



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)
ESCOLA DE AGRONOMIA (EA)
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
(PPGCTA)

ALICE DUARTE MENDONÇA TELLES

**Amidos de sorgos pigmentados com potencial para aplicação na
indústria de alimentos**

GOIÂNIA
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA

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

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

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

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

1. Identificação do material bibliográfico

☒ Dissertação ☐ Tese ☐ Outro*: _____

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

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

2. Nome completo do autor

Alice Duarte Mendonça Telles

3. Título do trabalho

AMIDOS DE SORGOS PIGMENTADOS COM POTENCIAL PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

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

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

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

a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

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

Casos de embargo:

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

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



Documento assinado eletronicamente por **Alice Duarte Mendonca Telles, Discente**, em 30/01/2023, às 18:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcio Caliari, Professor do Magistério Superior**, em 01/02/2023, às 09:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3362306** e o código CRC **0DFAA04C**.

Referência: Processo nº 23070.064479/2022-06

SEI nº 3362306

ALICE DUARTE MENDONÇA TELLES

Amidos de sorgos pigmentados com potencial para aplicação na indústria de alimentos

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, como parte das exigências para obtenção de título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Área: Ciência e Tecnologia de Alimentos

Linha de Pesquisa: Propriedades Físicas, Químicas, Moleculares, Microbiológicas, Nutricionais e Funcionais de Alimentos

Orientador: Prof. Dr. Márcio Caliarí

Coorientador: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior

GOIÂNIA
2023

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

Telles, Alice Duarte Mendonça

Amidos de sorgos pigmentados com potencial para aplicação na
indústria de alimentos [manuscrito] / Alice Duarte Mendonça Telles. -
2023.

xii, 83 f.

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

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

Bibliografia. Anexos. Apêndice.

1. Amido pigmentado. 2. Extração de amido. 3. Propriedades
Tecnológicas. 4. Indústria Alimentícia. 5. Amido colorido. I. Caliari,
Márcio, orient. II. Título.

CDU 664



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE AGRONOMIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 105 da sessão de Defesa de Dissertação de Alice Duarte Mendonça Telles, que confere o título de Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos, na área de concentração em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aos sete dias do mês de dezembro de dois mil e vinte e dois, a partir das nove horas, por meio de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “AMIDOS DE SORGOS PIGMENTADOS COM POTENCIAL PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Doutor Marcio Caliarí [EA/UFG] com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Doutora Alline Emannuele Chaves Ribeiro [EA/UFG] membro titular externo; Doutora Aryane Ribeiro Oliveira, membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca não sugeriu alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata aprovada pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Alline Emannuele Chaves Ribeiro, Usuário Externo**, em 10/02/2023, às 12:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcio Caliarí, Professor do Magistério Superior**, em 10/02/2023, às 13:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **ARYANE RIBEIRO OLIVEIRA, Usuário Externo**, em 13/02/2023, às 07:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3520996** e o código CRC **B4E9F638**.

Referência: Processo nº 23070.064479/2022-06

SEI nº 3520996

AGRADECIMENTOS

A pandemia da COVID-19 em 2020 mudou a forma de encarar os estudos e essa dissertação de mestrado é fruto de uma readaptação de toda uma equipe na forma de ensinar e aprender. Primeiramente, agradeço a mim mesma por não desistir em nenhum dos momentos que tudo ficou difícil e até insuportável. O autoconhecimento e percepção de que existia algo errado me fizeram recalcular rotas e respeitar limites. Este não é um trabalho perfeito, começou com muito mais escopo do que terminou, mas está feito e possui seu papel no mundo. Além do que ele se propõe academicamente, me ensinou muito também sobre o que eu quero e como chegar lá. E obrigada à Deus, por ter traçado a minha vida para que eu chegasse até aqui.

Agradeço à minha família que me apoiou nessa decisão de dedicar dois anos da minha vida à academia, me dando o suporte necessário para me manter firme na decisão de seguir em uma área tão importante, mas que atualmente sofre. Em especial ao meu pai, Márcio, que me apoia em tudo que eu invento e desinvento. Que sorte que eu tenho de ter em minha vida. Dedico também esse trabalho ao meu avô, Lourival, que em dezembro de 2021 sentiu a necessidade de partir e que sempre acreditou muito no meu potencial.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Márcio Caliari, pela oportunidade de me orientar neste trabalho e por toda paciência, dedicação e humanidade em todo esse período. Agradeço por poder trabalhar em seu grupo de pesquisa juntamente a meu coorientador, Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior, no Laboratório de Aproveitamento de Resíduos e Subprodutos Agroindustriais - Labdarsa da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (EA/UFG), assim como à Universidade Federal de Goiás, a Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos e ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, obrigada por me receberem tão bem.

Agradeço à Prof. Dra. Aline Ribeiro por toda sua contribuição no meu aprendizado em laboratório, esse trabalho não seria o mesmo sem sua paciência para todos os áudios desesperados com dúvidas “bobas” e batidas na sua porta.

