi recolhido o sobrenadante e determinado o teor de proteína pelo método AOAC (2005).

4.2.1.11 Digestibilidade proteica

Pesou-se 0,6 g de amostra e misturou-se em 25 mL de água destilada, colocou-se em banho-maria a 37 °C e ajustou-se o pH para 8, com adição de hidróxido de sódio e ácido clorídrico, e então foram adicionados 3 mL da solução enzimática, contendo 2,5 mg.mL⁻¹ de tripsina e 1,6 mg.mL⁻¹ de pancreatina, e verificou-se a queda do pH no tempo de 10 min, conforme metodologia proposta por (HSU et al., 1977).

4.2.1.12 Fatores antinutricionais

O ácido fítico foi determinado seguindo a metodologia proposta por Haug e Lantzsch (1983), pesou-se 0,015 g de grãos moídos, adicionaram-se a 2 mL de ácido clorídrico 0,2 mol.L⁻¹ em seguida, fez-se agitação por 30 min e realizou-se a centrifugação de 17200 *xg* por 15 min a 24 °C. Do sobrenadante, coletou-se 0,5 mL, juntou-se com 1 mL de FeCl₃ (0,11 g de cloreto férrico dissolvidos em 100 mL de ácido clorídrico 0,2 mol.L⁻¹ e o volume foi completado com água para 1 L. Deixou-se em banho por 30 min a uma temperatura de 100 °C, sendo posteriormente centrifugado a 3000 *xg* durante 15 min a 24 °C. Retirou-se 0,5 mL do sobrenadante e adicionou-se 0,75 mL de biperidina (10 g de biperidina em 10 mL de ácido tioglicólico, completando o volume com água para 1 L. A leitura foi feita a 515 nm e os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido fítico.g⁻¹ de amostra através da curva padrão de ácido fítico hidratado.

Os teores de taninos foram determinados usando o teste de vanilina/HCl método descrito por Price et al. (1978), o reagente foi preparado misturando porções iguais de soluções de metanol de 8% de HCl e 1% de vanilina, apenas antes da reação. Alíquotas de 0,1 mL de extrato de sorgo e 0,2 mL de reagente de vanilina/HCl foram bem misturados em microplaca. O prato foi incubado a 30 °C por 20 min e as absorbâncias foram lidas a 500 nm. A curva padrão foi obtida usando soluções de metanol catequina no intervalo de 0,1 mg.mL⁻¹ – 2,5 mg.mL⁻¹.

4.2.1.13 Teor de fitoquímicos

O conteúdo de fenólicos livres foi determinado espectrofotometricamente usando o método de Folin-Ciocalteu de Singleton e Rossi (1965). A as amostras

foram moídas em moíno Perten (*Perten Instruments Mill 3100 Sample Grinder*). Foram pesados 2 g de farinha em tubos Falcon de 50 mL, adicionaram-se 20 mL de acetona 70% e agitou-se em vórtex por 1 min. Em seguida deixou-se a mistura em homogeneizador de tubos a 80,625 xg por 1 h à temperatura ambiente e depois centrifugou-se a 4963,448 xg durante 10 min. Coletou-se o sobrenadante e no resíduo adicionaram-se 10 mL de metanol 70%, deixou-se no agitador por 1 hora, centrifugou-se, e coletou o sobrenadante. Em seguida, repetiu-se o processo anterior, adicionando-se 10 mL de metanol 70%, deixou-se no agitador por 30 min, centrifugou-se, coletou-se o sobrenadante. Depois juntou-se os sobrenadantes e concentrou-se até à secagem, utilizando um evaporador rotativo (Bochi R-205, Flawil) a 35 °C. O extrato seco foi redissolvido em 25 mL de metanol 70% (esse extrato é utilizado para análise de compostos fenólicos totais livres. Em seguida, a absorbância foi determinada usando um espectrofotômetro PHOX modelo V12 (320-1020 nm) a 725 nm e a curva de calibração de padrão de ácido gálico (20–1000 µg/mL $R^2 = 0,9937$) foi usada. Os dados foram expressos como miligramas de equivalente de ácido gálico por grama de extrato (mg GAE/g).

4.2.1.14 Flavonóides totais

O conteúdo de flavonóides totais foi realizado conforme método descrito por Ziegler et al. (2016), para tal, adicionou-se 0,5 mL do extrato em tubo de Falcon de 15 mL juntamente com 2 mL de água e 0,15 mL de NaNO_2 (5%), deixou-se reagir durante 5 min, em seguida foi adicionado 0,15 mL de AlCl_3 (10%), deixou-se reagir por mais 6 min, após adicionou-se 1 mL de NaOH 1 mol.L⁻¹ e 1,2 mL de água destilada, posteriormente realizou-se a leitura em espectrofotômetro (Jenway, 6705 UV/Vis) a 510 nm. Os resultados foram expressos em mg de equivalente de catequina (EC).100 g⁻¹.

4.2.1.15. Antocianinas

As antocianinas foram determinadas pelo método descrito por Abdel-all et al. (1999), pesou-se 0,5 g da amostra moída em tubos Falcon de 15 mL e adicionaram-se 10 mL de metanol acidificado (85:15). A seguir agitou-se em vortex por 1 min e deixou-se a mistura em homogeneizador de tubos a 107,5 xg durante 30 min.

Depois centrifugou-se a 6893,678 xg por 15 min, fez-se a coleta do sobrenadante e realizou a leitura da absorbância em 535 nm.

4.2.1.16 Atividade Antioxidante pelos métodos ABTS e DPPH

A atividade antioxidante pelo método DPPH foi determinada de acordo com o método de sequestro de radicais livres, que está baseada na habilidade dos antioxidantes da amostra se ligarem ao DPPH, um radical orgânico estável conforme descrito por Brand-Willians et al. (1995). Para a obtenção do extrato foi pesado 0,8 g da amostra moída, acrescentaram-se 10 mL de etanol P.A. e agitou-se durante 15 min a temperatura ambiente. Após centrifugou-se por 10 min em temperatura ambiente à 5514,942 xg. Em seguida foi coletado 500 µL desse extrato em tubo Falcon de 15 mL, protegido da luz, acrescentaram-se 3 mL de etanol P.A. e 300 µL de solução diluída de DPPH (diluiu-se 10 mL de solução de DPPH em 45 mL de etanol P.A. e calibrou-se a 515 nm para absorbância $1,1 \pm 0,02$), colocou-se no escuro e aguardou-se por 45 min. Posteriormente, fez-se a leitura em espectrofotômetro a 515 nm, zerando-o com água destilada.

A atividade antioxidante pelo método ABTS foi determinada de acordo com o método descrito por Re et al. (1999). Foram dissolvidos 88 µL de solução de persulfato de potássio (378,4 mg de persulfato de potássio em 10 mL de água destilada) com 5 mL de solução padrão de ABTS (192 mg de ABTS em 50 mL de água destilada, homogeneizado e armazenado em vidro âmbar). A mistura foi mantida em frasco de cor âmbar, sob o abrigo da luz, em temperatura ambiente por 16 horas. Em seguida, diluiu-se 1 mL desta mistura em álcool etílico P.A. até obter absorbância de $0,700 \pm 0,05$ nm à 734 nm em espectrofotômetro. Para a leitura das amostras, foi coletado 1 mL do extrato (o mesmo preparado para o método DPPH), adicionados 3,9 mL da solução diluída em álcool P.A, agitou-se com o emprego de vórtex, manteve-se por 6 min ao abrigo da luz, e realizou-se a leitura no espectrofotômetro a 734 nm.

4.2.2 Extração e caracterização do amido

4.2.2.1 Extração de amido

A extração do amido foi realizada conforme o método proposto por Sandhu et al. (2005), com adaptações. O procedimento de extração do amido de sorgo por via úmida está apresentado na Figura 4.

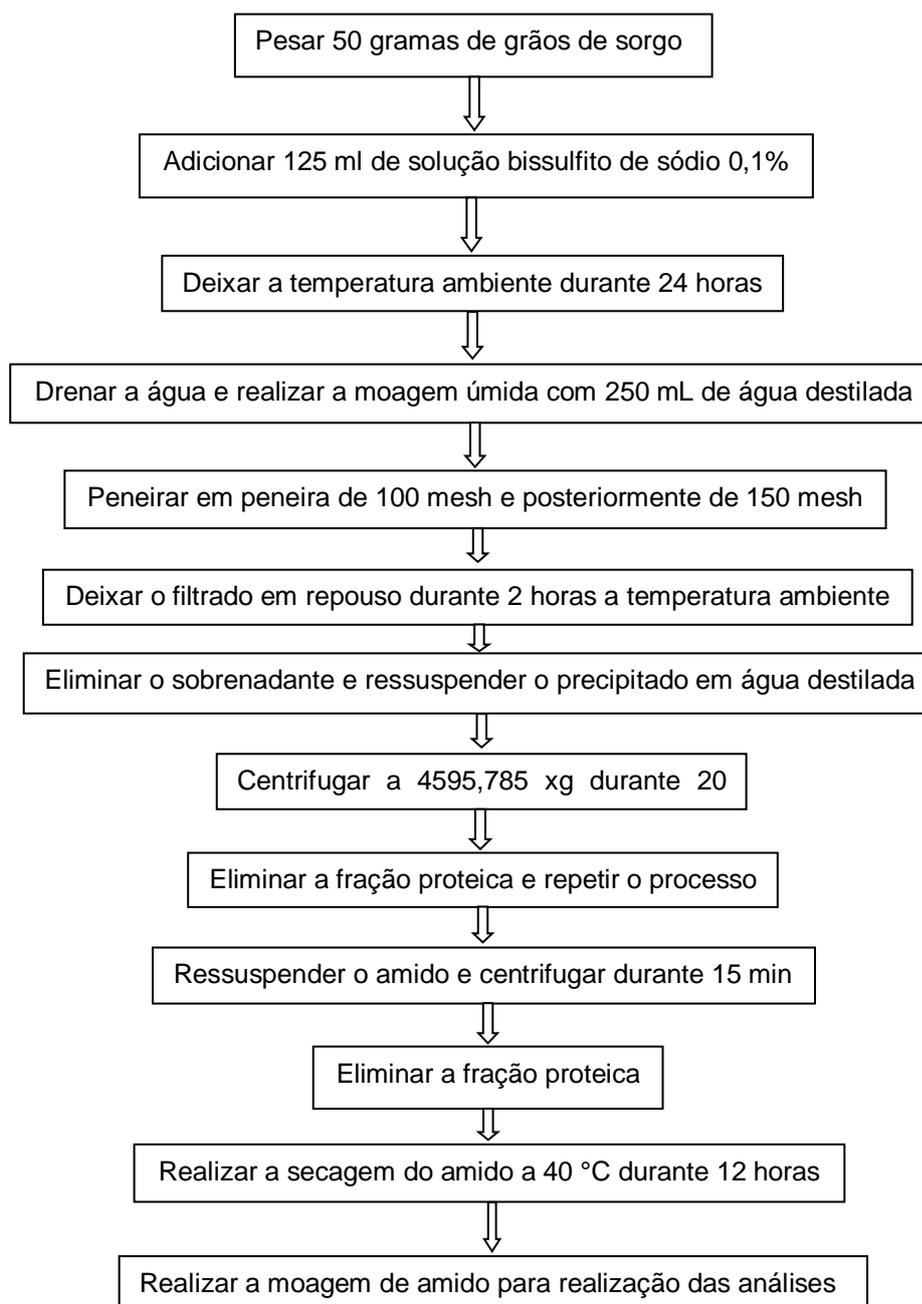


Figura 4. Fluxograma do processo de extração do amido dos grãos de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

4.2.2.2 Rendimento de extração

O rendimento de extração foi determinado com a pesagem do amido obtido após a secagem e os resultados expressos em percentagem, considerando 100 gramas de farinha utilizados para extração.

4.2.2.3 Grau de pureza

O grau de pureza foi determinado pela composição química. O teor de nitrogênio total foi determinado pelo método de Kjeldahl nº 46-13, da AACC (1995), sendo o teor de proteína bruta obtido pela multiplicação pelo fator 6,25. O teor de cinzas foi determinado pelo método nº 08-01, da AACC (1995), usando mufla a 600 °C até peso constante. O teor de lipídios foi determinado pelo método nº 30-20, da AACC (1995), em extrator Soxhlet utilizando éter de petróleo como solvente. O grau de pureza foi obtido de 100 subtraídos os valores de proteína, lipídeo e cinzas e expresso em percentagem.

4.2.2.4 Teor de amilose

O teor de amilose foi determinado por método colorimétrico com iodo, conforme método de McGrane; Cornell e Rix (1998). Aproximadamente 20 mg de amido desengordurado (b.s) juntamente com 8 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) à 90% foram agitados durante 20 min e posteriormente condicionados à banho maria a 85 °C por 15 min. Após arrefecimento, o conteúdo foi transferido para balão volumétrico de 25 mL e homogeneizado. Uma alíquota de 1 mL da solução foi adicionada de 5 mL de solução de I₂/KI (0,0025 mol. L⁻¹ de I₂ e 0,0065 mol. L⁻¹ de KI) e o volume completado para 50 mL. A solução resultante foi homogeneizada e mantida em repouso por 15 min, previamente a leitura da absorbância em 600 nm. Para a realização da curva de calibração foi utilizado 20 mg de amilose de batata pura submetida ao mesmo processo descrito para o amido, sendo retirados alíquotas de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e 1,0 mL para determinação da absorbância.

4.2.2.5 Propriedades de pasta

As propriedades viscoamilográficas dos amidos foram avaliadas por RVA – (*Rapid Visco Analyser*), por meio do perfil *Standard Analysis 1* utilizando-se 3,0 g de amostra corrigida para 14% de umidade. As amostras foram aquecidas a 50 °C por 1

min e, posteriormente, a 95 °C por 3,5 min, sendo mantidas a 95 °C durante 2,5 min. A seguir, foram resfriadas para 50 °C em 3,8 min e mantidas a 50 °C por 2 min. A velocidade de rotação foi mantida a 516 xg durante 10 s e então mantida a 86 xg durante o restante do processo. Foram avaliadas a temperatura de início de formação de pasta, a viscosidade máxima, a viscosidade mínima, a quebra da viscosidade, a viscosidade final e a tendência à retrogradação.

4.2.2.6 Poder de inchamento e solubilidade

O poder de inchamento e a solubilidade dos amidos foram determinados na temperatura de 90 °C, conforme método descrito por Leach et al. (1959). A determinação envolve a suspensão em tubos de centrífuga de 1 g de amido em 50 mL de água aquecida. Após 30 min de aquecimento em banho-maria, os tubos foram resfriados à temperatura ambiente e centrifugados (K14-4000, Kasvi, Brasil) a 1000 g por 20 min. O sobrenadante foi coletado e seco em estufa (105 °C) até peso constante para a quantificação da fração solúvel. Os tubos, previamente tarados, contendo os grânulos de amido intumescidos, foram pesados para determinar o poder de inchamento. A solubilidade foi calculada pela relação da massa solúvel e a massa inicial de amido, expressa em porcentagem, enquanto o poder de inchamento foi obtido pela relação da massa final intumescida pela massa inicial de amido, sendo descontada a quantidade de amido solúvel.

4.2.2.7 Análise de Transmitância no UV-Vis

A opacidade dos géis de amido foi medida conforme método proposto por Craig et al. (1989). Suspensões de amido a 1% (p/v) foram aquecidas em banho-maria a 90 °C por 1 hora com agitação constante. A suspensão foi arrefecida durante 1 hora a 30 °C. As amostras foram armazenadas durante 7 dias a 4 °C e a transmitância foi determinada diariamente medindo a absorbância a 640 nm, utilizando espectrofotômetro (Jenway 6705 UV/VIS), empregando água destilada como branco. Os valores de transmitância logarítmica foram plotados em função do tempo, e a inclinação resultante representou a taxa de retrogradação.

4.2.2.8 Propriedades térmicas (DSC)

As propriedades térmicas foram analisadas utilizando-se um calorímetro diferencial de varredura (DSC) (DSC-60, *Differential Scanning Calorimeter*, Shimadzu®, Japão). Foram pesados aproximadamente 2,5 mg de amido em cadinhos de alumínio e misturados com água destilada na proporção de 1:3, (m/m). Após a mistura, os cadinhos foram selados e deixados em repouso a temperatura ambiente por 24 horas para equilíbrio. A amostra foi aquecida a uma razão de 10 °C.min⁻¹ de 30 a 120 °C. Um cadinho vazio foi usado como referência. Foram identificadas as temperaturas de transição vítrea (T_o), temperatura de cristalização (T_p), temperatura de fusão (T_c) e entalpia (ΔH) dos amidos.

4.2.2.9 Cristalinidade Relativa (DRX)

As amostras de amido de sorgo foram escaneadas em faixa de ângulos de 10-100° 2θ a uma taxa de 2°/min a 25 °C usando um difratômetro de raio X, segundo a metodologia de Chen et al. (2017). A cristalinidade relativa dos amidos foi calculada por deconvolução dos picos das curvas de difração de raios X, tomando-se uma função de distribuição gaussiana como formato dos picos cristalinos e halos amorfos. Utilizando-se o *software* Origin 9.5, foram estimados os índices de cristalinidade com base nas áreas sob os picos cristalinos e o halo amorfo após a correção da linha de base, aplicando a seguinte equação:

$$\text{Cristalinidade relativa (\%)} = (100 \times A_c) / (A_a + A_c)$$

Em que: A_a = área do halo amorfo;

A_c = área do pico cristalino.

4.2.2.10 Digestibilidade *in vitro* do amido extraído

A digestibilidade do amido foi realizada conforme a metodologia apresentada no tópico 4.2.1.6.

4.2.2.11 Cinética de hidrólise do amido e índice glicêmico (eGI)

A cinética de hidrólise do amido e o índice glicêmico estimado foram calculados conforme tópico 4.2.1.7

4.2.2.12 Determinação de amido rapidamente digerível (ARD), amido lentamente digerível (ALD) e amido resistente (AR)

O teor de amido rapidamente digerível, amido lentamente digerível, e amido resistente foi determinado de acordo com o tópico 4.2.1.8.

4.2.2.13 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A morfologia dos grânulos de amido foi examinada pelo microscópio eletrônico de varredura (JEOL, JSM-6610LV, EUA) do CEME-SUL. As amostras de amido foram fixadas em *stub* com fita dupla face de carbono. Em seguida, todas as amostras foram pulverizadas com ouro, sendo revestidas com uma fina película e examinadas sob uma voltagem de aceleração de 15 kV e as micrografias foram capturadas em diferentes ampliações, que variaram de 1.500 a 4.300x.

4.2.3 Análise estatística

As amostras foram avaliadas no mínimo em duplicata para todas as análises de parâmetros químicos, físicos, tecnológicos do grão e do amido extraído.

As figuras foram obtidas com auxílio do *software Sigmaplot* versão 11. Foi realizada a análise de variância (ANOVA) e posteriormente as médias foram comparadas através do teste de Tukey ($p \leq 0,05$), a correlação entre as variáveis foi obtida através da correlação de Pearson e através do gráfico da Análise de Componentes Principais (ACP), o tratamento dos dados foi realizado com auxílio do *software R* versão 4.1.3 (10-03-2022).