Agradeço aos professores Dr. Luciano Lião e Dra. Andrea Chaves pelo apoio e prestatividade em atender minhas demandas relacionadas à pesquisa em seus laboratórios no Instituto de Química. E à Dra. Aryane Oliveira e ao Me. Rafael Oliveira por me auxiliarem na escrita deste texto.

Agradeço a todos os professores e colaboradores do PPGCTA da UFG por todos os ensinamentos, pela prestatividade em ajudar e pela dedicação em seus trabalhos. Aos alunos do programa – muitos que nem conheci pessoalmente nesse período – por toda a amizade e

companheirismo, nos dias de luta e de glória. Em especial para Gabriella Leite, Priscylla Prado, Gabriella Coutinho, Vitor, Ralf Melo, Daniel Martins, Larissa Couto, Greicy Hellen e Carol Dusi, meus companheiros de laboratório e fofocas na hora do almoço.

Um agradecimento especial a todos aqueles que estiveram na minha vida durante o desenvolvimento e escrita desse trabalho, obrigada por ouvirem meus choros e reclamações. Agora compartilho a felicidade de entregar esse trabalho e ter meu objetivo realizado. Mas aguardem os próximos capítulos...

E um obrigada particular à Maevy, minha psicóloga, por estar comigo em todo esse período fazendo um trabalho impecável.

07 de dezembro de 2022

Alice Duarte

“A ideia da perfeição constitui uma imperfeição humana.”
– Carlos Drummond de Andrade

AMIDOS DE SORGOS PIGMENTADOS COM POTENCIAL PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

RESUMO

O sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) é o quinto cereal mais produzido no mundo, mas que não é homogeneamente presente na alimentação humana mundial. Assim como as outras espécies da família Poaceae, o sorgo é rico em nutrientes, especialmente em amido. Por possuir diversas variedades, o sorgo apresenta diversas cores, sendo rico em pigmentos naturais, principalmente ácidos fenólicos e compostos antioxidantes. O amido extraído do sorgo colorido é um produto naturalmente pigmentado e, geralmente, é ignorado pela indústria por não atender ao padrão branco-luminoso. Portanto, o objetivo deste trabalho é extrair e caracterizar amidos de diferentes cultivares de sorgos pigmentados e avaliar o potencial para sua utilização na indústria de alimentos. Inicialmente realizou-se uma revisão bibliográfica a cerca dos amidos extraídos de matérias-primas coloridas, visando conhecer, entender e identificar as características e propriedades dos mesmos. Em seguida, foi realizada a extração aquosa e caracterização do amido de três cultivares de sorgo colorido (Comercial vermelho, SSG150T e BRS Ponta Negra). Foi feita uma extração aquosa dos amidos cujos rendimentos variaram entre 4 e 6 %. Os amidos foram separados em tipo A e tipo B para o sorgo comercial vermelho e sorgo BRS Ponta Negra. O sorgo SSG150T apresentou apenas um tipo de amido. Ao total foram analisados 5 amidos diferentes de 3 variedades de sorgo. Os amidos foram caracterizados quanto a sua composição proximal, indicando umidade entre 8,32 e 10,84 %, teores de cinzas próximos ao zero e atividade d'água entre 0,31 e 0,48. Quanto a análise de cor, os amidos tiveram variação de luminosidade entre 75,67 e 95,52, de croma entre 3,46 e 9,94 e de ângulo Hue entre 32,63 e 79,48. O teor de amilose presente nos amidos variou entre 28,50 e 38,50%. O perfil de viscosidade foi feito apresentando picos de viscosidade máxima entre 1314,5 e 2656,2 cP e de viscosidade mínima entre 710 e 1086,3 cP. As temperaturas de pasta variaram entre 67,1 e 68,4 °C. O perfil de textura foi realizado apresentando resultados de dureza entre 1,95 e 6,62 N. A análise de difração de Raio-X apresentou resultados de cristalinidade dos amidos entre 15,10 e 21,02 %. Quanto as propriedades térmicas analisadas via RVA, as amostras apresentaram temperatura inicial entre 64,01 e 66,91 °C, temperatura de pico entre 70,19 e 73,09 °C, temperatura final entre 80,12 e 87,25 °C, além das entalpias de gelatinização das amostras entre 4,70 e 11,56 J/g. A análise de espectrometria IV com Transformada de Fourier demonstrou que os amidos estão em sua forma nativa. A análise de MEV demonstrou que os amidos possuem formas esféricas e poliédricas e, alguns amidos extraídos apresentam diversos compostos não-amiláceos e grânulos quebradiços. O teor antioxidante dos amidos foi analisado pelo método de descoloração por DPPH, possuindo um destaque para o amido do sorgo BRS Ponta Negra tipo B com 64,24% de descoloração. Os outros amidos apresentaram percentuais de descoloração entre 2,26 e 6,25 %, e o amido do sorgo comercial vermelho tipo A não obteve resultados palpáveis. O teor de compostos fenólicos foi analisado pelo método de Folin-Ciocalteu e, não foi possível obter resultados para o amido do sorgo comercial vermelho, o sorgo SSG150 T obteve um teor de 12,44 µg de ácido gálico por ml, e os amidos do sorgo BRS Ponta Negra tipo A e tipo B obtiveram, respectivamente, teores de 0,11 e 63,23 µg de ácido gálico por ml. A análise de espectrometria de massas foi feita utilizando como padrão a catequina, quercetina e ácido gálico e os 3 compostos foram identificados em extratos de todos os amidos. Por fim, foi feita a análise de componentes principais (ACP) utilizando os resultados encontrados. Os resultados apresentam o potencial para o uso do amido de sorgo em diversos ramos da indústria alimentícia como por exemplo, aplicações que demandem o uso de corantes naturais e alimentos com enriquecimento em compostos bioativos.

Palavras-chave: Amido pigmentado; sorgo colorido; extração de amido; propriedades tecnológicas; compostos bioativos;

PIGMENTED SORGHUM STARCHES WITH POTENTIAL FOR APPLICATION IN THE FOOD INDUSTRY

ABSTRACT

Sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) is the fifth most-produced cereal in the world, but it is not homogeneously present in human food worldwide. Like the other species of the Poaceae family, sorghum is rich in nutrients, mainly starch. Because it has several varieties, sorghum has different colors and is rich in natural pigments, mainly phenolic acids and antioxidant compounds. Starch extracted from colored sorghum is a naturally pigmented product and is generally ignored by the industry as it does not meet the white-bright standard. Therefore, this work aims to extract and characterize starches from different cultivars of pigmented sorghum and evaluate their potential for use in the food industry. Initially, a bibliographic review was carried out about starches extracted from colored raw materials, aiming to understand and identify their characteristics and properties. Afterward, the aqueous extraction and characterization of the starch of three colored sorghum cultivars (Comercial Vermelho, SSG150T, and BRS Ponta Negra) were carried out. Aqueous extraction of the starches was carried out, whose yields varied between 4 and 6%. Starches were separated into types A and B for red commercial sorghum and BRS Ponta Negra sorghum. Sorghum SSG150T had only one type of starch. In total, five different starches from 3 sorghum varieties were analyzed. The starches were characterized according to their proximal composition, indicating moisture between 8.32 and 10.84%, ash content close to zero, and water activity between 0.31 and 0.48. As for the color analysis, the starches had variations in brightness between 75.67 and 95.52, chroma between 3.46 and 9.94, and Hue angle between 32.63 and 79.48. The amylose content present in the starches varied between 28.50 and 38.50%. The viscosity profile showed maximum viscosity peaks between 1314.5 and 2656.2 cP and minimum viscosity between 710 and 1086.3 cP. Paste temperatures varied between 67.1 and 68.4 °C. The texture profile was carried out, showing results of hardness between 1.95 and 6.62 N. The X-ray diffraction analysis showed crystallinity results of starches between 15.10 and 21.02%. As for the thermal properties analyzed via RVA, the samples presented initial temperature between 64.01 and 66.91 °C, peak temperature between 70.19 and 73.09 °C, and final temperature between 80.12 and 87.25 °C to the enthalpies of gelatinization of the samples between 4.70 and 11.56 J/g. Fourier Transform IR spectrometry analysis demonstrated that the starches are in their native form. The SEM analysis showed that starches have spherical and polyhedral shapes, and some extracted starches have several non-starch compounds and brittle granules. The antioxidant content of the starches was analyzed using the DPPH discoloration method, highlighting the BRS Ponta Negra type B sorghum starch with 64.24% discoloration. The other starches showed percentages of discoloration between 2.26 and 6.25%, and the red type A commercial sorghum starch did not obtain tangible results. The content of phenolic compounds was analyzed by the Folin-Ciocalteu method. It was not possible to obtain results for starch from commercial red sorghum, sorghum SSG150 T obtained content of 12.44 µg of gallic acid per ml, and starches from BRS Ponta Negra sorghum type A and type B obtained, respectively, with contents of 0.11 and 63.23 µg of gallic acid per ml. Mass spectrometry analysis was performed using catechin, quercetin, and gallic acid as standard, and the three compounds were identified in extracts of all starches. Finally, principal component analysis (PCA) was performed using the results found. The results show the potential for using sorghum starch in various branches of the food industry, such as applications that require using natural dyes and foods enriched in bioactive compounds.