5. Resultados e Discussão

5.1. Caracterização dos grãos

5.1.1 Peso de mil grãos, peso do hectolitro e dimensões dos grãos

Na Tabela 6 está apresentado o peso de mil grãos, o peso do hectolitro e as dimensões de espessura, comprimento e largura dos grãos de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) nos valores de peso de mil grãos entre as cultivares de sorgo analisadas e a variedade Local. A variedade Local apresentou maior peso de mil grãos e a cultivar Mucuvea apresentou menor valor. Os valores obtidos são similares aos encontrados Alfieri et al. (2017) que reportou valores de peso de mil grãos que variam de 7,47 g - 39,60 g em 36 linhagens de sorgo de cor clara. Em um estudo que analisou 24 cultivares de sorgo granífero, na região sudeste da Anatólia, na Turquia, os autores reportaram que o peso de mil grãos que variou de 22,42 g - 34,92 g no ano de 1998 e 21,37 g - 32,25 g no ano de 1999 (GUL; SARUHAN, 2005).

Tabela 6. Peso de mil grãos, peso do hectolitro e dimensões de grãos de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

Variedade /Cultivar	Peso de mil grãos (g)	Peso do hectolitro ($m^3.kg^{-1}$)	Espessura (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)
Local	29,55 ± 0,42 a	837,34±1,86 a	2,145 ± 0,15 a	5,30 ± 0,39 a	3,50 ± 0,18 a
Mucuvea	24,20 ± 0,52 c	764,22±5,14 c	2,56 ± 0,06 a	4,20 ± 0,04 a	3,49 ± 0,19 a
Otela	27,40 ± 0,69 b	775,7±2,66 b	2,66 ± 0,09 a	4,19 ± 0,06 a	3,88 ± 0,12 a
Tocole	27,20 ± 0,74 b	753,34±1,14 d	2,65 ± 0,09 a	4,06 ± 0,17 a	3,75 ± 0,21 a
CV	1,549	0,64	5,92	6,99	6,85

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Foram observadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) nos valores de peso hectolitro dos grãos entre as cultivares de sorgo analisadas e a variedade Local. A variedade Local apresentou maior peso hectolitro e cultivar Otela apresentou menor valor. Cruz (2015) reportou valores inferiores, variando de 624,76 $m^3.kg^{-1}$ – 684,4 $m^3.kg^{-1}$ para grãos secos em quatro diferentes temperaturas, tendo relatado que o peso hectolitro foi incrementado pelo aumento da temperatura de secagem. No

presente estudo, o peso hectolitro encontrado nas amostras de grãos de sorgo variou de 764 m³.kg⁻¹ - 837 m³. Kg⁻¹, indicando bom rendimento de farinha na indústria.

Não houve diferença significativa ($p \geq 0,05$) nos valores de espessura, comprimento e largura entre as amostras de sorgo analisadas. Considerando a similaridade na dimensão dos grãos, acredita-se que a comercialização destes grãos não será influenciada por este parâmetro. O comprimento do grão de sorgo pode variar de 2 a 5 mm e seu diâmetro, de 2 a 3 mm na sua extremidade mais larga, sendo que normalmente possui forma esférica e a sua massa pode variar de 20 a 30 mg. Com relação à cor, pode ir do branco a tons mais escuros como o castanho, no entanto, os grãos de cor avermelhada e amarelada são os mais comuns (CORREIA et al., 2011).

5.1.2 Composição proximal

Os dados obtidos para a composição centesimal estão dentro dos padrões reportados pelo do Programa Mundial para Alimentação (WFP, 2020) para o sorgo, o qual padroniza a umidade máxima de 13%, proteína mínima 7%, lipídeo máximo 4%, cinza máximo 2%, e tanino máximo 0,5%, atendendo os métodos oficiais de determinação desses componentes.

Os valores encontrados estão de acordo com os reportados por Ratnavathi e Komala (2016), os quais referem que nutricionalmente o grão de sorgo contém 4,4–21,1% de proteína, 2,1–7,6% de gordura, 1,0–3,4% de fibra bruta, 57,0–80,6% de carboidratos totais, 55,6–75,2% de amido e 1,3–3,5% de minerais totais. A análise de variância mostra que não houve diferenças significativas ($p > 0,05$) para umidade, fibra e lipídios entre as cultivares, contudo, a umidade, carboidrato, fibra, proteína e lipídeos das cultivares apresentou diferença significativa em comparação a variedade Local. Nutricionalmente, considerando 100 g de ingestão diária, pode-se considerar que as cultivares fornecem menos energia (calorias) que a variedade Local. Moraes et al. (2015) encontram valores inferiores de caloria total, 265.29 kcal/100 g e Dicko (2005) relatou similar valor energético do sorgo em média 356 kcal/100g.

Em um estudo com 100 genótipos de sorgo coletados na África, Estados Unidos da América e China, plantados em ambiente com estresse hídrico (ACSH) e

em outro ambiente sem estresse hídrico (SSEH) Queiroz et al. (2015) encontrou valores médios de 67,4% e 65,5% de carboidratos, 13,5% e 13,3% de proteínas, lipídios de 3,2%, fibras 14,2% a 16,6% e cinzas de 1,7% a 1,3 %, respectivamente, para os ambientes ACSH e SSEH.

Na Tabela 7 está apresentada a composição proximal e o valor calórico total de grãos de sorgo.

Tabela 7. Composição proximal e valor calórico total de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

Variedade /Cultivar	Umidade (%)	Cinzas (%)	Fibra (%)	Lipídios (%)	Proteína (%)	Carboidratos (%)	Valor calórico total (kcal/100 g)
Local	10,75±0,07 b	1,62±0,03 a	0,58±0,04 b	4,78±0,12 a	9,39±0,04 a	73,43±0,006 c	374,4±0,91 a
Mucuvea	11,82±0,22 a	1,64±0,02 a	0,74±0,05 a	3,41±0,01 b	7,89±0,04 b	75,21±0,23 b	363,18±0,63 b
Otela	11,36±0,00 a	1,46±0,04 b	0,84±0,03 a	3,55±0,05 b	7,35±0,04 c	76,26±0,13 a	366,47±0,10 b
Tocole	11,64±0,01 a	1,72±0,02 a	0,73±0,01 a	3,53±0,06 b	8,01±0,06 b	75,08 ±0,02 b	364,22±0,39 b
Cv	1,033	2,24	4,961	2,713	0,82	0,25	0,23

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O maior acúmulo de nutrientes como lipídios e proteínas na variedade Local, pode estar relacionado às suas características agronômicas. A variedade Local apresenta maior período de maturação cerca de 180 dias, enquanto as cultivares são de período de maturação menor 120 a 150 dias (MUTALIANO; TECA, 2016).

As cultivares possuem maior conteúdo de carboidratos e fibras, o que pode estar associado ao fator genético resultante dos cruzamentos. As cultivares Otela e Mucuvea podem ser as melhores fornecedoras de fibras, promovendo benefícios à saúde. De acordo com Borneo e Leon (2012) há um consenso de que precisamos selecionar dietas ricas em fibras, incluindo grãos integrais, porque eles podem desempenhar um papel na prevenção de doenças como as cardiovasculares e acidentes vasculares cerebrais, hipertensão, síndrome metabólica, *diabetes mellitus* tipo 2, obesidade, bem como diferentes formas de câncer.

O melhoramento tradicional de plantas envolve a recombinação e seleção de genótipos com diferentes antecedentes genéticos (bancos de genes ativos, coleções principais e painéis de associação) e depende da exploração da variação natural (TEIXEIRA et al., 2013). No entanto, de acordo com Ray et al. (2008) a composição da semente é afetada por fatores ambientais, especialmente durante o período de enchimento de sementes, portanto, a seleção para alto teor nutricional deve ser precedida por análises para interação genótipo-ambiente.

Na Tabela 8 está apresentado o Rendimento médio de nutrientes por hectare (Kg/hc) de sorgo.

Tabela 8. Rendimento médio de nutrientes por hectare ($\text{kg}\cdot\text{hc}^{-1}$) de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

Variedade/ Cultivar	Cinzas	Carboidratos	Fibras	Lipídios	Proteínas
Local	0,97±0,01c	44,06±0,00c	0,34±0,02 b	2,87±0,07 b	5,60±0,03 c
Mucuvea	5,77±0,05 a	263,24±0,81 b	2,59±0,11 a	11,96 ±0,04 a	27,62±0,16 a
Otela	5,11±0,14b	266,91±0,46 a	2,94 ±0,08 a	12,45±0,18 a	25,73± 0,14 b
Tocole	6,02±0,05 a	262,81±0,08 b	2,56 ± 0,01 a	12,37±0,21 a	28,04± 0,21 a
Cv	2,56	0,31	4,8	2,07	0,96

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados mostraram que houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) nos valores de rendimento médio de nutrientes para todas as amostras estudadas. Este cálculo permitiu entender que as cultivares, por alcançarem um rendimento por hectare maior que a variedade Local podem prover maior quantidade de nutrientes por hectare como proteínas, lipídios e fibras para a alimentação humana, animal, e diversos usos industriais se comparado com a variedade Local, embora a variedade Local possua composição centesimal rica em lipídeos, por exemplo, ela apresenta baixo rendimento de nutrientes por hectare. Assim sendo, as cultivares com maior rendimento por hectare são mais indicadas para produção.

As novas cultivares libertas não são sensíveis ao fotoperíodo, isto é, florescem em qualquer época do ano, com rendimento médio de 3 toneladas por hectare comparadas com as variedades do ciclo longo e fotoperíodos sensíveis com rendimentos baixos de cerca de 0,6 toneladas por hectare (MUTALIANO; TECA, 2017).

Nas regiões onde as estações chuvosas são incertas e erráticas, cultivares de sorgo de ciclo curto e intermediário são as mais preferidas pela maioria das famílias camponesas com poucos recursos para a sua sobrevivência (PRISCILLA et al., 2012).

5.1.3 Cor

Na Tabela 9 está apresentada a cor do grão e da farinha de diferentes cultivares de sorgo e da variedade Local, e as imagens dos grãos podem ser observadas na Figura 5. Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) nos parâmetros de cor entre as amostras de sorgo analisadas. Para o parâmetro L a cultivar Tocale apresentou maior luminosidade e por tanto grãos mais claros, enquanto a cultivar Mucuvea apresentou o menor valor de L. Alfieri et al. (2017) analisou 210 genótipos de sorgo e reportou valores de parâmetros de L^* que variaram de 28,00 – 69,18, parâmetro a^* de 2,50 – 19,85 e, parâmetro b^* 5,93 – 28,01. Os autores relataram uma baixa, mas significativa correlação entre o peso da semente e L^* ($r = 0,25$, $p \leq 0,01$) e b^* ($r = 0,31$, $p \leq 0,01$), sugerindo que sementes maiores tinham uma cor mais clara (ALFIERI et al., 2017). No estudo foi observado que a cultivar Mucuvea apresentou menor peso de mil grãos e menor luminosidade. Estas diferenças podem estar relacionadas ao espaçamento entre grãos, quanto menores os grãos mais

próximos eles ficam e conseqüentemente mais fidedigno é o resultado de cor. De uma maneira geral os valores encontrados para as diferentes cultivares e para a variedade Local são similares aos reportados pela literatura. Dlamini et al. (2007) reportou valores de parâmetro L para cultivar de pigmentação branca Macia White = 67,0, NK 283 Red com L= 50,2, Red SwaziD Red com L= 49,0, NS 5511 Red com L= 45,7 e Framida Red com L= 45,8. Alfieri et al. (2017), relataram resultados semelhantes (L e b*) para 210 genótipos de sorgo, relatando valores do parâmetro L* variando de 28,00 a 69,18, parâmetro a* 2,50 - 19,85 e parâmetro b* diferente, sendo 5,93 - 28,01.

Foi analisada a cor das farinhas obtidas pelas diferentes cultivares e variedade Local (Tabela 9). Após o processo de moagem houve incremento do parâmetro L, principalmente pelo aumento da superfície de contato e exposição do endosperma amiláceo dos grãos.

Na farinha, a variedade Local apresentou maior valor do parâmetro a*, diferente das outras pois o parâmetro a*+ indica tendência ao vermelho e a variedade Local apresenta pontos de cor vermelha mais acentuada que as demais, pois as cultivares são claras e com tendência a amarelo. Os valores de parâmetros a* das cultivares diminuíram significativamente na farinha pelo fato do amido (representa 70% da amostra) que é branco absorver mais a luz que o pericarpo, e estar mais exposto em relação as partes pigmentadas como farelo.

O parâmetro b* aumentou na farinha pois as cultivares são claras e com tendência a amarelo, o que pode ter contribuído para maior distribuição do pigmento e uniformidade da farinha. Houve diferença significativa em relação aos parâmetros a (maior) e b (menor) da farinha da variedade Local em relação as cultivares.

Na Tabela 9 estão apresentados os valores de cor do grão e da farinha.

Tabela 9. Cor do grão e da farinha de diferentes cultivares de sorgo e da variedade Local.

Variedade/ Cultivar	Grão			Farinha		
	L	a*	b*	L	a*	b*
Local	57,9±2,08 b	21,55±0,45 a	2,96±1,38 a	70,6±1,94 a	3,25±0,16 a	10,7±0,38 b
Mucuvea	55,5±1,96 c	19,16±0,22 a	2,12±0,68 b	71,4±1,15 a	0,09±0,06 b	11,30±0,45 ab
Otela	57,3±1,24 b	18,68±0,16 a	2,27±0,55 a	70,0±1,98 a	0,31±0,09 b	12,10±0,18 a
Tocole	60,7±1,19 a	19,94±0,16 a	3,02±0,57 a	71,2±1,17 a	0,09±0,06 b	11,60±0,44 a
Cv	0,40	3,8	2,6	0,9	6,6	1,8

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

(a)



(b)



(c)



(d)



Figura 5. Grãos da variedade Local (a), cultivar Mucuvea (b), cultivar Otela (c) e cultivar Tocole (d).

5.1.4 Digestibilidade *in vitro* do amido dos grãos de sorgo, cinética de hidrólise do amido, índice glicêmico, amido rapidamente digerível (ARD), amido lentamente digerível (ALD) e amido resistente (AR)

Na Figura 6 está apresentada a digestibilidade da farinha de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local. Durante a simulação da fase gástrica não houve liberação de glicose devido a ausência de enzimas amilases no estômago. No intestino delgado verificou-se imediata liberação de glicose, sendo verificado neste início (I0) maior liberação de glicose das cultivares Tocolé e Otela. Ao decorrer do processo de digestão verificou-se que a cultivar Tocolé apresentou a taxa mais lenta de liberação de glicose (I5 ao I120), podendo esta cultivar ser empregada em casos em que se quer uma liberação mais lenta, e maior sensação de saciedade após o consumo, conforme recomendado a indivíduos que são portadores de diabetes. Por outro lado, ao final dos 180 min de digestão (I180) a cultivar apresentou digestão similar às demais cultivares. A cultivar Otela foi a que apresentou maior taxa de hidrólise de amido durante a digestão simulada. A elevada liberação de hidrólise pode favorecer a entrega de altas concentrações de açúcares para atletas, por exemplo.

A variação na digestibilidade do amido em uma matriz alimentar, como no caso do sorgo pode ter influências de diversos fatores relacionados à própria composição do alimento. Como a formação de complexos entre amido e lipídios, a forte adesão com as proteínas que circundam os grânulos de amido, podem dificultar o acesso das enzimas amilases; e, a presença de compostos bioativos como os compostos fenólicos.

Ao final da digestão (I 180) não houve diferença significativa ($p>0,05$) da digestibilidade para as cultivares e a variedade Local (Tabela 10). Resultados similares de digestibilidade para 3 cultivares de sorgo (SB10TA e SB11TA brancas e SR10AS vermelha) foram encontrados após 180 min de digestão D180 (60–80%) por Souilah et al. (2014).

Rocchetti et al. (2020) estudaram cultivares brancas (sem pigmentos) de sorgo e encontrou valores aproximados a 85% no final da digestibilidade após 180 min de digestão, e para cultivar com pigmento em torno de 75%, ressaltando que houve incremento substancial da digestibilidade entre os min I120 a I180. Este

fenômeno, também foi confirmado no presente estudo, (Figura 6) entre os min I120 a I180 para a variedade Local e as cultivares.

Da Tabela 10, para as cultivares pode-se aferir que não houve diferenças significativas ($p>0,05$) nos fatores que poderiam afetar a digestibilidade da farinha como taninos, fenólicos livres e ácido fítico. De acordo com Barros et al. (2012) e Mkandawire et al. (2013), devido à conexão robusta entre partículas de amido e proteínas e taninos, o sorgo possui a menor digestibilidade do amido entre as culturas ricas em carboidratos.

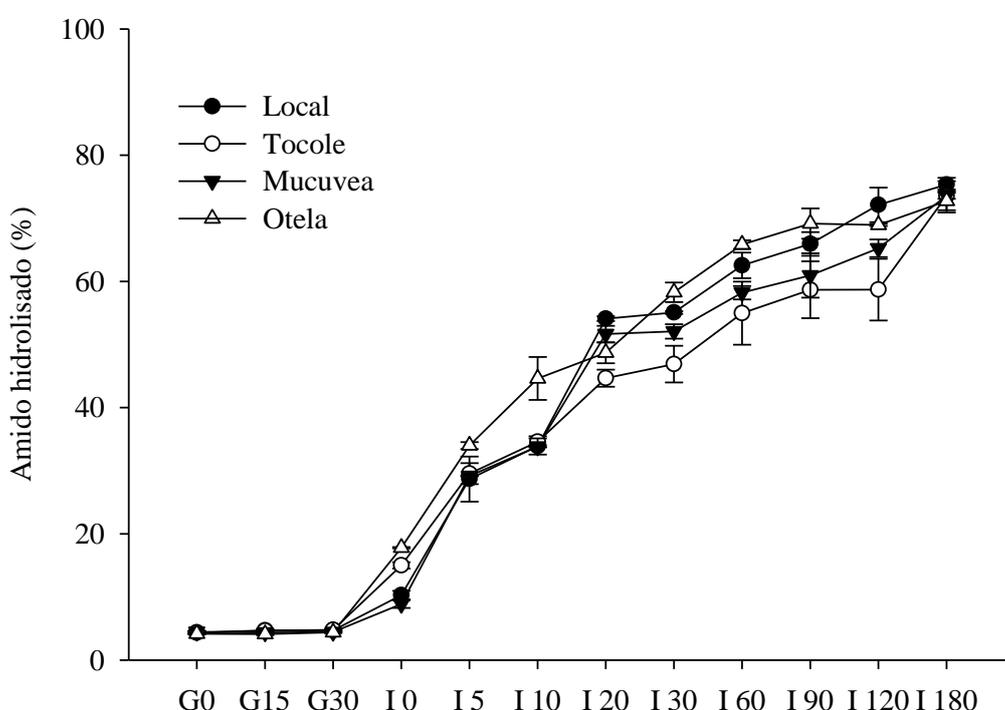


Figura 6. Digestibilidade in vitro do amido da farinha de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local. G – indica a fase gástrica da hidrólise de amido, I – indica a fase intestinal de hidrólise de amido.