Key-words: Pigmented starch; colored sorghum; starch isolation; technological properties; bioactive compounds;

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	O sorgo	3
2.2	Sorgo no Brasil	4
2.3	Os grãos de sorgo	5
2.4	As cores dos grãos de sorgo	7
2.5	Compostos bioativos do sorgo	7
2.6	Extração de amido de sorgo	8
2.7	Amido de Sorgo	8
3	OBJETIVOS	10
3.1	Objetivo Geral	10
3.2	Objetivos Específicos	10
	REFERÊNCIAS	11

	CAPÍTULO 2 - STARCHES WITH NATURAL PIGMENTS: A REVIEW	13
1	INTRODUCTION	14
2	STARCH ISOLATION	15
3	NATURAL PIGMENTS	16
4	REPORTED STARCHES WITH PIGMENTS	19
5	DIFFERENCES IN TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF STARCHES	20
6	FUTURE PERSPECTIVES	21
	REFERENCES	24

	CAPÍTULO 3 - EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE AMIDOS DE SORGO PIGMENTADO E SUAS POSSÍVEIS APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS	27
1	INTRODUÇÃO	29
2	MATERIAL E MÉTODOS	30
2.1	Matéria Prima	30
2.2	Extração aquosa	31

2.3	Composição Proximal	32
2.4	Atividade de água	33
2.5	Parâmetros Instrumentais de Cor	33
2.6	Microestrutura do amido	33
2.7	Propriedades de pasta (RVA)	34
2.8	Perfil textural	34
2.9	Difração raio-X	34
2.10	Análise termogravimétrica – DSC	35
2.11	Espectroscopia IV com Transformada de Fourier	35
2.12	Teor de amilose	35
2.13	Teor de compostos fenólicos	36
2.14	Atividade Antioxidante (DPPH)	37
2.15	Espectro de massas	38
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
3.1	Rendimento da extração	39
3.2	Composição proximal e atividade de água	42
3.3	Análise de Cor	43
3.4	Teor de Amilose	44
3.5	Perfil de Viscosidade e Perfil Textural	45
3.6	Difração Raio X e Cristalinidade	50
3.7	Propriedades Térmicas (DSC)	52
3.8	Espectroscopia IV com Transformada de Fourier	54
3.9	Microestrutura do amido	56
3.10	Atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos	59
3.11	Espectro de Massas (MS)	61
3.12	Análise de componentes principais (ACP)	69
4	CONCLUSÕES	73
	REFERÊNCIAS	74
	ANEXO I	79

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Amido é o polissacarídeo mais abundante na natureza, uma fonte de energia de baixo custo para a alimentação humana com diversas aplicações tanto na indústria alimentícia quanto outras (SINGH; SODHI; SINGH, 2010). As principais fontes de amido são cereais como o milho, cevada e arroz, além de tubérculos e raízes, como mandioca, batata e inhame, e leguminosas, como o feijão, ervilha e o grão de bico (ASHOGBON; AKINTAYO, 2014; BEMILLER; WHISTLER, 2009). Entretanto, existem também outras fontes amiláceas que não são comuns para a extração e produção de amido, como é o caso do sorgo.

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é um cereal da família Poaceae, assim como o arroz, o trigo e o milheto. No Brasil, o sorgo é uma cultura já estabelecida desde o século XX, mas historicamente sem poder comercial, assim, sendo utilizado principalmente para alimentação animal. Entretanto, os grãos de sorgo, juntamente com os de milheto, são as maiores fontes de energia e proteína para a África e Ásia (BELTON; TAYLOR, 2004) por ser rico em carboidratos e proteínas (CARDOSO et al., 2017; TAYLOR; DUODU, 2019). Este cereal possui grande tolerância a regiões de seca e requer pouca quantidade de água para obter uma boa safra, o que traz grande importância na garantia de segurança alimentar em áreas tropicais e subtropicais áridas do mundo (BELTON; TAYLOR, 2004).

Possuindo características funcionais similares ao amido de milho (SINGH; SODHI; SINGH, 2010), o amido de sorgo não é popular no mercado devido a sua coloração atípica de amido quando extraído de cultivares não-brancos (SUBRAMANIAN, 1994). A coloração pigmentada é relatada em diversos estudos (PALAVECINO; PENCI; RIBOTTA, 2019; SIRA; AMAIZ, 2004; UDACHAN; AND Z HEND, 2012), e é consequência dos resíduos de compostos naturais com propriedades bioativas, especialmente compostos fenólicos como as 3-deoxyanthocyanidinas e taninos (CARDOSO et al., 2017), que se complexaram ao amido durante o processo de extração (SUBRAMANIAN, 1994). A remoção desses pigmentos é difícil e existem diversos estudos para tornar o produto final o mais branco e luminoso possível, uma vez que as características de luminosidade e brancura do amido o torna flexível para os mais diversos usos da indústria, conseguindo atender a maior variedade de demanda possível (BEMILLER; WHISTLER, 2009).

Em contrapartida dessa demanda por amidos brancos, os consumidores e, consequentemente, a indústria também demanda por produtos contendo compostos bioativos que possuem impacto na saúde humana. O sorgo, por exemplo, possui compostos fenólicos associados com impactos positivos contra doenças como obesidade, diabetes, doenças cardiovasculares, hipertensão e câncer (CARDOSO et al., 2017). Assim, o amido de sorgo naturalmente pigmentado se torna um ingrediente potencial para o uso devido suas propriedades tecnológicas e também por serem carreadores de compostos bioativos para o enriquecimento funcional e nutricional.