Na Tabela 10 estão apresentados o percentual de hidrólise ao final dos 180 min de digestão *in vitro*, o índice glicêmico e os teores de amido rapidamente digerível, amido lentamente digerível e amido resistente das farinhas de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

Tabela 10. Digestibilidade *in vitro* do amido aos 180 min de digestão, índice glicêmico estimado, amido rapidamente digerível, amido lentamente digerível e amido resistente de farinhas de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

Variedade/ Cultivar	Digestibilidade <i>in vitro</i> aos 180 min (%)	Índice glicêmico estimado (IGe) (%)	Amido rapidamente digerível (%)	Amido lentamente digerível (%)	Amido resistente (%)
Local	76,46±1,88 a	74,56±1,09 a	64,30±1,06 a	21,66±1,31 b	14,02±0,3 d
Mucuvea	74,24±0,66 a	68,76±2,30 b	41,89±0,38 b	25,31±1,02 ab	32,37±0,64 a
Otela	72,73±1,29 a	72,92±0,07 ab	44,12±1,57 b	28,93±1,85 a	26,94±0,27 b
Tocole	73,57±0,34 a	71,11±0,54 ab	62,78±0,27 a	18,98±0,51 c	18,23±0,78 c
Cv	2,69	1,79	2,6	7,59	3,32

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) nos valores de índice glicêmico estimado entre as cultivar Mucuvea e a variedade Local. O índice glicêmico estimado das farinhas de sorgo foi semelhante a outros descritos na literatura para farinhas de sorgo sem tanino, que variaram entre 63,19 % e 83,36 % (SOUILAH et al., 2014). No seu estudo, Moraes et al. (2015), encontrou valores de 77,2 % próximos aos da variedade Local.

De acordo com a classificação do índice glicêmico considera-se alto, $IG \geq 70$ %, médio $IG 56 - 69$ % e baixo $IG < 55$ % (SILVA et al, 2009). As amostras do presente estudo podem ser classificadas como tendo alto IG para a variedade Local, cultivares Otela, Tocole, e intermediário IGe para a cultivar Mucuvea.

Foram verificadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) nos valores de amido rapidamente digerível, lentamente digerível e amido resistente (Tabela 10). Os valores de amido resistente das cultivares estudadas variaram de (14,02-32,37%), amido lentamente digerível (18,98-28,93%) e amido rapidamente digerível (41,89-64,30%).

Souilah et al. (2014) relataram valores de amido resistente mais baixos (2,5 – 15%) em farinhas integrais de nove genótipos de sorgo sem taninos. Estes resultados são similares aos teores de amido resistente da variedade Local. O menor teor de amido resistente da variedade Local pode ser explicado pela maior solubilidade e digestibilidade proteica, e menor teor de fibras (0,58%), o que pode ter promovido uma menor viscosidade do suco intestinal simulado e o amido pode ter ficado mais acessível e disponível para as enzimas.

Moraes et al. (2015), encontrou valor de 24,41 g 100 g⁻¹ de amido resistente na farinha de sorgo integral do genótipo de sorgo SC 2, estes valores são similares aos da cultivar Mucueva e Otela.

As enzimas desempenham um papel importante na digestão, pois aumentam a velocidade das reações químicas. Xu et al. (2022) descobriu que o teor de amido resistente na farinha de sorgo cozida com diferentes granulometrias e durezas foi muito maior no tratamento sem pepsina (16,93 – 23,99%) do que a farinha de sorgo cozida no tratamento com pepsina (4,86 – 12,53%); o amido lentamente digerível variou de (27,96 - 36,18%) sem pepsina e com pepsina (38,59 - 46,67%). E por último os valores amido rapidamente digerível variaram de (41,03-54,78%) para o tratamento sem pepsina e (41,99 - 56,01%) para o tratamento com pepsina respectivamente. Estes resultados, demonstram que os valores de ARD e ALD aumentam com uso de enzimas e do lado contrário, o teor de AR diminui com uso de enzimas.

As cultivares Mucueva e Otela apresentaram maiores teores de amido resistente e de fenólicos livres em relação a variedade Local. A interação entre taninos e proteínas de sorgo também pode contribuir ainda mais para reduzir a digestibilidade da proteína e do amido (GIRARD; AWIKA, 2018). O amido resistente também tem sido associado a reduções nos níveis de colesterol LDL (lipoproteína de baixa densidade) e de triglicerídios na hiperlipidemia (JENKINS et al., 1988). Adicionalmente, o amido resistente contribui para o aumento do volume fecal, modificação da microflora do cólon, aumento da excreção fecal de nitrogênio e, possivelmente, redução do risco de câncer de cólon (JENKINS et al., 1998; YUE; WARING, 1998). Os compostos fenólicos podem contribuir para aumentar as frações ALD e AR (CAMELO-MÉNDEZ et al., 2016; CAMELO-MÉNDEZ et al., 2017) por meio de fenólicos não covalentes/interações de amido (ZHU, 2015) e/ou através da inibição de enzimas digestivas durante o cozimento (BARROS et al., 2012.).

5.1.5 Proteína solúvel, digestibilidade proteica e fatores antinutricionais

O teor de proteína solúvel variou significativamente entre as amostras estudadas ($p \leq 0,05$). A utilização de SDS para a extração de proteínas da farinha de sorgo, permitiu verificar que a variedade Local apresentou percentual de proteína solúvel similar ao da cultivar Mucueva, e a cultivar Tocolé o menor percentual. O teor

de proteína solúvel % em SDS variou de 54,24-64,35%. Truong et al. (2017) reportaram valores de proteína solúvel de 6 cultivares de sorgo, que variou de 41,2-49,5%, estes valores são inferiores aos valores das cultivares estudadas e da variedade Local. O solvente SDS promove a solubilização de quase todas as proteínas, quebrando as ligações não covalentes das proteínas e, logo, causando desnaturação (BUGGENHOUT et al., 2013). Na Tabela 11 estão apresentados a digestibilidade proteica, proteína solúvel, taninos e ácido fítico de sorgo.

Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) na digestibilidade proteica entre as cultivar Tocale e a variedade Local. A cultivar Tocale apresentou menor digestibilidade proteica em relação a todas as demais, sendo que a variedade Local apresentou 64,54% de digestibilidade e que também possui maior teor de proteínas dentre todas as amostras. As cultivares Mucueva e Otela não diferiram significativamente nem da variedade Local, nem da cultivar Tocale. A digestibilidade proteica das amostras de Moçambique são maiores em relação as cultivares de outros países africanos, considerando o estudo de Diatta-Holgate et al. (2022), que reportaram valores de digestibilidade proteica de 37,0% a 53,2% para cultivares do Niger, 36,5% a 43,7% para cultivares de Senegal, 40,9% para cultivares do Mali, e 42,4% para cultivares do Togo.

Tabela 11. Digestibilidade proteica, proteína solúvel, taninos e ácido fítico de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

Variedade/ Cultivar	Proteína solúvel SDS (%)	Digestibilidade proteica (%)	Taninos (%)	Ácido fítico (mg.g⁻¹)
Local	64,35±2,24 a	64,54±0,68 a	0,60±0,07 a	2,23±0,06 a
Mucueva	61,04±0,36 ab	63,98±0,14 ba	0,13±0,04 b	1,98±0,14 a
Otela	58,76±1,46 b	63,49±0,30 ba	0,10±0,02 b	2,00±0,14 a
Tocale	54,24±2,05 c	61,97±0,12 b	0,14±0,01 b	1,82±0,16 a
Cv	4,12	0,83	23,5	5,41

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A baixa qualidade proteica do sorgo, também, pode ser associada aos compostos fenólicos como por exemplo, os taninos. Estes compostos complexam-se com as proteínas impedindo a sua digestão e subsequente, absorção (DYKES;

ROONEY, 2006). No entanto, outros componentes do cereal, também são associados ao baixo aproveitamento de proteínas. Estudos comprovaram que as Kafirinas, principal proteína de reserva, tornam-se menos solúveis e indigeríveis com a cocção úmida, em função da formação de ligações dissulfeto (HAMAKER et al., 1986).

O teor de taninos foi significativamente ($p \leq 0,05$) inferior nas cultivares em comparação a variedade Local, entretanto, não houve diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as cultivares.

A variedade Local apresentou maior teor de taninos, 0,6 mg de equivalente de catequina por grama, comparado com as cultivares. Os resultados das cultivares estão dentro dos padrões reportados pelos padrões do Programa Mundial para Alimentação (WFP, 2020) que padroniza teor de tanino máximo de 0,5% referenciando os métodos oficiais de determinação desses componentes. As cultivares são de cor branca, sendo a farinha das cultivares Mucuvea, Otela e Tocale apresentaram valor do parâmetro de cor a^* menor que a variedade Local que apresentou alto valor deste parâmetro, indicando maior tendência a cor vermelha. Grãos de sorgo com pericarpo de cor escura possuem traços de taninos, enquanto os teores de tanino em cultivares de sorgo com testa roxa são muito menores do que aqueles com testa marrom (CHENG et al., 2009)

Em um estudo comparando os métodos de detecção de taninos com 20 cultivares de cor vermelha, laranja, castanha clara e castanha escura do Brasil, Palacios et al. (2021) encontraram níveis de taninos que variariam de 2,8 até 72 mg equivalente de catequina g^{-1} para o método vanilina /ácido clorídrico e PVPP/Folin-Ciocalteu foi de 1,2–2,2 mg equivalente ácido taninico g^{-1} .

A estrutura da proteína pode determinar maior ou menor grau de afinidade aos taninos. Por exemplo, proteínas mais abertas e flexíveis têm maior afinidade do que proteínas globulares, devido a uma maior superfície disponível para complexação. As proteínas dos grãos de sorgo (kafirinas) são polipeptídios hidrofóbicos com alto teor de prolina. A concentração de kafirinas aumenta durante o desenvolvimento do grão, intensificando as ligações cruzadas das pontes dissulfeto que ligam as kafirinas aos taninos condensados e, assim, causando uma redução da digestibilidade do grão (LIU et al., 2015). De acordo com Emmambux e Taylor (2003), a interação de kafirinas com taninos condensados é mais forte do que com taninos

hidrolisáveis (por exemplo, ácido tânico). Além disso, há uma grande diferença entre as massas moleculares das kafirinas (2500 Da) e do ácido tânico (1701 Da) (BRANDON et al., 1980).

O alto teor de tanino nos grãos de sorgo é uma característica indesejável para a alimentação de aves e suínos e representa um desafio para os programas de melhoramento. Por outro lado, teor moderado de taninos no sorgo pode ser benéfico em dietas humanas porque exercem efeitos anticancerígenos, anti-inflamatórios e redução da absorção de carboidratos, entre outros (PALACIOS et al., 2021); então, as cultivares deste estudo podem fornecer estes benefícios à saúde, contribuindo especialmente a nutrição das comunidades sem muitas alternativas onde o sorgo constitui base de segurança alimentar e nutricional.

Em estudo com cultivares de pericarpo branco CMSXS 136 e BRS309, Moraes, (2011) encontrou níveis de taninos de 10,8 e 12,5 mg equivalente de catequina/g. Por outro lado, os resultados de cor e de tanino deste estudo, confirmam os dados reportados por Mutaliano e Teca (2017) que afirmam que as cultivares são de grão branco, e livres de tanino.

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) nos teores de ácido fítico entre as cultivares de sorgo analisadas e a variedade Local. Por não apresentar diferenças significativas não se pode afirmar que este parâmetro influenciou na restrição da biodisponibilidade de nutrientes. Os efeitos do ácido fítico em humanos e animais nutrição estão relacionadas com a interação do ácido fítico com proteínas, vitaminas e vários minerais, e assim restringir a sua biodisponibilidade (EILKHALIL et al., 2011).

Além disso, alguns métodos podem influenciar na redução de ácido fítico. Os níveis de ácido fítico encontrados no presente estudo foram similares aos citados por Makokha et al. (2002), em que o teor de ácido fítico variou de 875,1 a 2.211,9 mg/100 g. No estudo, os autores empregaram a fermentação nos grãos, o que resultou na diminuição de 64,8% após 96 horas e 39,0% após 72 horas de fermentação dos grãos. Afify et al. (2011) reportaram valores de ácido fítico variando de 556,52 mg.100⁻¹ g a 606,076 mg.100⁻¹ g, em base seca para três cultivares de sorgo brancas: Dorado, Shandaweel-6 e Giza-15, respectivamente.

5.1.6 Teor de fitoquímicos, flavonóides totais e atividade antioxidante

O conteúdo de flavonóides variou significativamente ($p \leq 0,05$) entre a variedade Local e as cultivares, entretanto, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as cultivares (Tabela 12).

A variedade Local apresentou menor teor de flavonóides $110,50 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e as cultivares não apresentaram diferença significativa. Os valores de flavonóides totais encontrados no presente estudo estão dentro do intervalo observado por outros autores (0–241 $\mu\text{g}/\text{g}$) (DYKES et al., 2011, 2009).

Os valores de flavonóides das cultivares foram similares aos da cultivar de sorgo SC115 (com tanino), que apresentou valores de $157 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e o valor da variedade Local foi similar a cultivar sem tanino SA 5330-MARTIN, que apresentou $120 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ conforme relatado por Pinheiro et al. (2021). Segundo os mesmos autores, o sorgo cultivado em ambiente com estresse hídrico, aumenta o conteúdo de flavonóides, sendo que a cultivar SC115 (contém tanino) apresentou $191 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e a cultivar sem tanino SA 5330-MARTIN apresentou $135 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, respectivamente.

Na Tabela 12 estão apresentados os teores de flavonóides, atividade antioxidante determinada pelo método de ABTS e DPPH, teor de fenólicos livres e antocianinas.

Tabela 12. Teores de flavonóides, atividade antioxidante determinada pelos métodos de ABTS e DPPH, teor de fenólicos livres e antocianinas de grãos de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

Variedade/ Cultivar	Flavonoides ($\mu\text{g}/\text{g}$)	ABTS (μmol trolox/g)	DPPH (μmol trolox/g)	Fenólicos livres (mgEAG/g)	Antocianinas (mg cianidina- 3-glicosídeo/g)
Local	$110,50 \pm 1,89$ b	$119,5 \pm 2,01$ b	$116,2 \pm 0,32$ d	$42,04 \pm 1,36$ b	$0,05 \pm 0,003$ a
Mucuvea	$175,67 \pm 0,83$ a	$177,2 \pm 8,79$ a	$200,4 \pm 6,37$ c	$62,23 \pm 5,44$ a	$0,02 \pm 0,00$ b
Otela	$171,03 \pm 0,56$ a	$196,4 \pm 8,87$ a	$419,1 \pm 10,8$ a	$69,35 \pm 0,54$ a	$0,02 \pm 0,001$ b
Tocole	$177,06 \pm 6,92$ a	$101,2 \pm 5,07$ b	$262,8 \pm 10,6$ b	$64,44 \pm 6,94$ a	$0,02 \pm 0,001$ b
Cv	2,28	4,58	3,03	7,51	6,08

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A atividade antioxidante das diferentes amostras de sorgo foi determinada pelos métodos ABTS e DPPH. Pelo método de ABTS as cultivares Mucuvea e Otela apresentaram maior atividade antioxidante em relação a variedade Local e a cultivar

Tocole. Os valores encontrados pelo método ABTS variaram de 101,2-196,4 $\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$. Utilizando a mesma metodologia de avaliação por inibição de radicais ABTS, Moraes et al. 2018 relataram valor superior ao detectado neste estudo para farinha de sorgo 221,8 $\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$ e para farelo de sorgo 840,8 $\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$.

No estudo de Awika et al. (2009), para 6 cultivares de sorgos de pericarpo marrons, são reportados valores de atividade antioxidante entre 88 e 125 $\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$, sendo próximos aos valores da variedade Local e cultivar Tocale, respectivamente. Moraes et al. (2015), encontrou valores próximos aos verificados para as cultivares Otela e Mucuvea, sendo que foram de 180,70 $\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$, esta alta atividade antioxidante constitui um benefício funcional e um diferencial destas cultivares na alimentação humana.

Pelo método de DPPH as cultivares, apresentaram valor significativamente maiores de atividade antioxidante ($p \leq 0,05$) em relação a variedade Local. Os valores encontrados pelo método DPPH variaram de 116,2 - 419,1 $\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$. Resultados similares aos da cultivar Mucuvea e Tocale foram reportados por Moraes et al. (2018), indicando valores de DPPH na média de 190,0 $\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$ para farinha de sorgo e 681,7 $\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$ para farelo de sorgo. A cultivar Otela mostrou tanto pelo ABTS e DPPH altos valores de atividade antioxidante, denotando o seu potencial benefício a saúde.

Estes altos valores de atividade oxidante obtidos tanto pelo método ABTS quanto pelo método DPPH ressaltam o potencial das cultivares como potenciais alimentos para manter o baixo nível de radicais livres no organismo, gerando diversos benefícios a saúde.

Sendo assim, o consumo de farinha de sorgo integral, deve ser incentivado considerando o alto teor de compostos fenólicos que favorecem a atividade antioxidante, e conseqüentemente apresentam potencial para auxiliar a prevenção de diabetes, obesidade, estresse oxidativo e outros (AWIKA et al., 2009; CARDOSO et al., 2015a; YANG et al., 2012).

A determinação da atividade antioxidante pelos métodos DPPH e ABTS, permite observar diferentes atividades oxidantes, pois o método de sequestro de radicais livres está baseado na habilidade dos antioxidantes da amostra se ligarem ao DPPH. No entanto, o ensaio não detecta agentes pró-oxidantes determinando apenas o poder redutor dos compostos analisados (BRAND-WILLIAMS et al., 1995;

ROESLER et al., 2007). Já o método ABTS a atividade antioxidante é baseada na geração do radical monocatión ABTS (ABTS•+), de cor azul esverdeada, formado pela reação de persulfato de potássio com 2,2-azino-bis(3-etilbezotiazolina)-6-ácido sulfônico (ABTS), produzindo a sua oxidação. A atividade antioxidante da amostra é determinada pela descoloração do ABTS•+, medindo-se a redução do radical (RE et al., 1999).

O teor de antocianinas também diferiu significativamente ($p \leq 0,05$) entre a variedade Local e as cultivares, sendo que as cultivares não apresentaram diferenças significativas. A variedade Local apresentou maior teor de antocianinas (0,05 mg de equivalente de luteolinidina/g), comparado com as cultivares (0,02 mg de equivalente de luteolinidina/g).

Estudos realizados por Oliveira et al. (2014) com 90 acessos de sorgo encontraram teores de antocianinas que variaram entre 0,04 e 0,8 mg de equivalente de luteolinidina/g. Resultados superiores, entre 1,0 a 11,0 mg de luteolinidina/g foram encontrados por Awika et al. (2004), que analisaram o teor de antocianinas totais em grãos e farelos de sorgo de pericarpo preto. De acordo com Dicko et al. (2005), a quantidade de compostos bioativos encontrada em grãos de sorgo pode variar de acordo com o genótipo, especialmente com a cor do grão; aqueles que possuem pericarpos em tonalidades mais escuras são os que apresentam teores mais elevados.

Em uma pesquisa usando sorgo branco cultivar IS 10972 e castanho IS3618 Kumari et al. (2021), encontraram teores de antocianinas totais de 0,22 e 0,30 mg equivalente de apigeninidina/g extraído pelo método de maceração e Soxhlet respectivamente, para cultivar de sorgo branca IS 10972, e encontrou teores mais elevados de antocianinas totais (0,75 e 0,93 mg equivalente de apigeninidina/g) para a cultivar castanha IS3618. Vale ressaltar que a coloração do pericarpo de sorgo influencia diretamente no teor de antocianinas e sabe-se também que fatores ambientais e práticas agronômicas também podem influenciar no resultado final (MENEZES et al., 2004).

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) no teor de fenólicos livres entre as cultivares, contudo estas diferiram-se da variedade Local. Os resultados variam de 42,04- 69,35 mg EAG/g sendo que a variedade Local e a cultivar Otela apresentam o menor e o maior valor. Almeida et al. (2021) encontraram valores de 68,35 –

177,44 mg EAG/100 g para as farinhas das cultivares BRS330 e SC319, respectivamente. No mesmo estudo, Almeida et al. (2021) encontraram valores de 41,07- 434 mg EAG/ g para farinhas das cultivares BRS330 e SC319 que passaram pelo tratamento de extrusão. As concentrações dos compostos fenólicos variam com o genótipo e com as condições de cultivo, sendo que os grãos de sorgo com coloração preta apresentam maiores teores de polifenóis, seguido pelo de coloração vermelha, bronze e amarela (DICKO, 2005; DICKO et al., 2006; QUEIROZ et al., 2009; CORREIA et al., 2011; PAIVA, 2014).

5.2 Caracterização do amido

Na Tabela 13 estão apresentados rendimento de extração, pureza e amilose dos amidos de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local. O rendimento de extração de amido variou significativamente entre as amostras de amido de sorgo, sendo que a cultivar Mucueva a que apresentou maior rendimento (43,5%). Segundo Thitisaksakul et al. (2012), uma das principais causas da redução do rendimento de grãos devido à seca é o menor teor de amido de grãos, a principal forma de armazenamento de carboidratos no sorgo.

Considerando que foram extraídos amidos de 3 cultivares no presente trabalho adaptadas a seca e cultivadas em sequeiro, espera-se que seu rendimento seja ótimo. As cultivares Mucueva e Tocolé apresentaram diferenças significativas entre si quanto ao rendimento de extração de amido, assim como também apresentaram diferença significativa com a variedade Local.

Práticas destinadas a aumentar a quantidade de amido produzida por hectare são necessárias devido ao aumento da população (Thitisaksakul et al., 2012) e são particularmente úteis em regiões que estão abaixo de ótimas condições ambientais. E considerando, como cerca de 70% (p/p) dos grãos de cereais consiste em amido (JUNG et al., 2008). As cultivares Tocolé e Mucueva são potencialmente úteis em programas de melhoramento de cultivares destinados a desenvolver sorgo mais produtivo adaptadas à região seca e semiseca. Essas cultivares podem contribuir para a segurança alimentar das pessoas que vivem nestas regiões secas de Moçambique.

Tabela 13. Rendimento de extração, pureza e teor de amilose de amido de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

Variedade /Cultivar	Rendimento de extração (%)	Pureza				Amilose (%)
		Proteínas (%)	Lipídios (%)	Cinzas (%)	Pureza (%)	
Local	33,08±0,49 c	1,91±0,12 a	0,29±0,03 ba	1,0±0,04 a	96,79±0,09c	37,26±0,25 a
Mucuvea	43,53±0,14 a	1,77±0,02 a	0,217±0,03 b	0,8±0,07 ba	97,20±0,06b	38,67±2,79 a
Otela	33,91±0,08 bc	1,40±0,03 b	0,233±0,01 b	0,77±0,08 ba	97,59±0,04a	36,02±2,61 a
Tocole	36,49±0,10 b	1,47±0,03 b	0,37±0,00a	0,62±0,07 b	97,52±0,07a	36,81±1,98 a
Cv	2,0	4,0	7,9	2,24	0,10	3,94

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A caracterização dos amidos de sorgo isolados, indicou alta pureza, em torno de 97% para todas cultivares estudadas, visto que os conteúdos de proteína, lipídeos e cinzas obtidos foram baixos. Contudo, houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre as cultivares Otela e Tocole em comparação à variedade Local nos teores de proteína. A cultivar Mucuvea e Otela diferenciam-se da variedade Local no parâmetro lipídeo, e para o parâmetro cinzas houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre a variedade Local e as cultivares.

A variedade Local apresentou maior teor de proteína e cinzas, sendo que a cultivar Tocole apresentou maior conteúdo de lipídeos. Um alto teor de lipídios residual pode afetar as propriedades de inchamento e gelatinização do amido (GOERING et al., 1975; THONGNGAM; CHANAPAMOKKHOT, 2007).

Estes resultados da pureza foram similares aos resultados encontrados por Vieira et al. (2020), em que as cultivares de sorgo apresentaram 1,27% de proteínas para cultivar BR-501; 0,40% de lipídios para a cultivar BRS-305 e 0,19% e 1,01% de cinzas para as cultivares BRS-305 e BRS-301, respectivamente.

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) nos teores de amilose entre as amostras de sorgo analisadas. Os valores variaram de 38,67 a 36,02%. Resultados inferiores foram encontrados por Beta et al. (2001) que estudaram 95 genótipos de sorgo, sendo que a porcentagem de amilose variou de 24 a 33%. Os teores de amilose foram superiores aos valores encontrados por Benmoussa et al. (2006), que estudaram três genótipos de sorgo (P721N) 22,4%; (IS6986) 19,2%; e (HPD #111) 20,2%.

Todas as cultivares e a variedade Local são de alta amilose, com características ideais de gelificação de alimentos resfriados e cozidos de amido, portanto as cultivares e a variedade Local não são ideais para aplicações que

requerem amido de baixa amilose, como por exemplo em recheio de tortas e pudins ou para aplicações que se requer alta palatabilidade. Outros cereais apresentaram teores de amilose inferiores, Wang et al. (2022) relataram resultados inferiores com 25% de amilose em amido de milho, com padrão de difração cristalino tipo A. Hu et al. (2021) relataram para 4 amidos de arroz japonês teor de amilose valores no intervalo de 17,65 % - 20,05 %, além disso relataram que o teor de amilose e o teor de proteína foram significativamente correlacionados negativamente com a palatabilidade. Delcour e Hosney (2010), relataram que para amidos normais, a amilose normalmente compõe 18-33% da porção de carboidrato. Além disso, relataram que no milho, sorgo, arroz, cevada e trigo, mutantes que possuem amidos com essencialmente 100% de amilopectina foram descobertos, esses amidos são chamados de “amidos cerosos”. Mutantes que têm amidos com níveis anormalmente altos de amilose também são conhecidos, certas linhas de milho têm amido contendo 70% de amilose, esses cereais são conhecidos como “amilótipos” (DELCOUR; HOSENEY, 2010).

5.2.1 Propriedades de pasta

Na Tabela 14 estão apresentados os resultados de propriedades de pasta dos amidos de diferentes cultivares de sorgo e a variedade Local. Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) no comportamento viscoamilográfico dos amidos da variedade Local e as cultivares, exceto a viscosidade mínima e a retrogradação que não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) para todas amostras.

A variedade Local apresentou o maior pico de viscosidade e quebra de viscosidade. Em contraste, as cultivares apresentaram menores valores de pico de viscosidade, quebra de viscosidade e maior retrogradação. A temperatura final e o tempo de pico diferiram significativamente da variedade Local para as cultivares.

Considerando que a variedade Local possui o maior valor de transmitância e a cultivar Otela e Mucueva possuem a menores valores, o comportamento viscoamilográfico pode estar associado diretamente as propriedades da pasta, embora não foram encontradas diferenças significativas entre a variedade Local e as cultivares no parâmetro amilose, solubilidade e poder de inchamento. Esta diferença pode indicar aplicações diferentes pois, a interação entre as moléculas de amilose e/ou entre amilopectina (Jacobs et al., 1998), aumento da força de ligação

intramolecular e da resistência do grânulo (Jacobs et al., 1995) a formação do complexo amilose-lipídio (Waduge et al., 2006) estão associadas diferenças no comportamento viscoamilográfico.

Tabela 14. Propriedades de pasta de amido de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

Variedade/ Cultivar	Pico de viscosidade (RVU)	Viscosidade. mínima (RVU)	Quebra de viscosidade (RVU)	Viscosidade final (RVU)	Retrogradação (RVU)	Tempo de pico (min)	Temperatura de pasta (°C)
Local	343,25±0,92 a	161,00±1,67 a	182,25±0,75 a	257,00±1,00 b	96,00±0,67 a	4,13±0,00 b	73,40±0,05 b
Mucuvea	263,13±2,55 bc	171,33±1,75 a	91,79±0,79 b	282,25±3,58 a	110,92±1,84 a	4,70±0,03 a	75,90±0,00 a
Otela	255,79±2,96 c	156,96±6,88 a	98,84±3,92 b	263,96±1,46 b	107,02±5,44 a	4,77±0,03 a	75,95±0,05 a
Tocole	279,54±4,71 b	173,00±2,50 a	106,54±7,21 b	285,54±1,29 a	112,54±3,79 a	4,74±0,06 a	75,48±0,48 a
CV	1,53	3,29	4,88	1,09	4,58	1,23	0,45

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

5.2.2 Poder de inchamento, solubilidade e transmitância

O poder de inchamento e solubilidade dos amidos extraídos das diferentes cultivares e da variedade Local de sorgo estão apresentados nas Figuras 7 e 8. O poder de inchamento da cultivar Otela foi significativamente maior ao verificado para a cultivar Mucuvea e Tocolé, assim como para a variedade Local, embora não foram verificadas diferenças significativas na amilose no estudo, Soares (2003) relatou que o amido com alto teor de amilose não incha tanto quanto os que possuem menor quantidade, isto porque a amilopectina é a fração responsável pelo inchamento, sendo a amilose o fator diluente.

Em relação a solubilidade, não foi verificada diferenças significativas entre as amostras (Figura 8). Com a elevação da temperatura, ocorre a vibração mais intensa das moléculas e o rompimento das ligações intermoleculares, o que permite a formação de pontes de hidrogênio com a água e, conseqüentemente, o inchamento dos grânulos e a solubilização dos componentes do amido (ELIASSON; GUDMUNDSSON, 2006; HOOVER, 2001). Adebowale et al. (2005) encontraram valores similares para solubilidade de amido de sorgo vermelho (3,03%), já os valores encontrados para solubilidade foram de 9,93%.

Resultados similares também foram encontrados por Singh et al. (2010), que estudaram cultivares de sorgo com alto teor de amilose, tendo encontrado para cultivar CSV-216 (26,0% de amilose), solubilidade de 5,0% e poder de inchamento de 12,2 g/g e para cultivar SPV-839 (25,9% amilose), 13,0% de solubilidade e 7,0 g/g de poder de inchamento. Os amidos de sorgo investigados neste estudo tanto das cultivares quanto a variedade Local possuem alto teor de amilose (maior que 36%), este alto teor de amilose pode ter influenciado na obtenção de baixos valores de poder de inchamento e solubilidade. Como há uma grande correlação entre o teor de amilose e a temperatura de gelatinização, é possível que a temperatura de 90 °C não tenha sido suficiente para completa gelatinização dos grânulos. Ademais, genética e fatores ambientais, bem como o procedimento de isolamento do amido podem ser atribuídos as diferenças no poder de inchamento e solubilidade do sorgo amidos (SINGH et al., 2010).

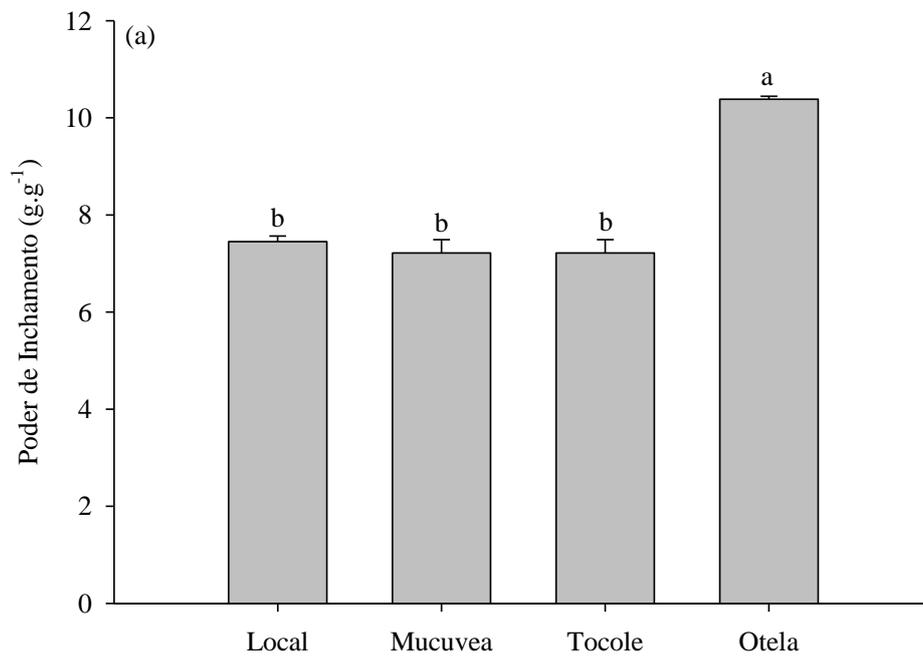


Figura 7. Poder de inchamento de amido de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

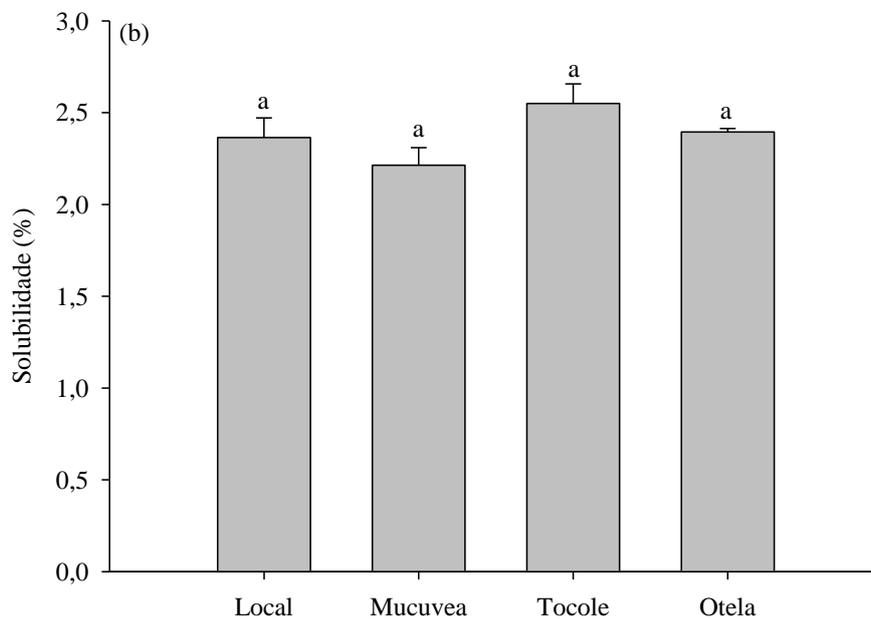


Figura 8. Solubilidade de amido de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

A transmitância dos géis de amido de diferentes amostras foi analisada por 6 dias, e está apresentada na Figura 9. O percentual de transmitância apresentou redução progressiva durante o armazenamento. A variedade Local e cultivar

Mucuvea, foram as que apresentaram maior e menor valores, respectivamente. Waterschoot et al., (2015) revelaram que a amilose e a amilopectina têm diferentes tendências para formar cristais, e como resultado de diferentes pesos moleculares e complexos de amilose-lipídios em amostras de amido.

Considerando o armazenamento a 4 °C durante os dias de medição, é possível observar que houve um decréscimo progressivo da claridade da pasta em função do tempo (Figura 9), fato que pode estar associado a efeitos da gelatinização e retrogradação do amido de sorgo, previamente aquecido e resfriado. Resultados similares foram descritos por Zhou et al. (2014), à medida que o tempo de armazenamento refrigerado aumentou de 0 para 120 h, os valores de transmitância das suspensões de amido de todas as amostras diminuíram progressivamente, isso pode ser devido à agregação de moléculas de amido durante o armazenamento a 4° C. Outros autores como Ehtiati et al. (2017) também estudaram a transparência de géis de amido de sorgo de 4 cultivares durante 5 dias de armazenamento, e reportaram valores mais elevados do que os obtidos neste estudo (19,76 - 20,66%).

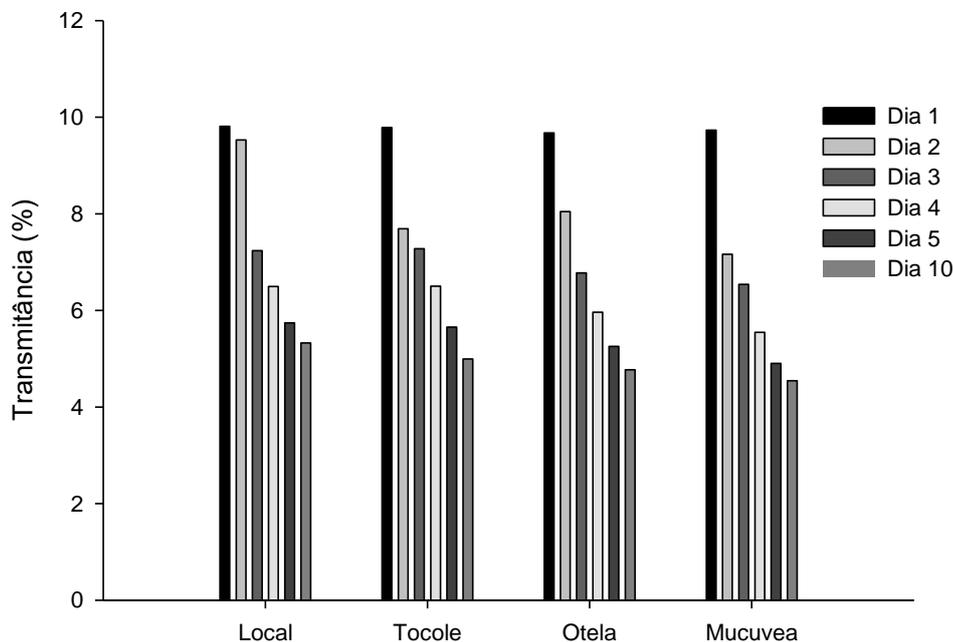


Figura 9. Transmitância de amido de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local em função do tempo de armazenamento refrigerado.... (completar informações para que fique auto-explicativa)

5.2.3 Calorimetria Diferencial De Varredura (DSC)

As propriedades térmicas dos amidos de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local estão apresentados na Figura 9 e na Tabela 15.

Tabela 15. Propriedades térmicas de amido de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

Variedade/Cultivar	To (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	ΔT (°C)	ΔH (J/g)
Local	60,80	64,83	71,60	10,8	1,45
Mucuvea	70,57	74,12	80,37	9,8	6,55
Otela	69,86	74,50	76,58	6,72	2,19
Tocole	69,61	73,43	78,34	8,73	5,87

Em que: To - temperaturas de início de gelatinização, Tp - temperaturas de pico de gelatinização, Tf - temperaturas de conclusão de gelatinização, ΔT - variação de temperatura de gelatinização, ΔH – entalpia de gelatinização.

Os eventos de temperaturas de início, pico e conclusão da gelatinização ocorreram em menores temperaturas para variedade Local, indicando que a temperatura de gelatinização desta variedade é inferior à das cultivares, sendo assim, que é necessário menor gasto energético para gelatinização destes grânulos, e além disso a variedade Local apresentou menor variação de entalpia confirmando a facilidade e menor gasto energético para gelatinizar seu amido. A temperatura de início e de pico do amido das cultivares foi próximo ao relatado por Ali e Hasnain (2012), a To e Tp do amido de sorgo branco nativo foi de 68,60 °C e 71,49 °C, respectivamente. Resultados similares para a cultivares também foram estudadas por Santos et al. (2020), que reportaram para cultivar BRS 308, as temperaturas de gelatinização de To 67,17 °C, Tp 74,58 °C e Tf 83,97 °C. Os valores de To, Tp e Tf encontrados para as cultivares foram similares, entretanto, pode-se verificar grandes diferenças nos valores de ΔT e ΔH , o que indica que pode haver diferenças na conformação e organização dos grânulos de amido das diferentes cultivares.