Além do mais, atualmente existe um movimento cultural em que consumidores estão preferindo alimentos mais naturais e evitando ultraprocessados, aqueles que contêm diversos tipos de aditivos alimentares ou modificações químicas (BARBI et al., 2018). Os compostos bioativos do sorgo também possuem o caráter pigmentante, o que pode ir de encontro ao uso como corante alimentar, evitando a adição de pigmentos sintéticos ou químicos. O uso de corantes em alimentos visa muito ao apelo sensorial visual e não é dispensável para indústria (BORDIM et al., 2021). Assim, a utilização de amidos nativos naturalmente pigmentados com capacidade antioxidante pode vir de encontro a esta demanda de alimentos “green label”, mais saudáveis e naturais.

Conhecer as características físico-químicas e funcionais dos amidos, como a gelatinização, retrogradação, propriedades de pasta e reológicas, são essenciais para determinar e sugerir possíveis aplicações. Amidos quando adicionados a alimentos modificam propriedades como a adesividade, estabilidade de emulsão e espuma, retenção de umidade, gelificação, entre outros. (AGAMA-ACEVEDO; FLORES-SILVA; BELLO-PEREZ, 2018).

Portanto, o objetivo deste estudo é extrair e caracterizar o amido de cultivares variados de sorgo pigmentado, visando estudar suas propriedades tecnológicas e seus compostos bioativos e avaliar o potencial para utilização na indústria de alimentos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O sorgo

Quimicamente, sorgo é constituído majoritariamente de 60-77% de amido e 6,6-16% de proteínas, com variabilidades pequenas em seus teores de outros macronutrientes. O seu grão cultivado pode apresentar diversas cores variando do branco, ao amarelo pálido, vermelho, roxo, marrom, entre outros (WATSON, 1984). Essas características como a aparência e qualidade do sorgo são principalmente afetadas por fatores ambientais e genéticos. A aparência é resultante da cor e grossura do pericarpo, presença de uma testa (tecido altamente pigmentado localizado logo abaixo do pericarpo) pigmentada e a cor do endosperma. Outros fatores que também podem afetar a aparência do grão é a cor da planta e da gluma, além das condições ambientais as quais ele está submetido quando exposto a agentes bióticos e abióticos. (TAYLOR; DUODU, 2019)

O sorgo cultivado é originário da África e é uma única espécie: *Sorghum bicolor* (L.). Assim, todos os tipos diferentes são divididos nas subespécies *bicolor*, apesar de sua grande diversidade genética entre espécies cultivadas, selvagens e parasitas. Existem diversos tipos de classificações complexas para os tipos de sorgo existentes e catalogados geneticamente. Assim, existindo mais de 7.000 espécies de sorgo catalogadas, a sua qualidade nutricional é determinada por sua composição química e pela presença de fatores antinutricionais (TAYLOR; DUODU, 2019).

Os compostos bioativos presentes no sorgo são diversos, os principais relatados são compostos fenólicos, sendo quase todas suas classes identificadas, como ácidos fenólicos, taninos e flavonoides (CARDOSO et al., 2017). Os teores altos de protocianidinas, 3-deoxyanthocyanidins e flavan-4-ols é um dos motivos relatados à alta resistência aos estressantes bióticos e abióticos.

O teor de compostos fenólicos em algumas variedades de sorgo é variável entre 135,5-479 µg/g, sendo os principais relatados: protocatequina e ácido ferúlico, além de quantidades detectáveis de ácido p-cumárico, ácido siringico, ácido vanilínico, ácido gálico, ácido cafeico, ácido cinâmico e ácido p-hidrobenczóico (PRZYBYLSKA-BALCEREK; FRANKOWSKI; STUPER-SZABLEWSKA, 2019).

Tabela 1 - Composição química geral das partes anatômicas do sorgo. Fonte (TAYLOR; DUODU, 2019).

Componente	Grão inteiro (%)	Endosperma (%)	Germe (%)	Pericarpo (%)
Grão Inteiro	100	84,2	9,4	6,5
Faixa		81,7 – 86,5	8,0 – 10,9	4,3 – 8,7
Proteína (%)	12,3	10,5	18,4	6,0
Faixa	11,5 – 12,3	0,7 – 13,0	17,8 – 19,2	5,2 – 7,6
% Contribuição	100	80,9	14,9	4,0
Lipídeos (%)	3,6	0,6	28,1	4,9
Faixa	-	0,4 – 0,8	26,9 – 30,6	3,7 – 6,0
% Contribuição	100	13,2	76,2	10,6
Cinzas (%)	1,6	0,6	9,2	3,4
Faixa	1,6 – 1,7	0,3 – 0,7	3,9 – 10,4	2,0 – 3,8
% Contribuição	100	31,6	54,6	13,8
Amido (%)	73,8	82,5	13,4	3,5
Faixa	72,3 – 75,1	81,3 – 83,0	-	-
% Contribuição	100	94,4	1,8	3,8

As condições ambientais atuam de forma que se exposto a calor e umidade durante a maturação do grão pode haver ataque por insetos e/ou fungos. Aqueles grãos que apresentam pontos descoloridos são em decorrência de liberação de compostos fenólicos causada pelo ataque de insetos naquela área. Fungos causam também a descoloração do grão e os deixam mais frágeis para quebra. O tipo de sorgo considerado mais resistente as variações climáticas é aquele com “panículas abertas, com pericarpo fino, taninos condensados, endosperma córneo (também conhecido como vítreo) e glumas grandes e compactas” (TAYLOR & DUODU, 2019).

2.2 Sorgo no Brasil

Apesar de ser uma cultura estabelecida no Brasil desde o século XX, o sorgo não possui poder comercial historicamente forte. Atualmente, a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) estimou para a safra brasileira 2020/21 uma produção de 2,6 milhões de toneladas

de sorgo em uma área de aproximadamente 840,5 mil hectares, distribuídos majoritariamente nos estados do centro-oeste brasileiro, como Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, e no norte-nordeste, Pará, Maranhão, Piauí, Rio Grande do Norte, Bahia e Paraíba (CONAB, 2021). O estado com maior produção de sorgo é Goiás, produzindo 1,3 milhão de toneladas, totalizando 47,7% da produção nacional de 2020 (IBGE, 2020). Mundialmente, o Estados Unidos lidera a produção, com previsão para 2021 de 7,3 milhões de hectares de terra voltadas para o plantio do grão, principalmente nos estados do Texas e Kansas. A produção mundial de sorgo na safra 2020/2021 foi de 62 milhões de toneladas, sendo 15% do total, norte-americana. Em contrapartida, o país com maior demanda de consumo de sorgo é a China, com 19% da demanda, também no período de 2020/2021 (USDA, 2021).

Assim, além de ser quinto cereal mais produzido no mundo, o sorgo chama atenção também por ser fonte de compostos bioativos benéficos para a saúde como antioxidantes e fitoquímicos (CARDOSO et al., 2017). Desta forma, países como Estados Unidos, Austrália e Brasil, que antes cultivavam sorgo visando apenas a alimentação animal, passaram a desenvolver pesquisas a fim também do consumo humano. A farinha de sorgo vem sendo apresentada como alternativa viável no desenvolvimento de alimentos gluten-free e apresenta resultados sensoriais satisfatórios como ingrediente para diversas preparações universais como massas (CERVINI et al., 2021) e biscoitos (ADEDARA; TAYLOR, 2021).

2.3 Os grãos de sorgo

O grão de sorgo é considerado uma cariopse nua que consiste em três partes anatômicas diferentes: pericarpo (camada externa), germe (embrião ou tecido de reserva primário) e o endosperma (tecido de reserva secundário). A variação média de composição das partes em um grão é, respectivamente, 6,5%, 9,4% e 84,2%. Os grãos de sorgo vão ter diferenças consideráveis em tamanho e peso entre si, pesando entre 3 a 80mg e com uma variação de densidade de 1,15 até 1,38 g/cm³.

A camada externa, pericarpo, varia entre 8 a 160 µm e é dividida em três tipos de tecidos: epicarpo, mesocarpo e endocarpo. O epicarpo é a camada mais externa que é geralmente coberta com cutin, uma camada de cera a prova d'água, que aparece nos primeiros estágios de desenvolvimento e ajuda a não perder umidade do grão. O epicarpo é então formado por duas ou três camadas de células retangulares que geralmente contém algum tipo de pigmento. O mesocarpo do sorgo, de forma a se diferenciar dos outros grãos, pode possuir grãos de amido.

Em espécies com uma camada grossa de pericarpo, geralmente existem três ou quatro camadas de mesocarpo que são preenchidas com pequenos grãos de amido. Já o endocarpo é formado por células cruzadas e tubulares que atuam na condução interna de água (BELTON; TAYLOR, 2004).

A testa da semente, um tecido localizado logo abaixo do pericarpo, possui espessura entre 8 a 40µm e é pigmentada apenas sorgos com genes específicos, denominados sorgos de tipo II ou tipo III. Estes são caracterizados pela alta presença de taninos condensados, o que a depender da quantidade pode afetar no valor nutricional do grão (TAYLOR; DUODU, 2019).

O endosperma do grão é composto pelas camadas “aleurona, áreas periféricas, córneas e farinhentas”. A aleurona é composta por células de grossas paredes celulares com grandes quantidades de proteínas (corpos e enzimas), cinzas e lipídios. As áreas periféricas são compostas de proteínas e pequenos grãos de amido, sendo responsável pelo processamento e digestibilidade de nutrientes. Em grãos cerosos, a parte periférica é menor, com menos proteínas, entretanto com grãos de amido maiores. As áreas córneas e farinhentas são compostas majoritariamente por amido e matrizes e corpos de proteínas. Os grãos de amido dessa área são poligonais e geralmente contêm partes de proteínas. A aparência da camada córnea é translúcida e vítrea. O endosperma farinhento é opaco e localizado no centro da cariopse, formado por fases descontínuas de proteínas, vácuos e grãos de amido mal empacotados. Por fim existe a camada de tecido reserva do germe que contém lipídios, proteínas, enzimas, e minerais, servindo para conectar o germe as outras camadas.