5.2.4 Cristalinidade relativa (DRX)

Na Figura 10 estão apresentados os difratogramas de Raios-X e a cristalinidade relativa (CR) dos amidos de sorgo de diferentes cultivares e variedade Local. Os difratogramas apresentaram os mesmos perfis entre as amostras

estudadas. Os amidos de sorgo da variedade Local e cultivares apresentaram um padrão de difração do tipo A, típico de amidos de cereais. Os picos para variedade Local e as cultivares apareceram nos ângulos de difração 15°, 17°, 18° e 23°, e os valores de CR variaram de 33,8% a 34,8%. Os altos valores de cristalinidade relativa encontrados no presente estudo mostram que, estes amidos podem ser amplamente utilizados em diversas indústrias como espessante, estabilizador colóide e agente gelificante. Shaikh et al. (2019) relataram resultados semelhantes, o amido de sorgo exibiu o padrão de difração característico do tipo A com picos principais no ângulo de difração $2\theta = 15^\circ, 17^\circ, 18^\circ$ e 23° . A modificação com ácido láctico e cítrico, juntamente com tratamentos de calor e umidade, diminuiu a intensidade de difração dos amidos, enquanto o padrão cristalino permanece inalterado (SHAIKH et al., 2019). Resultados superiores de cristalinidade relativa dos amidos de diferentes cultivares *D. opposita* Thunb encontrados por Shujun et al. (2008) variaram de 34,3% a 43,1% e o teor de amilose de amidos estavam na faixa de 19,38 - 22,02% sendo que o padrão típico de difração de raios-X foi tipo-C, diferente do padrão típico de difração encontrado no nosso estudo. Resultados inferiores de pico foram encontrados por Boudries et al. (2009) para os amidos de sorgo branco e pigmentado, sendo que os valores de CR foram de 22,72% e 28,91%, respectivamente. O grau de cristalinidade é relatado como um dos vários fatores que determinam a digestibilidade de amido em animais (BENMOUSSA et al., 2006) *apud* (BOUDRIES et al., (2009).

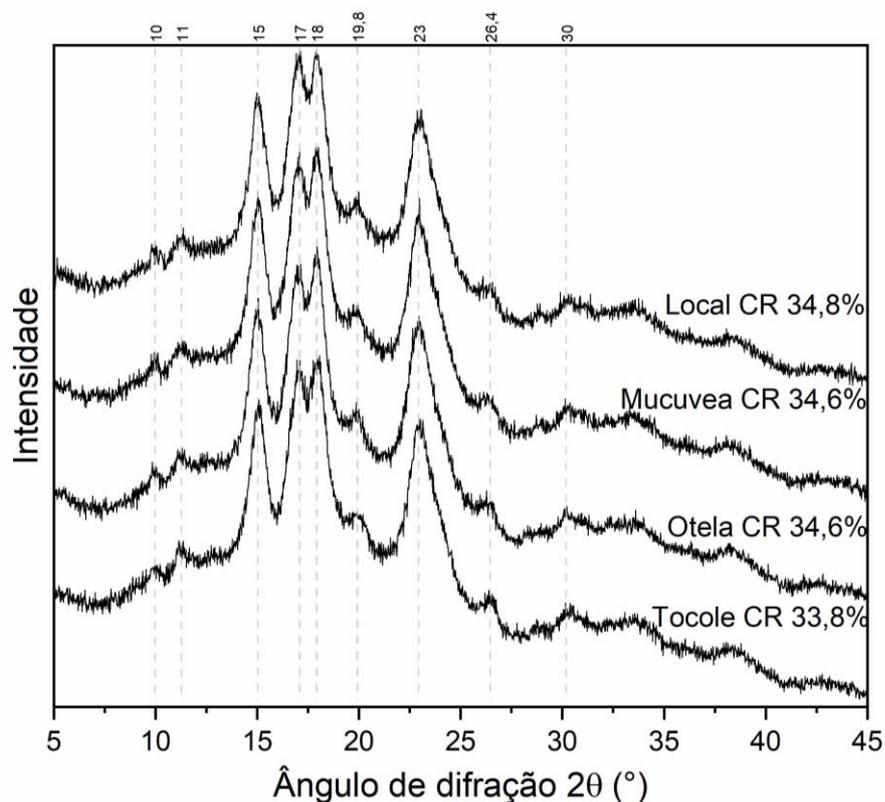


Figura 10. Difratomogramas de raio X de amido de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local.

Geralmente diferenças na cristalinidade relativa entre amidos podem ser atribuídas a: (1) tamanho do cristal, (2) quantidade de regiões cristalinas (influenciadas pelo conteúdo da amilopectina e comprimento da cadeia de amilopectina), (3) orientação das duplas hélices dentro dos domínios cristalinos, e (4) extensão da interação entre hélices duplas (HOOVER; RATNAYAKE, 2002).

5.2.5 Digestibilidade *in vitro* do amido isolado de grãos de sorgo, cinética de hidrólise do amido, índice glicêmico, amido rapidamente digerível (ARD), amido lentamente digerível (ALD) e amido resistente (AR)

Na Figura 11 está apresentada a digestibilidade do amido isolado de sorgo de diferentes cultivares e da variedade Local. Durante a simulação da fase gástrica não houve liberação de glicose devido à falta de enzimas amilases no estômago. No intestino delgado verificou-se imediata liberação de glicose, sendo verificado neste início (I0) maior liberação de glicose da variedade Local e cultivar Tocolé seguidos das cultivares Otela e Mucueva. Ao decorrer do processo de digestão verificou-se que a cultivar Otela apresentou a taxa mais lenta de liberação de glicose durante os

10 e 60 min de digestão no intestino delgado (I10 ao I60), podendo esta cultivar ser empregada em casos nos quais se quer uma liberação mais lenta, e maior sensação de saciedade após o consumo, conforme recomendado a indivíduos que são portadores de diabetes, pessoas com resistência à insulina, manutenção do peso, indivíduos que procuram dietas *low carb* e todas aplicações que requerem emprego de controle de índice glicêmico. Por outro lado, ao final dos 120 min de digestão (I120) a cultivar otela apresentou cinética de digestão similar às demais cultivares.

A cultivar Tocale foi a que apresentou maior taxa de hidrólise de amido durante a digestão simulada, podendo este amido ser indicado para preparações na qual se requer elevada e rápida liberação de energia, como alimentos para atletas e praticantes de atividade física com a finalidade de melhorar o desempenho físico. A elevada liberação de hidrólise pode favorecer a contração muscular durante o exercício, principalmente ao exercício prolongado realizado sob intensidade moderada e em exercícios de alta intensidade e curta duração.

No final dos 120 min de digestão simulada no intestino delgado houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) na hidrólise dos amidos para as cultivares de sorgo Mucuvea e Tocale, os valores do final da digestibilidade variaram de 85,05 a 92,34% (Tabela 16). Resultados similares foram reportados por Saravanabavan et al. (2013), que encontraram valores de 74 - 80% em três cultivar de sorgo após o processo de expansão. A variedade Local e cultivar Mucuvea tiveram numericamente o menor percentual de hidrólise ao final dos 120 min de digestão, o que pode estar relacionado aos seus altos teores de amilose e amido resistente. O amido que possui alto teor de amilose geralmente retrograda a uma taxa mais elevada, e favorece a obtenção de produtos menos digeríveis (VORAGEN, 1998). Além disso, fatores como teor de proteínas bruta e proteínas solúveis em SDS%, peso volumétrico, peso hectolitro, e grau de hidratação dos grânulos de amido, pode ter contribuído para a redução da digestibilidade da variedade Local, pois as enzimas amilolíticas tiveram menos acesso a esses grânulos, principalmente na fase final da digestibilidade. Diferentes tipos de amidos exibem diferentes densidades granulares que afetam a facilidade com que estes grânulos absorvem água (BULEON et al., 1998)

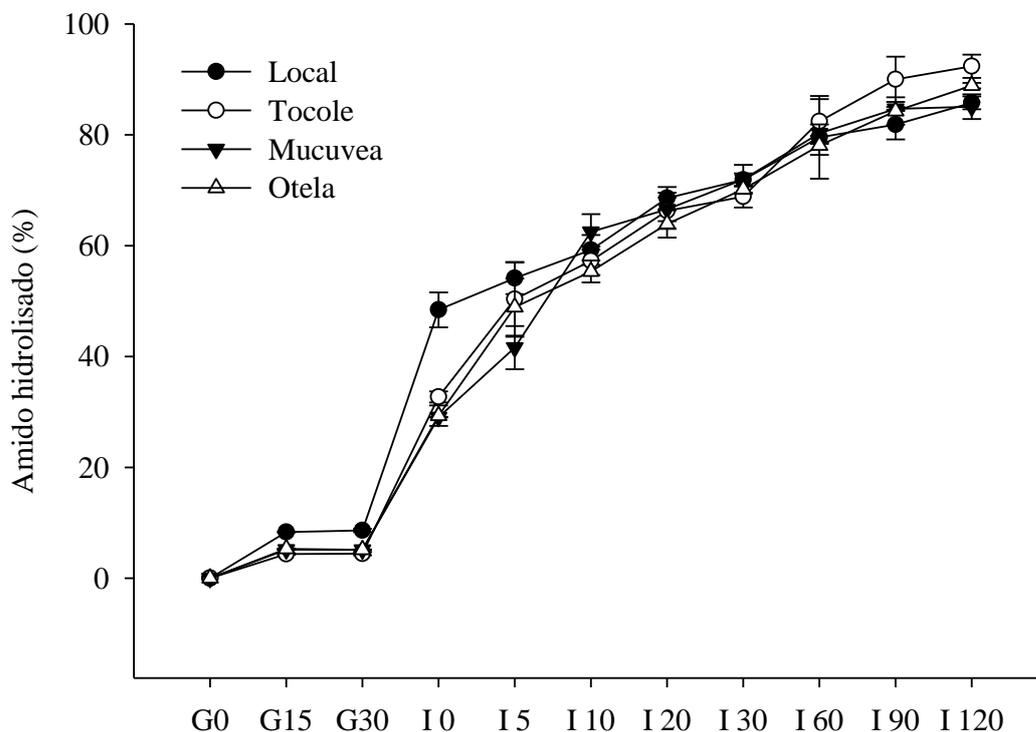


Figura 11. Digestibilidade *in vitro* de amido de sorgo isolado de diferentes cultivares de sorgo e da variedade Local.

G – indica a fase gástrica da hidrólise de amido, I – indica a fase intestinal de hidrólise de amido.

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) no índice glicêmico para todas as amostras estudadas, sendo que o valor de índice glicêmico variou de 80,77 % a 82,86 % (Tabela 16), sendo todos os amidos classificados como de alto índice glicêmico. Os valores encontrados estão dentro dos padrões encontrados na literatura. Saravanabavan et al. (2013) reportaram valores de índice glicêmico de amido de sorgo da cultivar Maldandi de 87 % e sorgo vermelho de 85 %.

Na Tabela 16 estão apresentados a digestibilidade *in vitro* do amido aos 120 min de digestão, índice glicêmico estimado, amido rapidamente digerível, amido lentamente digerível e amido resistente de amido de sorgo isolado de diferentes cultivares e da variedade Local.

Tabela 16. Digestibilidade *in vitro* do amido aos 120 min de digestão, índice glicêmico estimado, amido rapidamente digerível, amido lentamente digerível e amido resistente de amido de sorgo isolado de diferentes cultivares e da variedade Local

Variedade /Cultivar	Digestibilidade <i>in vitro</i> aos 120 min (%)	Índice glicêmico estimado (IGe)	Amido rapidamente digerível	Amido lentamente digerível	Amido resistente
Local	85,74±0,82 b	82,82±0,51 a	22,80±0,52 b	19,45±1,21 c	57,73± 0,70 a
Mucuvea	85,05±0,58 b	80,77±0,98 a	37,07±0,38 a	21,85±0,80 bc	41,07±0,42 b
Otela	88,86±0,35 ab	82,51±0,26 a	34,89±0,32 a	27,51±0,37 a	37,59±0,69 b
Tocole	92,34±1,48 a	82,86±1,03 a	36,81±0,89 a	25,79±0,23 ab	37,39±1,13 b
CV	1,88	1,02	2,46	4,53	2,52

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Em relação às frações de amido, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as cultivares para o amido resistente, mas estas diferiram-se significativamente ($p \leq 0,05$) da variedade Local. O tempo e a temperatura utilizadas provavelmente foram insuficientes para que ocorresse a completa gelatinização do amido, o que pode ter dificultado o acesso das enzimas e, conseqüentemente, favoreceu o alto teor de amido resistente.

Os conteúdos de amido resistente variaram de (37,39 - 57,73%), amido lentamente digerível (19,45 - 27,51) e amido rapidamente digerível (22,80-37,07%) para as cultivares estudadas. Entretanto, houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre a variedade local e as cultivares para o amido rapidamente digerível.

Resultados similares foram encontrados por Teixeira et al. (2016), em cultivares de sorgo SC319 e SC 59, que apresentaram conteúdo de amido resistente de 31,30 g/100 g e 65,65 g/100 g respectivamente, sendo esta última similar a variedade Local. Shaikh et al. (2019) encontraram valores similares nas frações de amido de sorgo nativo, tendo o amido resistente 68,81%, amido rapidamente digerível 14,93%, amido lentamente digerível 16,67%. A variedade Local apresentou maior valor de amido resistente, contudo, considerando o alto valor de índice glicêmico e alta digestibilidade não pode ser indicada a indivíduos diabéticos, como sugere (JENKINS et al., 2008; HENDRICH, 2010), o alto teor de amido resistente tem aplicações ideais como na elaboração de produtos para indivíduos com diabetes e pré-diabetes e para combater obesidade humana.

O amido resistente tem efeitos fisiológicos parecidos com os das fibras, sendo frequentemente considerado como fibra alimentar. O amido resistente não é digerido no intestino delgado, por isso é utilizado como substrato para fermentação de bactérias anaeróbicas no cólon. É conhecido como alimento prebiótico, sendo responsável pelo baixo índice glicêmico, aumento da saciedade, prevenção do câncer de cólon, redução da glicemia pós-prandial e diminuição dos níveis de LDL e de triglicerídeos (DICKO, 2005; DICKO et al., 2006; PEREIRA, 2007; QUEIROZ et al., 2009; CORREIA et al., 2011; PAIVA, 2014).

Alguns métodos podem aumentar o conteúdo de amido resistente e diminuir o conteúdo de amido lentamente e rapidamente digerível. Por exemplo, Shaikh et al. (2019) aumentou o teor de amido resistente de 68,8% a 85,2% e 87,9% empregando tratamento térmico com associação de ácido cítrico e ácido láctico, respectivamente, tendo em contrapartida o mesmo tratamento diminuído o teor de amido lentamente digerível de 16,67% do sorgo nativo para 9,34% e 4,07% e também diminuiu o teor de amido rapidamente digerível de 14,93% do sorgo nativo para 5,47% e 8,01% respectivamente.

Na África e especialmente em Moçambique, o sorgo é consumido na forma de polenta de forma isolada ou como mingau com acompanhante. Estas duas formas de consumo baseiam-se no cozimento com água, sem emprego de tratamentos químico/físico ou métodos que visam aumentar ou diminuir o conteúdo de nutrientes. Considerando os altos teores de amido resistente, bom aporte proteico e energético, baixo nível de fatores antinutricionais pode-se afirmar que o consumo de sorgo proporcionará uma dieta rica em nutrientes, com boa digestibilidade de amido e benefícios funcionais a saúde. Além disso, estas cultivares são promissoras para uso industrial com várias aplicações para alterar ou controlar a textura, consistência, estabilidade e propriedades tecnológicas de vários produtos alimentícios.

5.2.6 Microscopia eletrônica de varredura

Todas as amostras de sorgo apresentaram morfologia com alta proporção de grânulos angulares e poliédricos, assim como alguns grânulos arredondados (Figura 12). Não foram encontradas diferenças de relevância notável entre as cultivares e variedade Local que justificasse alguma modificação resultante do processo de melhoramento. Contudo em todas as amostras, foi notável a presença de proteína

residual e aderida as partículas de amido na forma de pequena bolinha esférica esbranquiçada e de poros na superfície de amido. Fannon et al. (1993) sugeriram que esses poros nos amidos de sorgo e de milho são resultantes de aberturas para canais que dão acesso ao interior do grânulo.

Resultados similares foram encontrados por Htet et al. (2022), que referiram que os grânulos de amido de cultivares de sorgo Jinza 34, Jinnuo 3, Jiza 127, Jiniang 2 e Jiaxian eram intermitentemente poligonais nos cantos. Cruz et al. (2015) também observaram que os amidos de sorgo mostraram a presença de grânulos poliédricos e esféricos assim como Singh et al. (2010), que relataram que as micrografias eletrônicas de varredura mostraram a presença de irregular-poliédrico, bem como grânulos esféricos.

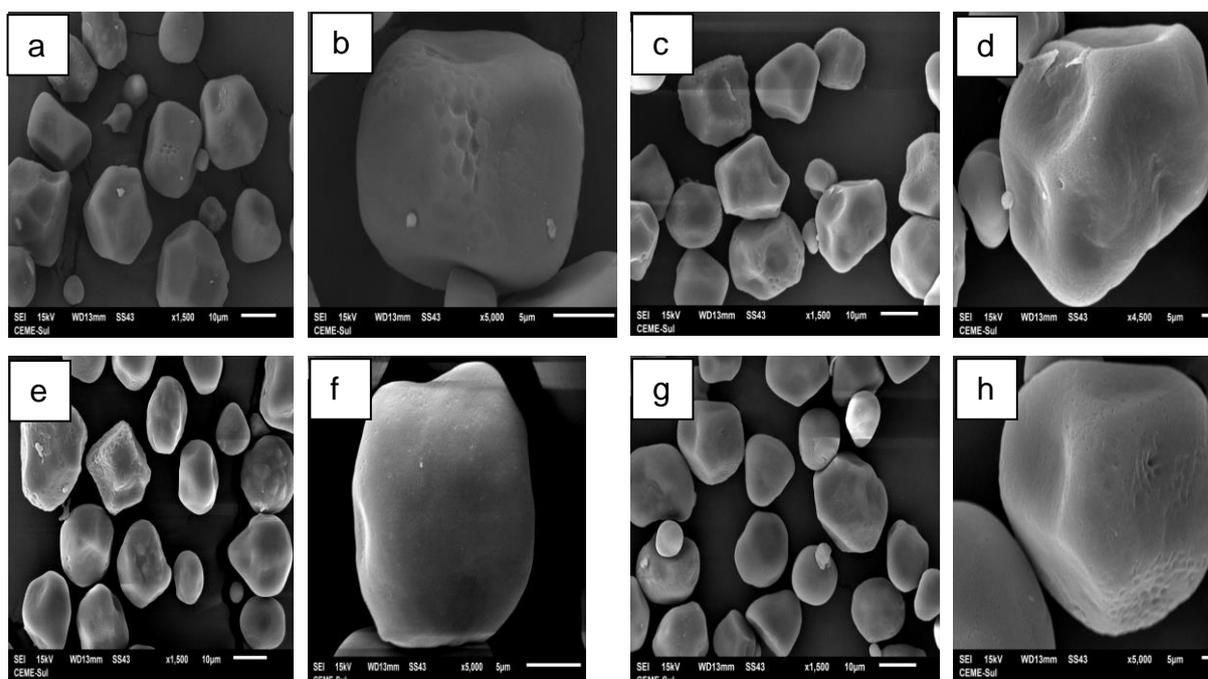


Figura 12. MEV de grânulos de amido de sorgo (a, b) variedade Local, (c, d) cultivar Mucuvea, (e, f) cultivar Otela e (g, h) cultivar Tocale, (1500 e 5000x, respectivamente).