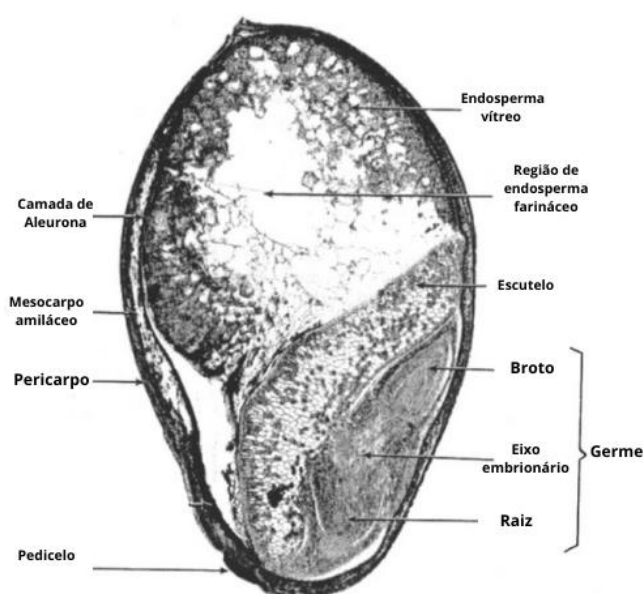


Figura 1 - Esquema da anatomia de um grão de sorgo. Fonte: Adaptada de (WATSON, 1984)

2.4 As cores dos grãos de Sorgo

As cores, grossura de pericarpo, presença de testa, pigmentação da camada da semente, são controladas por genética resultando em diversas cores resultantes e combinantes entre branco, amarelo-limão, vermelho, marrom e roxo. A cor do endosperma é definida pela planta mãe. Assim, cultivares de endosperma amarelo contêm altos níveis de pigmentos carotenoides. A cor do endosperma afeta a aparência do grão, especialmente em grãos com um pericarpo fino sem uma testa pigmentada. Quando o pericarpo é fino e incolor e a testa está ausente, o grão aparece amarelo. Quando o grão tem um pericarpo espesso e incolor, o grão parece branco. Sorgo de bronze contém um pericarpo vermelho fino com endosperma amarelo. Sorgo de endosperma hetero-amarelo são híbridos do cruzamento de endosperma amarelo com um endosperma parente não amarelo (TAYLOR & DUODU, 2019).

Há também os cultivares de endosperma ceroso que contêm três (*wx*) genes na forma recessiva. Os genótipos heteroceroso contêm um ou dois desses genes na forma dominante, enquanto os cultivares não-cerosos contêm todos os três genes na forma dominante. O amido de cultivares cerosos contém quase 100% amilopectina, e o endosperma do grão parece ceroso a olho nu (TAYLOR & DUODU, 2019).

2.5 Compostos bioativos do sorgo

O sorgo quando caracterizado em seu teor de compostos bioativos apresenta teores significantes de vitaminas, principalmente a B, vitaminas lipossolúveis, D, E, K, polifenóis e carotenoides, além de elementos traços como zinco, cobre e manganês. (PRZYBYLSKA-BALCEREK; FRANKOWSKI; STUPER-SZABLEWSKA, 2019).

Contendo um grande teor de ácidos fenólicos sendo eles livres no pericarpo, testa ou aleurônio, ou ligados nas paredes celulares (DYKES; ROONEY, 2006), o destaque é o ácido ferúlico. Na classe dos flavanoides, a quercetina, kaempferol, naringenina, apigenina e luteonina. E na classe dos carotenoides, o beta-caroteno, a luteína e a zeaxantina (PRZYBYLSKA-BALCEREK; FRANKOWSKI; STUPER-SZABLEWSKA, 2019).

Dentre os flavonoides identificados no sorgo, as antocianinas são um destaque. Elas possuem a diferença única neste grão de não conterem um grupo hidroxil na posição 3 do anel, sendo então denominadas 3-deoxyanthocyanins. Esse diferencial as torna muito mais estáveis em pH mais elevados que as antocianinas comuns, tornando-as mais convenientes para o uso como corantes em alimentos (DYKES & ROONEY, 2006).

Estudos sobre compostos bioativos em cultivares de sorgo brancos e vermelhos da Polônia, indicam um teor alto de ácidos fenólicos para o cultivar colorido, como o p-cumárico (71,0 mg/kg), gálico (59,0 mg/kg), vanilínico (23 mg/kg), protocateico (85,5 mg/kg), cafeico (51,5 mg/kg), além do ferúlico (91,5 mg/kg). Assim como os teores de flavonoides são consideráveis como a catequina (3,61 mg/kg), luteolina (1,34 mg/kg) e a naringenina (0,58 mg/kg). Os teores de carotenoides também são estimáveis como luteína (24,6 mg/kg), zeaxantina (73,0 mg/kg) e beta-caroteno (34,3 mg/kg) (PRZYBYLSKA-BALCEREK; FRANKOWSKI; STUPER-SZABLEWSKA, 2019).