Além de várias formas que os grânulos apresentaram, também foi possível verificar estruturas de favo de mel na superfície de alguns grânulos, o que provavelmente pode ser causado pela erosão por imersão alcalina no processo de isolamento de amido (WANG, 2012; YANG, 2019).

5.2.7 Elipses de confiança, análise de componentes principais e correlação de Pearson

O gráfico de elipse de confiança mostra que os resultados dos parâmetros avaliados no estudo indicam maior confiança ou semelhança entre as cultivares Otela e Tocale (Figura 13) em que as elipses de confiança estão no mesmo quadrante superior direito. Este resultado é confirmado pela análise de componentes principais (Figura 14), pois as análises que se encontram no quadrante direito da ACP (carboidratos, pureza do amido, poder de inchamento, solubilidade) foram as que contribuíram para que houvesse semelhança entre estas duas cultivares. De outro lado, os resultados da variedade Local se discriminaram das cultivares (Otela, Tocale e Mucuvea), pois seus resultados não foram semelhantes por isso ela se encontra no canto superior esquerdo, os principais resultados que contribuíram para esta diferença foram o índice glicêmico da farinha, peso de mil grãos, caloria total, taninos, parâmetro L^* , a^* e b^* do grão.

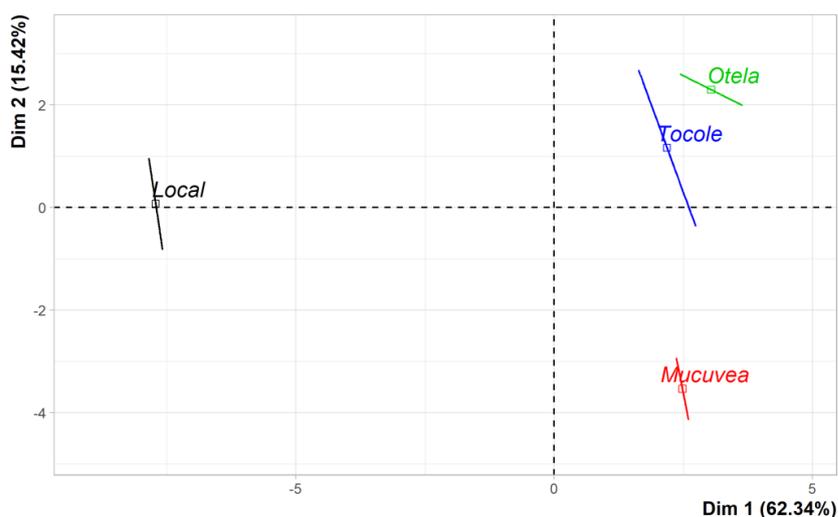


Figura 13. Elipses de confiança de amostras de sorgo.

As elipses de confiança revelaram o potencial das cultivares, sobretudo por revelar as diferenças de parâmetros entre estas e a variedade Local.

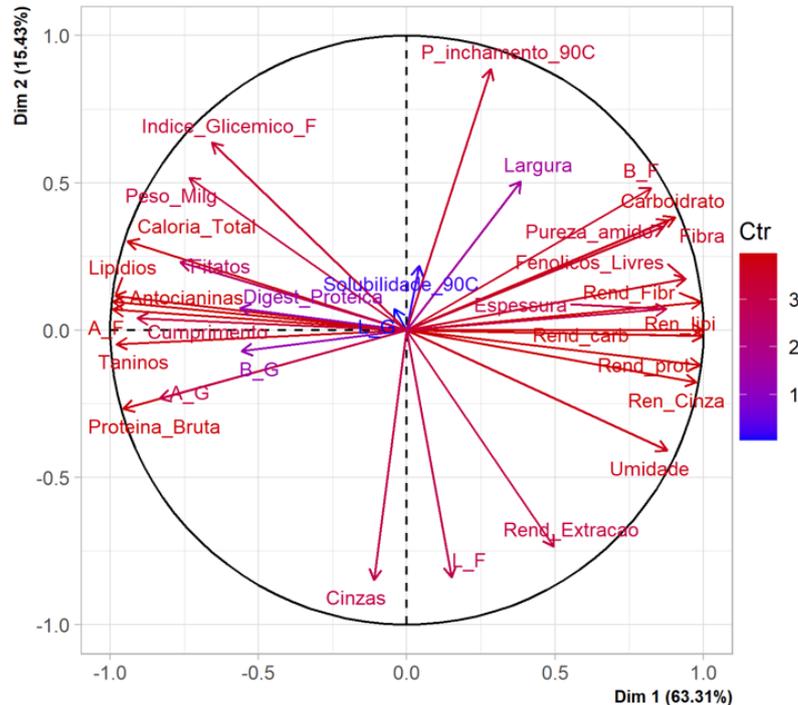


Figura 14. Análises de componentes principais.

P_I - poder de inchamento amido; Rend_extracção – rendimento de extração de amido; Rend_prot – rendimento de proteína; Rend_cinza – rendimento de cinzas; Rend_carb – rendimento de carboidrato; Rend_fibra – rendimento de fibras; A_G – parâmetro A cor de grão; A_F – parâmetro A cor de farinha; L_F – parâmetro L cor de farinha; B_G – parâmetro B cor de grão; B_F – parâmetro B cor de farinha; L_G – parâmetro L cor de grão.

A ACP mostrou que os vetores de coloração mais azul e setas mais curtas contribuíram menos para explicar os resultados do estudo e os vetores mais vermelhos e longo são os que mais contribuíram para explicar os resultados, por exemplo peso de mil grãos no quadrante esquerdo superior. E na dimensão 1 encontramos os resultados que contribuíram com 62,34% para explicar o estudo e na dimensão 2 temos 15,42% dos resultados que contribuíram para o estudo, somando as duas encontramos 77,76% o que mostram uma boa confiança para as conclusões da pesquisa.

De forma detalhada, as análises com vetores mais compridos tiveram maior influência nos resultados como por exemplo proteína bruta, umidade, fenólicos livres, caloria total, taninos, e os vetores curtos tiveram menos influência nos resultados como por exemplo as cinzas, parâmetro L e b* do grão e a solubilidade.

Os vetores em posições opostas foram as que tiveram correlação forte negativa por exemplo lipídios e rendimento de carboidratos. E quando os vetores

estão apontados para mesma posição tiveram correlação forte positiva como por exemplo, fenólicos livres com o teor de fibras. E esta correlação é também demonstrada pelos valores de correlação de Pearson (Figura 15).

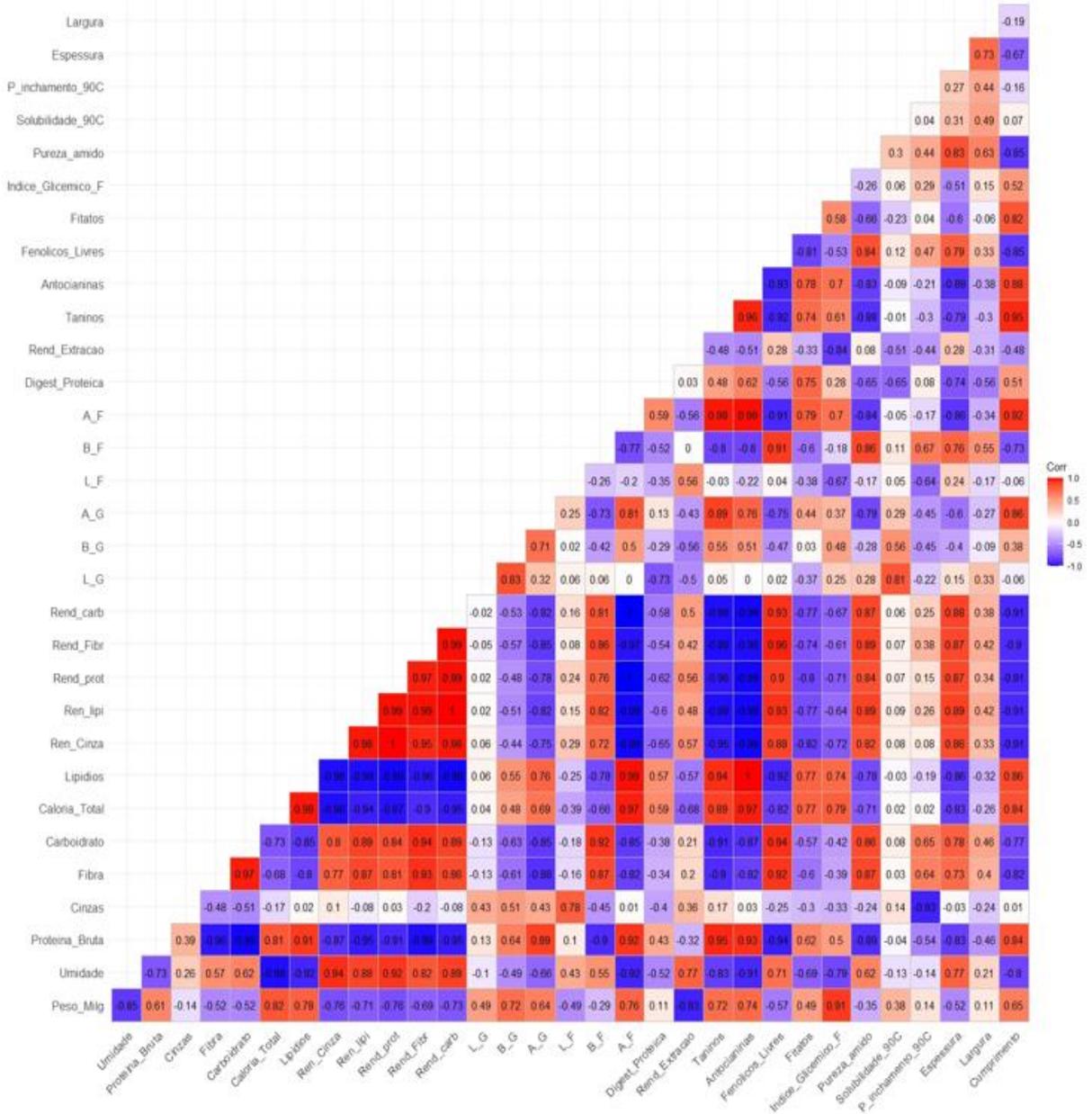


Figura 15. Correlação de Pearson.

A Figura 15 apresenta a correlação de todas as análises. Os resultados com coloração muito azul, indica uma correlação forte negativa, ou seja, quanto menor o resultado de uma análise, maior o resultado da outra análise. Por exemplo, o rendimento de extração de amido e o peso de mil grãos tiveram uma correlação

negativa, a proteína bruta teve uma correlação negativa com fenólicos livres e o rendimento de fibras por hectare revelando que estes resultados foram inversamente proporcionais ao conteúdo de proteína bruta.

Do outro lado, a maior tonalidade de cor vermelha indica uma correlação muito forte positiva, ou seja, quanto maior o resultado de uma análise maior a de outra. Por exemplo, caloria total com peso de mil grãos, lipídeos e proteína bruta tiveram correlação positiva. Os taninos tiveram correlação positiva com o parâmetro a^* do grão e da farinha. Os fenólicos livres tiveram correlação positiva com o teor de fibras.

6. Conclusões

A caracterização dos grãos de sorgo de diferentes amostras mostrou similaridade entre as cultivares, especialmente a Otela e Tocolé.

Os conteúdos de proteína bruta, lipídios, antocianinas, peso mil grãos, peso hectolitro, índice glicêmico da farinha, proteína solúvel, digestibilidade da proteína, foram inferiores nas cultivares, e em contraste, estas mostraram valores maiores para o conteúdo de carboidrato, cinzas, fibras, fenólicos livres, flavonóides, amido resistente e atividade antioxidante. Além disso, as cultivares apresentaram menores teores de compostos antinutricionais (tanino) e maior rendimento por hectare, sendo indicadas para utilização humana e animal.

O rendimento de extração de amido de sorgo, bem como as características físicas e químicas variaram entre as cultivares, assim como em relação a variedade Local. Sendo que as cultivares apresentaram maior teor de amido rapidamente digerível e semelhante propriedades tecnológicas do amido, como grânulos poliédricos e esféricos. As cultivares requerem maior emprego de energia para gelatinização do amido na indústria. As cultivares podem ser empregadas para aumentar a consistência em aplicações que requerem menor viscosidade na indústria de alimentos e a Local teve valor maior de pico de viscosidade, indicando a possibilidade de ser usada como espessante.

Este estudo, irá contribuir para a divulgação de informações sobre propriedades químicas, físicas, tecnológicas do sorgo. Especialmente as cultivares, pois além do alto rendimento por hectare também são ricas nutricionalmente.

Ainda, os resultados irão contribuir para reforçar o intercâmbio de pesquisa, produção e fabrico de novos produtos na África, especialmente nos países produtores de sorgo e nos países onde o interesse pelo consumo de sorgo vem crescendo. A nível mundial, para a indústria alimentícia, estes resultados irão despertar o interesse pelas cultivares e variedade estudadas.

Referências Bibliográficas

ABDEL-AAL, E.S.M.; HUCL, P. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. **Cereal Chemistry**, v.76, p.350–354p, 1999. DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/cchem.1999.76.3.350>

AFIFY, A.E.-M.M.R.; EL-BELTAGI, H.S.; EL-SALAM, S.H.; ABD EL-SALAM.S.M.; OMRAN, A.A. Bioavailability of iron, zinc, phytate and phytase activity during soaking and germination of white sorghum varieties. **Plos One**, v. 6, p.1-7, 2011.

AGRICULTURA NUTRICIONALMENTE INTELIGENTE EM MOÇAMBIQUE. 1. ed. 2020. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/119011597121563943/pdf/Nutritio-Smart-Agriculture-in-Mozambique.pdf>. Acesso 20-10-2021.

ALFIERI, M.; BALCONI, C.; CABASSI, G.; HABYARIMANA, E.; REDAELLI, R. Antioxidant activity in a set of sorghum landraces and breeding lines. **Maydica electronic publication**, v.62, p.1-7, 2017.

ALI, T. M.; HASNAIN, A. Thermal characterization of native and modified white sorghum (*Sorghum Bicolor*) starch. **International Journal of Polymer Analysis and Characterization**, v.17, p.227–234, 2012. DOI:10.1080/1023666x.2012.644400.

ALMEIDA, C.T.S.; MAMERI, H.; MENEZES, N.S.; CARVALHO, C.W.P.; QUEIROZ, V.A.V.; CAMERON, L.C.; MOREL, M-H.; TAKEITI, C.Y.; FERREIRA, M.S.L. Effect of extrusion and turmeric addition on phenolic compounds and kafirin properties in tannin and tannin-free sorghum. **Food Research International**, v.149, p.1-13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110663>.

ALVARENGA, M.C.V. **Consumo e digestibilidade aparente de silagens de sorgo (*Sorghum vulgare Pers*) em três momentos de corte e dois tamanhos de partículas, em carneiros**. 1994. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 1994.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods of the AACC**. 9. ed. St Paul, MN, 1995.

ANUNCIAÇÃO, P.C.; CARDOSO, L. DE M.; QUEIROZ, V.A.V.; DE MENEZES, C.B.; DE CARVALHO, C.W.P.; PINHEIRO-SANT'ANA, H.M.; ALFENAS, R. DE C.G. Consumption of a drink containing extruded sorghum reduces glycaemic response of the subsequent meal. **European Journal of Nutrition**, v.57, p.251-257, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00394-016-1314-x>.

ARENDR, E.K.; ZANNINI, E. Sorghum: cereal grains for the food and beverage industries. **Woodhead Publishing**, p.283–311, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1533/9780857098924.283>.

ASQUITH, T.N.; IZUNO, C.C.; BUTLER, L.G. Characterization of the condensed tannin (proanthocyanidin) from a group II sorghum. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.31, p.1299-1303, 1983.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Métodos oficiais de análise da AOAC internacional**. Gaithersburg, Mary Land, AOAC544 Internacional, 18ª. Ed, 2005.

AWIKA, J. M. **Antioxidant properties of sorghum**. 2003. Thesis (Doctorate), Texas A&M University, Texas. 2003.

AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, p.1199-1221, 2004.

AWIKA, J. M.; YANG, L.; BROWNING, J. D.; FARAJ, A. Comparative antioxidant, antiproliferative and enzyme inducing potential of sorghum. **Food Science and Technology**, v.46, p.1041–1046 2009.

AWIKA, J.M.; ROONEY, L.W.; WANISKA, R.D. Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties. **Food Chemistry**, v.90, n.1-2, p.293-301, 2005.

BARCELOS, C.A. **Aproveitamento das frações sacarínea, amilácea e lignocelulósica do sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para a Produção de Bioetanol**. 2012. Tese (Doutorado). Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

BARROS, F., AWIKA, J. M., & ROONEY, L. W. Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on in vitro starch digestibility. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.60, p.11609–11617, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf3034539>.

BELLO-PEREZ, L. A.; FLORES-SILVA, P. C.; AGAMA-ACEVEDO, E.; TOVAR, J. Starch digestibility: Past, present, and future. In **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.100, p.5009–5016, 2020. DOI:<https://doi.org/10.1002/jsfa.8955>.

BELTON, P.S.; DELGADILLO, I.; HALFORD, N.G.; SHEWRY, P.R. Kafirin structure and functionality. **Journal of Cereal Science**, v.44, p.272–286. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.05.004>.

BENMOUSSA, M.; SUHENDRA, B.; ABOUBACAR, A.; HAMAKER, B. R. Distinctive sorghum starch granule morphologies appear to improve raw starch digestibility. **Starch - Stärke**, v.58, p.92–99, 2006. DOI:10.1002/star.200400344 N.L.

BETA, T.; CORKE, H.; TAYLOR, J. R. N.; ROONEY, L.W. Effect of steeping treatment on pasting and thermal properties of sorghum starches. **Cereal Chemistry**, v.78, p.303-306, 2001. DOI:10.1094/cchem.2001.78.3.303.

BOJARCZUK, A.; SKĄPSKA, S.; KHANEGHAH, A.M.; MARSZAŁEK, K. Health benefits of resistant starch: A review of the literature. **Journal of Functional Foods**, v.93, p.1-11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105094>.

BORGES, T. P. **Classificação e métodos de cozimento de sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) em grãos**. 2013. Dissertação (Mestrado), Minas Gerais, Brasil, 2013.

BORNEO, R.; LEON, A.E. Whole grain cereals: functional components and health benefits. **Food & Function**. v.3, p.110-119, 2012. DOI: 10.1039/c1fo10165j

BOUDRIES, N.; BELHANECHÉ, N.; NADJEMI, B.; DEROANNE, C.; MATHLOUTHI, M.; ROGER, B.; SINDIC, M. Physicochemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria. **Carbohydrate Polymers**, v.78, p.475–480, 2009. DOI:10.1016/j.carbpol.2009.05.010

BRANDON, M. J.; FOO, L. Y.; PORTER, L. J.; MEREDITH, P. Proanthocyanidins of barley and sorghum: composition as a function of maturity of barley ears. **Phytochemistry**, v.21, p.2953–2957, 1980. DOI: 10.1016/0031-9422(80)85076-x.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a Free Radical method to evaluate antioxidant activity. **Food science and technology**, v.28, p.25-30, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

BRASIL. **Ministério da Agricultura e Reforma Agrária**. Determinações adicionais – peso de mil sementes. In: Regras para análise de sementes. Brasília: SNAD/DNDV/CLAV, 2009. p.346.

BUGGENHOUT, J.; BRIJS, K.; DELCOUR, J. A. Impact of processing conditions on the extractability and molecular weight distribution of proteins in parboiled brown rice. **Journal of Cereal Science**, v.58, p.8–14, 2013. DOI:10.1016/j.jcs.2013.05.002.

BULÉON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. (1998). Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.23, p.85 – 112, 1998. DOI: 10.1016/s0141-8130(98)00040-3.

CAMELO-MÉNDEZ, G. A.; AGAMA-ACEVEDO, E.; SANCHEZ-RIVERA, M. M.; BELLO-PÉREZ, L. A. Effect on in vitro starch digestibility of Mexican blue maize anthocyanins. **Food Chemistry**, v.211, p.281–284, 2016. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.05.024.

CAMELO-MÉNDEZ, G. A.; AGAMA-ACEVEDO, E.; TOVAR, J.; BELLO-PÉREZ, L. A. Functional study of raw and cooked blue maize flour: Starch digestibility, total phenolic content and antioxidant capacity. **Journal of Cereal Science**, v.76, p.179–185, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.06.009>

CARDOSO, L. DE M., PINHEIRO, S. S., DE CARVALHO, C. W. P., QUEIROZ, V. A. V., DE MENEZES, C. B., MOREIRA, A. V. B.; BARROS, F.A.R. DE.; AWIKA, J.M.; MARTINO, H.S.D.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Phenolic compounds profile in sorghum processed by extrusion cooking and dry heat in a conventional oven. **Journal of Cereal Science**, v.65, p.220–226, 2015. DOI:10.1016/j.jcs.2015.06.015.

CARDOSO, L. DE M.; MONTINI, T. A.; PINHEIRO, S. S.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M.; MARTINO, H. S. D.; MOREIRA, A. V. B. Effects of processing with dry heat and wet heat on the antioxidant profile of sorghum. **Food Chemistry**, v.152, p.210–217, 2014. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.11.106.

CHANDRASHEKAR, A.; KIRLEIS, A.W. Influence of protein on starch gelatinization in sorghum. **Cereal Chemistry**, v.65, p.457–462, 1988.

CHAO, G.; GAO, J.; LIU, R.; WANG, L.; LI, C.; WANG, Y.; QU, Y.; FENG, B. Starch physicochemical properties of waxy proso millet (*Panicum Miliaceum*L.). **Starch - Stärke**, v.66, p.1005–1012, 2014. DOI:10.1002/star.201400018.

CHEN, Y.; YANG, Q.; XU, X.; QI, L.; DONG, Z.; LUO, Z.; LU, X.; PENG, X. Structural changes of waxy and normal maize starches modified by heat moisture treatment and their relationship with starch digestibility. **Carbohydrate Polymers**, v.177, p.232–240, 2017. DOI:10.1016/j.carbpol.2017.08.121

CHENG, S.; SUN, Y.; GALGREEN, L. The relationships of sorghum kernel pericarp and test characteristics with tannin content. **Asian Journal of Crop Science**, v.1, p.1–5, 2009. DOI: 10.3923/ajcs.2009.1.5

CORREIA, I.; NUNES, A.; SARAIVA, J. A.; BARROS, A. S.; DELGADILLO, I. High pressure treatments largely avoid/revert decrease of cooked sorghum protein digestibility when applied before/after cooking. **LWT - Food Science and Technology**, v.44, p.1245–1249, 2011. DOI:10.1016/j.lwt.2010.10.021.

COSTA, D. O.; ADMAR, D.S.Q.; KEILA, H.; ELIZABETE, P. M. R.; SOELY, M.; CARRARO, F. O processamento doméstico do feijão-comum ocasionou uma redução nos fatores antinutricionais fitatos e taninos, no teor de amido e em fatores de flatulência rafinose, estaquiose e verbascose. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.51, n.53, p. 276-283, 2001.

COULIDIATI, T.H.; MILLOGO-KONE, H.; LAMIEN-MEDA, A.; YOUGBARE-ZIEBROU, M.; MILLOGO-RASOLODIMBY, J.; NACOULMA, O.G. Atividades antioxidantes e antibacterianas de duas espécies de Combretum de Burkina Faso.

Journal of Medicinal Plants Research, v.5, p.42-53, 2001.
DOI:10.3923/rjmp.2011.42.53

CRAIG, S.A.S.; MANINGAT, C.C.; SEIB, P.A.; HOSENEY, R.C. Starch paste clarity. **Cereal Chemistry**, v.66, p.173 – 182, 1989.

CRUZ, D.B. DA. **Efeitos da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento sobre propriedades físico-químicas dos grãos e sobre físico-químicas, estruturais, térmicas e de pasta do amido isolado de grãos de sorgo**. 2015. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

CRUZ, D.B. DA; SILVA, W.S.V.DA; SANTOS, I.P.DOS.; ZAVAREZE, E. DA R.; ELIAS, M. C. Structural and technological characteristics of starch isolated from sorghum as a function of drying temperature and storage time. **Carbohydrate Polymers**, v.133, p.46 – 51, 2015. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.07.003

CRUZ, D.B.; SILVA, W.S.V.; SANTOS, I.P.; ZAVAREZE, E. DA R.; ELIAS, M.C. Structural and technological characteristics of starch isolated from sorghum as a function of drying temperature and storage time. **Carbohydrate Polymers**, v.133, p.46 – 51, 2015. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.07.003

DARTOIS, A.; SINGH, J.; KAUR, L.; SINGH, H. Influence of guar gum on the in vitro starch digestibility - rheological and microstructural characteristics. **Food Biophysics**, v.5, p.149-160, 2010. DOI:10.1007/s11483-010-9155-2

DELCOUR, J.A; HOSENEY, R.C. Yeast-leavened products. In AACC international Inc. (Ed.). Principles of cereal science and technology, Minnesota, 3ed, p.151-177, 2010.

DEVATKAL, S. K.; KADAM, D. M.; NAIK, P. K.; SAHOO, J. Quality characteristics of gluten-free chicken nuggets extended with sorghum flour. **Journal of Food Quality**, v.34, p.88–92, 2011. DOI:10.1111/j.1745-4557.2010.00367.x

DIATTA-HOLGATE, E., HUGGHI, E., WEIL, C., FAYE, J.M., DANQUAH, A., DIATTA, C., TONGOONA, P., DANQUAH, E., CISSE, N., & TUINSTRA, M.R. Natural variability for protein digestibility and grain quality traits in a West African Sorghum

Association Panel. **Journal of Cereal Science**, v.10, p.1-8, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103504>.

DICKO, M. H.; GRUPPEN, H.; TRAORÉ, A. S.; VORAGEN, A. G. J.; BERKEL, W. J. H. Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and analyse activities. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, p.384-395, 2006.

DICKO, M.H. **Endogenous phenolics and starch modifying enzymes as determinants of sorghum for food use in Burkina Faso**. 2005. Tese (Pós-doutorado), Wageningen University, The Netherlands, 2005.

DIXON, R. A.; XIE, D.-Y.; SHARMA, S. B. Proanthocyanidins - a final frontier in flavonoid research. **New Phytologist**, v.165, p.9–28, 2004. DOI:10.1111/j.1469-8137.2004.01217.x

DLAMINI, N. R.; TAYLOR, J. R. N.; ROONEY, L. W. The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods. **Food Chemistry**, v.105 p.1412-1419, 2007. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.017>

DUODU, K.G.; NUNES, A.; DELGADILLO, I.; PARKER, M.L.; MILLS, E.N.C.; BELTON, P.S.; TAYLOR, J.R.N. Effect of grain structure and cooking on sorghum and maize in vitro protein digestibility. **Journal of Cereal Science**, v.35, p.161–174, 2002.

DUODU, K.G.; TAYLOR, J.R.N.; BELTON, P.S.; HAMAKER, B.R. Factors affecting sorghum protein digestibility. **Journal of Cereal Science**, v.38 p.117–131, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(03\)00016-X](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(03)00016-X)

DYKES, L.; PETERSON, G.C.; ROONEY, W.L.; ROONEY, L.W. Flavonoid composition of lemon-yellow sorghum genotypes. **Food Chemistry**, v.128, p.173–179, 2011. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.03.020

DYKES, L.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R.D.; ROONEY, W.L. Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. **Journal of**

Agriculture and Food Chemistry, v.53, p.6813–6818, 2005. DOI: 10.1021/jf050419e.

DYKES, L.; ROONEY, L.W. Sorghum and millet phenols and antioxidants. **Journal of cereal science**, v.35, p.236-251, 2006. DOI:<https://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0411>

DYKES, L.; SEITZ, L.M.; ROONEY, W.L.; ROONEY, L.W. Flavonoid composition of red sorghum genotypes. **Food Chemistry**. v.116, n.1, p.313–317, 2009.

EARP, C.F.; MCDONOUGH, C.M.; ROONEY, L.W. Microscopy of pericarp development in the caryopsis of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Journal of Cereal Science**, v.39, p.21–27, 2004.

EHTIATI, A.; KOOCHEKI, A.; SHAHIDI, F.; RAZAVI, S. M. A.; MAJZOOBI, M. Pasting, rheological, and retrogradation properties of starches from dual-purpose sorghum lines. **Starch – Stärke**, v.69, p.1-30, 2017. DOI:10.1002/star.201600262

ELIASSON, A. C.; GUDMUNDSSON, M. Starch: Physicochemical and functional aspects. In: Eliasson, A-C (Ed). **Carbohydrates in food**, 2. Ed, p.391-469, 2006.

ELKHALIFA, A.O.; SCHIFFLER, B.; BERNHARDT, R. Effect of fermentation on the functional properties of sorghum flour. **Food Chemistry**, v.92, p.1–5, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.05.058>

ELKHALIL, E.A.I.; EL-TINAY, A.H.; MOHAMED, B.E.; ELSHEIKH, E.A.E. Effect of malt pretreatment on phytic acid and in vitro protein digestibility of sorghum flour. **Food Chemistry**, v. 72, p.29–32, 2001. DOI:10.1016/S0308-8146(00)00195-3

EMMAMBUX, N. M.; TAYLOR, J. R. Sorghum kafirin interaction with various phenolic compounds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.85, p.402–407, 2003.

ENGLYST, H. N.; CUMMINGS, J. H. Digestion of polysaccharides of potato in the small intestine of man. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.45, p.423–431, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/45.2.423>

ENGLYST, H. N.; CUMMINGS, J. H. Digestion of the carbohydrates of banana (*Musa paradisiaca sapientum*) in the human small intestine. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.44, p.42–50, 1986. DOI:<https://doi.org/10.1093/ajcn/44.1.42>

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v.17, p.33–50, 1992. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(97\)00010-9](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(97)00010-9)

EZEOGU, L.I.; DUODU, K.G.; EMMANBUX, M.N.; TAYLOR, J.R.N. Influence of cooking conditions on the protein matrix of sorghum and maize endosperm flours. **Cereal Chemistry**, v.85, p.397–402, 2008.

EZEOGU, L.I.; DUODU, K.G.; TAYLOR, J.R.N. Effects of endosperm texture and cooking conditions on the in vitro starch digestibility of sorghum and maize flours. **Journal of Cereal Science**, v.42, p.33–44, 2005.

FANNON, J. E.; SHULL, J. M.; BEMILLER, J. N. Interior channels of starch granules. **Cereal Chemistry**, v.70, p.611–613, 1993.

FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION. 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/qcl>. Acesso 10-03-2023.

GIRARD, A. L.; AWIKA, J. M. Sorghum polyphenols and other bioactive components as functional and health promoting food ingredients. **Journal of Cereal Science**, v.84, p.112–124, 2018.

GOERING, K.J.; JACKSON, L.L.; DEHAAS, B.W. Effect of some non-starch components in corn and barley starch granules on the viscosity of heated starch-water suspensions. **Cereal Chemistry**, v.52, p.493- 500, 1975.

GOÑI, I.; GARCIA-ALONSO, A.; SAURA-CALIXTO, F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research**, v.17, p.427–437, 1997.

GUL, I.; SARUHAN, V. Determination of Yield and Yield Components of Grain Sorghum Cultivars Grown as Second Crop. **Journal of Agronomy**, v.4, p.61-66, 2005. DOI: 10.3923/ja.2005.61.66.

HAMAKER, B. R.; KIRLEIS, A. W.; MERTZ, E. T.; AXTELL, J. D. Effect of cooking on the protein profiles and in vitro digestibility of sorghum and maize. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.34, p.647–649, 1986. DOI: 10.1021/jf00070a014

HAMAKER, B.R.; BUGUSU, B.A. **Overview: sorghum proteins and food quality. Paper presented at: Workshop on the proteins of sorghum and millets: enhancing nutritional and functional properties for Africa.** South Africa, 2003. Disponivel:
https://www.researchgate.net/publication/237331781_Overview_sorghum_proteins_and_food_quality/link/63eb04f0eab072152f438363/download. Acesso:10-01-2022.

HAUG, W.; LANTZSCH, H.J. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereals products. **Journal of Science and Food Agriculture**, v.34, p.1423-1426, 1983.

HENDRICH, S. Battling obesity with resistant starch. **Food Technology**, v.64, n.3, p.22–30, 2010.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v.45, p.253-267, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00260-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00260-5).

HOOVER, R.; RATNAYAKE, W. S. Starch characteristics of black bean, chick bean, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada. **Food Chemistry**, v.78, p.489–498, 2002.

HSU, H. W.; VAVAK, D. L.; SATTERLEE, L. D.; MILLER, G. A. A multienzyme technique for estimating protein digestibility. **Journal of Food Science**, v.42, p.1269–1273, 1977. DOI:10.1111/j.1365-2621.1977.tb14476.x

HTET, S.M.N.; WANG, H.; TIAN, L.; YADAV, V.; SAMOON, H.A.; FENG, B. Integrated starches and physicochemical characterization of sorghum cultivars for an efficient and sustainable intercropping model. **Plants**, v.11, p.574, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11121574>.

HU, Y.; CONG, S.; ZHANG, H. Comparison of the grain quality and starch physicochemical properties between japonica rice cultivars with different contents of amylose, as affected by nitrogen fertilization. **Agriculture**, v.11, p.616, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11070616>

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo, 1 ed, p.133, 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. Brasília, 4. ed, 2005.

JACOBS H.; DELCOUR, J. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.46, p.2895–2905, 1998.

JACOBS, H.; EERLINGEN, R. C.; CLAUWAERT, W.; DELCOUR, J. A. Influence of annealing on the pasting properties of starches from varying botanical sources. **Cereal Chemistry**, v.72, p.480–487, 1995.

JENKINS, D. J. A., KENDALL, C. W. C., MCKEOWN-EYSSEN, G., JOSSE, R. G., SILVERBERG, J., BOOTH, G. L.; VIDGEN, E.; JOSSE, A.R.; NGUYEN,T.H.; CORRIGAN, S.; BANACH, M.S.; ARES, S.; MITCHELL, S.; EMAM, A.; AUGUSTIN, L.S.A.; PARKER, T.L.; LEITER, L. A. Effect of a low-glycemic index or a high-cereal fiber diet on type 2 diabetes. **Journal of the American Medical Association**, v.300, p.2742, 2008. DOI:10.1001/jama.2008.808

JUNG, K.-H.; AN, G.; RONALD, P. C. Towards a better bowl of rice: assigning function to tens of thousands of rice genes. **Nature Reviews Genetics**, v.9, p.91–101, 2008. DOI: 10.1038/nrg2286

KAYODE, A.P.P. **Diversity, users' perception and food processing of sorghum: Implications for dietary iron and zinc supply**. 2006. Thesis (doctorate). Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. 2006.

KUMARI, P. K.; UMAKANTH, A. V.; NARSAIAH, T. B.; UMA, A. Exploring anthocyanins, antioxidant capacity and α -glucosidase inhibition in bran and flour

extracts of selected sorghum genotypes. **Food Bioscience**, v.41, p.1-9, 2021. DOI:10.1016/j.fbio.2021.100979

LEACH, H.W.; MCCOWEN, L.D.; SCHOCH, T.J. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, v.36, p.534-544, 1959.

LEHMANN, U.; ROBIN, F. Slowly digestible starch – its structure and health implications: a review. **Trends in Food Science and Technology**, v.18, p.346-355, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.02.009>.

LIU, S. Y.; FOX, G.; KHODDAMI, A.; NEILSON, K. A.; TRUONG, H. H.; MOSS, A. F.; SELLE, P. H. Grain sorghum: A conundrum for chicken-meat production. **Agriculture**, v.5, p.1224–1251, 2015.

MACLEAN, W.C.; DE ROMANA, G.L.; PLACKO, R.P.; GRAHAM, G.G. Protein quality and digestibility of sorghum in preschool children: balance studies and plasma free amino acids. **Journal of Nutrition**, v.111, p.1928–1936, 1981. DOI: 10.1093/jn/111.11.1928

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; SCHAFFERT, R.E. **Fisiologia da planta de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica 3, p.46. 2000. Disponível em: <http://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00072790.pdf>. Acesso:10-02-2023.

MAKOKHA, A.O.; ONIANG'O, R.K.; NJOROGE, S.M.; OLIVER K. KAMAR, O.K. Effect of traditional fermentation and malting on phytic acid and mineral availability from sorghum (*Sorghum bicolor*) and finger millet (*Eleusine coracana*) grain varieties grown in Kenya. **Food Nutrition**, v.23, p.241–245, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1177/15648265020233s147>.

MCGRANE, S. J.; CORNELL, H.J.; RIX, C.J. A simple and rapide colourimetric method for determination of amylose in starch products. **Starch/Stärke**, v.50, p.158-163, 1998.

MERTZ, E.T.; HASSEN, M.M.; CAIRN-WHITTERN, C.; KIRLEIS, A.W.; TU, L.; AXTELL, J.D. Pepsin digestibility of proteins in sorghum and other major cereals. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.81, p.1–2, 1984. DOI: 10.1073/pnas.81.1.1

MKANDAWIRE, N. L.; KAUFMAN, R. C.; BEAN, S. R.; WELLER, C. L.; JACKSON, D. S.; ROSE, D. J. Effects of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tannins on α -amylase activity and in vitro digestibility of starch in raw and processed flours. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.61, p.4448–4454, 2013. DOI: 10.1021/jf400464j.

MOHARRAM, Y.G.; YOUSSEF, A.M.A. Sorghum grain and quality of its edible products. In: Charalambous, G. (Ed.), Food Flavors: Generation, Analysis and Process Influence. **Developments in food science**, p.111-146, 1995.

MORAD, M.M.; DOHERTY, C.A.; ROONEY, L.W. Efeito da variedade de sorgo nas propriedades de panificação do pão convencional americano, pão "balady" egípcio e biscoitos. **Journal of Food Science**, v.49, p.1070–1074, 1984.

MORAES, E. A.; MARINELI, R. S.; LENQUISTE, S. A.; STEEL, C. J.; MENEZES, C. B.; QUEIROZ, A. V.; JUNIOR, M. R.M. Sorghum flour fractions: correlations among polysaccharides, phenolic compounds, antioxidant activity and glycemic index. **Food Chemistry**, v.180, p.116-122, 2015. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.02.023

MORAES, E.A. **Atividade antioxidante qualidade proteica e potencial funcional de de genótipos de sorgo disponíveis a alimentação humana**. 2011. Dissertação (Mestrado), Viçosa, Minas Gerais. 2011.

MORAES, E.A.; MARINELI, R.DA S.; LENQUISTE, S.A.; QUEIROZ, V.A.V.; CAMARGO, R.L.; BORCK,P.C.; CARNEIRO, E.M.; JÚNIOR,M.R.M. Whole sorghum flour improves glucose tolerance, insulin resistance and preserved pancreatic islets function in obesity diet-induced rats. **Journal of Functional Foods**, v.45, p.530 – 540, 2018.

MUTALIANO, J.A.; TECA, J.O. **Manejo da cultura da mapira**. Nampula, Moçambique, p.6-12, 2017.

MUTALIANO, J.A.; TECA, O. **Variedades melhoradas de mapira em Moçambique**. Nampula, Moçambique, p.3-19, 2016.

NITSCHKE, M.; BERTOLINI A. C.; GARCIA C. F.; TEIXEIRA M. A. V. Biopolymers on food technology: production and applications of modified starches. **Biopolymers Technology**, São Paulo, p.13-44, 2007.

OLIVEIRA, K. G. DE.; QUEIROZ, V. A. V.; ALVES, M. P.; NETTO, D. A. M.; SCHAFFERT, R. E.; MENEZES, C. B. **Teores de antocianinas totais em acessos de sorgo do Banco Ativo de Germoplasma**. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo 3., 2014, Salvador. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/106514/1/Teoresantocianinas.pdf>. Acesso em: 10-08-2022.

PAIVA, C. L. **Ácidos fenólicos e amins bioativas livres e conjugadas em sorgo: teores e atividade antioxidante**. 2014. Tese (doutorado em ciência de alimentos). Universidade Federal De Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

PALACIOS, C. E.; NAGAI, A.; TORRES, P.; RODRIGUES, J.A.; SALATINO, A. Contents of tannins of cultivars of sorghum cultivated in Brazil, as determined by four quantification methods. **Food Chemistry**, v.337, p.1-6, 2020. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.127970

PEREIRA, B.L.B.; LEONEL, M. Amido resistente em produtos de mandioca. **Food Science and Technology**, v.34, n.2, p.298-302, 2014.

PEREIRA, K.D. Amido resistente, a última geração no controle de energia e digestão saudável. **Food Science and Technology**, v.27,p.92, 2007. DOI:10.1590/S0101-20612007000500016.

PINHEIRO, S. S.; CARDOSO, L. DE M.; ANUNCIAÇÃO, P. C.; DE MENEZES, C. B.; QUEIROZ, V. A. V.; MARTINO, H. S. D.; LUCIA, C.M.D.; PINHEIRO SANT'ANA, H. M. Water stress increased the flavonoid content in tannin-free sorghum grains. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.100, p.1-5, 2021. DOI:10.1016/j.jfca.2021.103892

PRICE, M. L.; VAN SCOYOC, S.; BUTLER, L. G. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.26, p.1214–1218, 1978. DOI: 10.1021/jf60219a031

PRISCILLA, H.; GELSON, T.; ERBAUGH, J.M.; LARSON, W.D. Improved seed variety value chains in Zambia: A missed opportunity to improve smallholder productivity. **African Journal of Agricultural Research**, v.7, p.4803-4818, 2012.

QUEIROZ, V. A. V.; DA SILVA, C. S.; DE MENEZES, C. B.; SCHAFFERT, R. E.; GUIMARÃES, F. F. M.; GUIMARÃES, L. J. M.; GUIMARÃES, P.E.DE O.; TARDIN, F. D. Nutritional composition of sorghum [*sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes cultivated without and with water stress. **Journal of Cereal Science**, v.65, p.103–111, 2015. DOI:10.1016/j.jcs.2015.06.018

QUEIROZ, V.A.V.; VIZZOTTO, M.; CARVALHO, C.W.P.; MARTINO, H.S.D. **O sorgo na alimentação humana**. Circular técnica, ministério da agricultura pecuária e abastecimento, Sete Lagoas, 2009.

QUEIROZ, V.A.V.; MORAES, E.A.; SCHAFFERT, R.E.; MOREIRA, A.V.; RIBEIRO, S.M.R.; MARTINO, H.S.D. Potencial funcional e tecnologia de processamento do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], na alimentação humana. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.10, p.180-195, 2011. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v10n3p180-195>.

RAFIQ, S. I.; MUZAFFAR, K.; RAFIQ, S. M.; SAXENA, D. C.; DAR, B. N. Underutilized horse chestnut (*Aesculus indica*) flour and its utilization for the development of gluten-free pasta. **Italian Journal of Food Science**, v. 33, p.137–149, 2021. DOI: <https://doi.org/10.15586/ijfs.v33iSP1.2088>.

RAIGOND, P.C.; EZEKIEL, R.; RAIGOND, B. Resistant starch in food: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.95, p.1968–1978, 2015. DOI:10.1002/jsfa.6966

RATNAVATHI, C. V., & KOMALA, V. V. (2016). Sorghum grain quality. In: Ratnavathi, C. V., Patil, J. V., Chavan, U. D. Sorghum biochemistry: an industrial perspective. London: **United Press**, Ukraine, ed.1, p.3-61, 2016.

RAY, C.L.; SHIPE, E.R.; BRIDGES, W.C. Planting date influence on soybean agronomic traits and seed composition in modified fatty acid breeding lines. **Crop Science**, v.48, p.181-188, 2008. DOI: 10.2135/cropsci2007.05.0290.

RE, R., PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v.26, p.1231 – 1237, 1999. DOI:10.1016/s0891-5849 (98) 00315-3

RIBAS, P. M. **Sorgo: introdução e importância**. Embrapa Milho e Sorgo, Documentos 26, Brasil, p.16, 2003.

ROCCHETTI, G.; GIUBERTI, G.; BUSCONI, M.; MAROCCO, A.; TREVISAN, M.; LUCINI, L. Pigmented sorghum polyphenols as potential inhibitors of starch digestibility: An in vitro study combining starch digestion and untargeted metabolomics. **Food Chemistry**, v.312, p.1-8, 2020. DOI:10.1016/j.foodchem.2019.126077

RODRIGUES, J. A. S. **Sistema de produção do sorgo**. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção 2. Brasil, 2010.

ROESLER, R.; MALTA, L. G.; CARRASCO, L. C.; HOLANDA, R. B.; SOUSA, C. A. S.; PASTORE, G. M. Atividade Antioxidante de frutas do cerrado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, p.53-60, 2007.

ROONEY, L. W.; MILLER, F. R. **Variation in the structure and kernel characteristics of sorghum**. International Symposium on Sorghum Grain Quality. Hyderabad, 28-31 October. p. 11-13. 1982.

ROONEY, L.W.; WANISKA, R.D. **Sorghum food and industrial usage**. **Em sorgo: origem, história e tecnologia**. 2000.

ROONEY, L.W.; PFLUGFELDER, R.L. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. **Journal of Animal Science**, v.63, p.1607 – 1623, 1986.

ROSA, W. J. **Departamento Técnico da Emater – MG**. Minas Gerais, Agosto de 2012.

SANDHU, K. S.; KAUR, M.; SINGH, N.; LI, S. T. A comparison of native and oxidized normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. **Swiss Society of Food Science and Technology**, v.41, p.1000-1010, 2007. DOI:10.1016/j.lwt.2007.07.012

SANDHU, K.S.; SINGH, N.; MALHI, N.S. Physicochemical and thermal properties of starches separated from corn produced from crosses of two germ pools. **Food Chemistry**, v.89, p.541–548, 2005. DOI:10.1016/j.foodchem.2004.03.007

SANTOS, T.B.; NETO, .F S.R.; COLLANTES, N.F.; CHÁVEZ, D.W.H.; CARVALHO, C.W.P.; QUEIROZ, V.A.V. **Sorghum starch as food ingredient: pasting and thermal properties**. *In*: Congresso on-line de brasileiro de tecnologia de cereais e panificação. 2020, Brasil. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/346767349_sorghum_starch_as_food_ingredient_pasting_and_thermal_properties/link/6421911ba1b72772e42f51f6/download. Acesso: 10-08-2022.

SARAVANABAVAN, N.S.; SHIVANNA, M.M.; BHATTACHARYA, S. Effect of popping on sorghum starch digestibility and predicted glycemic index. **Journal of Food Science and Technology**, v.50, p.387–392, 2011. DOI: 10.1007/s13197-011-0336-x.

SCHOBBER, T.J.; BEAN, S. Sorghum and Maize. *In*: ARENDT, E.K.; BELLO. Gluten-Free Cereal Products and Beverages. **Academic Press**, p.101-118, 2008.

SCHOBBER, T.J.; BEAN, S.R.; BOYLE, D.L. Pão de sorgo sem glúten melhorado pela fermentação da massa azeda: contexto bioquímico, reológico e microestrutural. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.57, p.5137-5146, 2007.

SCHOBBER, T.J.; MESSERSCHMIDT, M.; BEAN, S.R.; PARK, S.H.; ARENDT, E.K. Pão sem glúten de sorgo: diferenças de qualidade entre híbridos. **Cereal Chemistry**, v.82, p.394–404, 2005.

SERNA-SALDIVAR, S.; ROONEY, L.W. Structure and chemistry of sorghum and millets. In: Dendy DAV, ed. Structure and chemistry of sorghum and millets. St Paul, MN, USA: Am. Assoc. **Cereal Chemistry**, p.69–124, 1995.

SHAHBANDEH, M. **Sorghum production worldwide in 2021/2022, by leading country (in 1,000 metric tons)**. New York. 2023. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/1134651/global-sorghum-production-by-country/>. Acesso:20-04-2023.

SHAIKH, F.; ALI, T. M.; MUSTAFA, G.; HASNAIN, A. Comparative study on effects of citric and lactic acid treatment on morphological, functional, resistant starch fraction and glycemic index of corn and sorghum starches. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.135, p.314-327, 2019. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2019.05.115

SHARMA, S. D.; MEERAN, S. M.; KATIYAR, S. K. Dietary grape seed proanthocyanidins inhibit UVB-induced oxidative stress and activation of mitogen-activated protein kinases and nuclear factor- B signaling in in vivo SKH-1 hairless mice. **Molecular Cancer Therapeutics**, v.6, p.995–1005, 2007. DOI:10.1158/1535-7163.mct-06-0661.

SHUJUN, W.; JINGLIN, Y.; JIUGAO, Y.; XAIXIA, C.; JIPING, P.; HONGYAN, L. Partial characterization of starches from *Dioscorea opposite* Thunb cultivars. **Journal of Food Engineering**, v.88, p.287 – 293, 2008. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2006.11.016.

SILVA, F.M.; STEEMBURGO, T.; AZEVEDO, M.J.; MELLO, V.D. Papel do índice glicêmico e da carga glicêmica na prevenção e no controle metabólico de pacientes com diabetes melito tipo 2. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v.53, p.560–571, 2009. DOI: 10.1590/s0004-27302009000500009

SINGH, H.; CHANG, Y.-H.; SODHI, N. S.; SINGH, N. Influence of prior acid treatment on physicochemical and structural properties of acetylated sorghum starch. **Starch - Stärke**, v.63, p.291–301, 2011. DOI:10.1002/star.201000135

SINGH, H.; SODHI, S.N.; SINGH, N. Characterisation of starches separated from sorghum cultivars grown in India. **Food Chemistry**, v.119, p.95–100, 2010. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.05.086

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SINGH SODHI, N.; SINGH GILL, B. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v.81, p.219 – 231, 2003. DOI:10.1016/s0308-8146 (02) 00416-8.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetria de fenólicos totais com reagentes de ácido fosfotúngstico fosfomolíbico. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.16, p.144-158, 1965.

SOARES, R. R. A.; VASCONCELOS, C. M.; M, V.DE O.; RODRIGUES, V.P.; QUEIROZ, V.A.V.; BARROS, F. Starch digestibility and sensory acceptance of gluten free foods prepared with tannin sorghum flour. **Food Technology**, v.54, p.2-8, 2019. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.01205

SOARES, R.M.D. **Caracterização parcial de amido em cultivares brasileiros de cevada (*Hordeum vulgare L.*)**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2003.

SOUILAH, R.; DJABALI, D.; BELHADI, B.; MOKRANE, H.; BOUDRIES, N.; NADJEMI, B. In vitro starch digestion in sorghum flour from Algerian cultivars. **Food Science & Nutrition**, v.2, p.251–259, 2014. DOI:10.1002/fsn3.104

SRICHUWONG, S.; CURTI, D.; AUSTIN, S.; KING, R.; LAMOTHE, L.; GLORIA-HERNANDEZ, H. Physicochemical properties and starch digestibility of whole grain sorghums, millet, quinoa and amaranth flours, as affected by starch and non-starch constituents. **Food Chemistry**, v.233, p.1–10, 2017. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.04.019

TAYLOR, J. R.; SCHOBER, T. J.; BEAN, S. R. Novel and non-food uses for sorghum and millets. **Journal of Cereal Science**, v.44, p.252 – 271, 2006.

TEIXEIRA, F.F.; COSTA, F.M.; SABATO, E. DE O.; LEITE, C.E.P.; MEIRELLES, W.F.; GUIMARAES, C.T.; BELICUAS, S.N.J. Pre-melhoramento de milho quanto a resistencia a enfezamentos. **Pesquisa Agropecuaria Brasil**, v.48, n.1, p.51-58, 2013. DOI: 10.1590/S0100-204X2013000100007.

TEIXEIRA, N. DE C.; QUEIROZ, V. A. V.; ROCHA, M. C.; AMORIM, A. C. P.; SOARES, T. O.; MONTEIRO, M. A. M.; MENEZES, C.B.DE, SCHAFFERT, E.R.; QUEIROZ, V.A.V.; GARCIA, M.A.V.T.; JUNQUEIRA, R. G. Resistant starch content among several sorghum (*Sorghum bicolor*) genotypes and the effect of heat treatment on resistant starch retention in two genotypes. **Food Chemistry**, v.197, p.291–296, 2016. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.10.099

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch—composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v.39, p.151–165, 2004. DOI:10.1016/j.jcs.2003.12.001

THITISAKSAKUL, M.; JIMENEZ, R.C.; ARIAS, M.-A.; BECKLES, D.M. Effects of environmental factors on starch synthesis and composition. **Journal Cereal Science**, v.56 p.67-80, 2007.

THONGNGAM, M.; CHANAPAMOKKHOT, H. The chemical and physico-chemical properties of sorghum starch and flour. **Kasetsart Journal**, v.41, p.343 – 349, 2007.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **National Nutrient Database for Standard Reference**. United States of America. 2011. Disponível em: http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl. Acesso em 20-08-2021.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Production**. United States of America. 2019. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production>. Acesso: 10-11-2022.

VAN SOEST, J. J. G.; HULLEMAN, S. H. D.; DE WIT, D.; VLIEGENTHART, J. F. G. Crystallinity in starch bioplastics. **Industrial Crops and Products**, v.5, p.11 – 22, 1996. DOI:10.1016/0926-6690(9 5)00048-8

VIEIRA, A. L. S.; DUARTE, G.B.D.; QUEIROZ, V.A.V.; CORREA, T.R.; SILVA, V.D.M.; ARAÚJO, R.L.B. ; GARCIA, M.A.V.T.; FANTE, C.A. Caracterização do amido isolado de diferentes cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.5, p.24704-24718, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n5-067.

VORAGEN, A. G. J. Technological aspects of functional food-related carbohydrates. **Trends in Food Science & Technology**, v.9, p.328–335, 1998. DOI: 10.1016/s0924-2244(98)00059-4

WADUGE, R. N.; HOOVER, R.; VASANTHAN, T.; GAO, J.; LI, J. Effect of annealing on the structure and physicochemical properties of barley starches of varying amylose content. **Food Research International**, v.39, p.59–77, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.05.008>

WANG, L.; WANG, M.; ZHOU, Y.; WU, Y.; OUYANG, J. (2022). Influence of ultrasound and microwave treatments on the structural and thermal properties of normal maize starch and potato starch: A comparative study. **Food Chemistry**, v.377, p. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131990>

WANG, Y. **Study on Character and Starch Physico-Chemical Properties of Proso Millet**. Northwest Agriculture and Forestry University: Yangling, China. (In Chinese). 2012.

WANISKA, R.D. **Structure, phenolic compounds, and antifungal proteins of sorghum caryopses**. In: Technical and institutional options for sorghum grain mold management: proceedings of an international consultation. 2000. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=1343695CF452FC5A1F715513E8DC1CE9?doi=10.1.1.602.8474&rep=rep1&type=pdf>. Acesso: 05-08-2021.

WATERSHOOT, J.; GOMAND, S. V.; FIERENS, E.; DELCOUR, J. A. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. **Starch/Stärke**, v.67, p.14–29, 2015. DOI:10.1002/star.201300238.

WINGER, M.; KHOURYIEH H.; ARAMOUNI, F.; HERALD, T. sorghum flour characterization and evaluation in gluten-free flour tortilla. **Journal of food quality**, v. 37, p.95–106, 2014. DOI:10.1111/jfq.12080

WONG, J. H.; LAU, T.; CAI, N.; SINGH, J.; PEDERSEN, J. F.; VENSEL, W. H.; Hurkman, J.W; Wilson, J.D.; Lemaux, G.P.; Buchanan, B. B. Digestibility of protein and starch from sorghum (*Sorghum bicolor*) is linked to biochemical and structural features of grain endosperm. **Journal of Cereal Science**, v.49, p.73–82, 2009. DOI:10.1016/j.jcs.2008.07.013.

WONG, J.H.; MARX, D.B.; WILSON, J.D.; BUCHANAN, B.B.; LEMAUX, P.G.; PEDERSEN, J.F. Principal component analysis and biochemical characterization of protein and starch reveal primary targets for improving sorghum grain. **Plant Science**, v.179, p.598-611, 2010.

WORLD FOOD PROGRAMME. **Technical specifications for sorghum grains**. Version: 2, adopted, 2020. Disponivel em:https://documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/manual_guide_proced/wfp228048.pdf. Acesso: 20-11-2011.

XU, X.; BEAN, S.; WU, X.; SHI, Y-C. Effects of protein digestion on in vitro digestibility of starch in sorghum differing in endosperm hardness and flour particle size. **Food Chemistry**, v.383, p.1-6, 2022.DOI:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132635>.

YANG, Q.H.; ZHANG, W.L.; LUO, Y.; LI, J.; GAO, J.F.; YANG, P.; GAO, X.L.; FENG, B.L. Comparison of structural and physicochemical properties of starches from five coarse grains. **Food Chemistry**, v.288, p.283–290, 2019.

YANG, Y.; LI, X. M.; SUN, Z. H.; YANG, T.; TAN, Z. L.; WANG, B. F.; HAN, X. F.; HE, Z. X. The growth performance and meat quality of goats fed diets based on maize or wheat grain. **Journal of Animal Feed Science**, v.21, p.587-598, 2012.

ZHANG, G.; HAMAKER, B.R. Slowly digestible starch: concept, mechanism, and proposed extended glycemic index. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.49, p.852-867, 2009. DOI:<http://dx.doi.org/10.1080/10408390903372466>.

ZHOU, H.; WANG, C.; SHI, L.; CHANG, T.; CUI, M.; YANG, H. Effects of salts on physicochemical, microstructural and thermal properties of potato starch. **Food Chemistry**, v.156, p.137–143, 2014. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.02.015.

ZHU, F. Interactions between starch and phenolic compound. **Trends in Food Science and Technology**, v.43, p.129–143. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.02.003>

ZHU, F. Structure, physicochemical properties, modifications and uses of sorghum starch. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.13, p.567-610, 2014. DOI: 10.1111/1541-4337.12070.

ZIEGLER, V.; MARINI, L. J.; FERREIRA, C. D.; BERTINETTI, I. A.; SILVA, W.S. V.; GOEBEL, J. T. S.; OLIVEIRA, M.; ELIAR, M. C. Effects of temperature and moisture during semi-hermetic storage on the quality evaluation parameters of soybean grain and oil. **Semina: Ciências Agrárias**, v.37, p.131-144, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n1p131>.