2.6 Extração de amido de sorgo

O amido de sorgo é considerado de difícil obtenção porque há uma contaminação por proteínas kafirinas que estão altamente ligadas ao amido e pelo alto teor de pigmentos dos grãos. Assim, existem diversos processos de extração do amido de sorgo, como o método de maceração alcalino, com purificação em vários estágios, ou por métodos de moagem úmida ou moagem a seco. (EL HALAL et al., 2019).

Um dos métodos mais populares e com resultados mais favoráveis, buscando obter um amido mais conveniente para o maior número de processos alimentícios, é o de descascamento alcalino, utilizado tanto para o sorgo quanto o milheto (LAZARO; FAVIER, 2000). Neste, o grão íntegro é descascado em uma solução aquosa de hidróxido de sódio, o que dissolve o pericarpo, com mínima interferência no resto do grão. Assim, a contaminação do amido pelos pigmentos concentrados no pericarpo é efetivamente reduzida.

Assim, juntamente com problemas comuns da extração de amido, como a necessidade de evitar danos mecânicos aos grãos de amido e aumentar o rendimento do processo, as questões específicas do isolamento do amido de sorgo tornam necessários mais estudos sobre o melhoramento do processo. Ou como o sugerido neste trabalho, a adequação do produto final.

2.7 Amido de Sorgo

O amido é caracterizado quimicamente por ser um carboidrato com característica de ser insolúvel em água fria, mas com capacidade espessante quando a suspensão de grânulos é cozida. Formado por amilose e amilopectina, ambos polissacarídeos, mas que respectivamente, um de cadeia linear e outro de cadeia ramificada, as proporções entre os dois polímeros

caracteriza também as propriedades do amido. Os amidos de cereais, como o sorgo, são caracterizados por não possuírem, ou possuírem teores extremamente baixos de grupos fosfato e por conterem lipídeos endógenos nos grânulos (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

Assim, o sorgo possui um teor de amido entre 51-78%, e seus grânulos são reportados como redondos, poligonais, esféricos ou em formas irregulares, com variação de diâmetro entre 4 a 35 μm . Por ser o único grão que é relatado um teor de amido no pericarpo, existem diferenças nos grânulos encontrados em cada área anatômica. O sorgo regular possui o teor de 23-30% de amilose, enquanto o hetero-ceroso por volta de 14% e o ceroso até 5% (TAYLOR & DUODU, 2019).

O amido de sorgo possui diversos relatos de variações de cor em diversos trabalhos (BOUDRIES et al., 2009; PALAVECINO et al., 2019; SIRA & AMAIZ, 2004; VIEIRA et al., 2020),. Diversas tonalidades de cor-de-rosa são geralmente relatadas para tanto para os cultivares de pericarpo vermelho quanto até em alguns brancos (BETA et al., 2000) .

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Extrair e caracterizar amidos de diferentes cultivares de sorgos pigmentados e avaliar o potencial para utilização como ingrediente alimentício na indústria de alimentos.

3.2 Objetivos Específicos

- Resgatar na literatura o potencial de amidos com pigmentos naturais para a utilização na indústria de alimentos;
- Extrair amido de 3 variedades de sorgo pigmentado;
- Avaliar as propriedades físico-químicas, morfológicas, tecnológicas e bioativas dos amidos extraídos;
- Sugerir possíveis aplicações do amido extraído de sorgo com pigmentos naturais na indústria de alimentos;

4. REFERÊNCIAS

- ADEDARA, O. A.; TAYLOR, J. R. N. Roles of protein, starch and sugar in the texture of sorghum biscuits. **LWT**, 2021.
- AGAMA-ACEVEDO, E.; FLORES-SILVA, P. C.; BELLO-PEREZ, L. A. Cereal starch production for food applications. Em: **Starches for Food Application: Chemical, Technological and Health Properties**. Elsevier, 2018. p. 71–102.
- ASHOGBON, A. O.; AKINTAYO, E. T. **Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources: A review**. *Starch/Staerke*, jan. 2014.
- BARBI, R. C. T. et al. Eriobotrya japonica seed as a new source of starch: Assessment of phenolic compounds, antioxidant activity, thermal, rheological and morphological properties. **Food Hydrocolloids**, v. 77, p. 646–658, 1 abr. 2018.
- BELTON, P. S.; TAYLOR, J. R. N. **Sorghum and millets: Protein sources for Africa. Trends in Food Science and Technology**. Elsevier Ltd, 2004.
- BEMILLER, J.; WHISTLER, R. **Starch: Chemistry and Technology, Third Edition**. 2009.
- BETA, T. et al. **Starch properties as affected by sorghum grain chemistry**. 2000.
- BORDIM, J. et al. Potential use of naturally colored antioxidants in the food industry—A study of consumers’ perception and acceptance. **Journal of Sensory Studies**, v. 36, n. 4, 1 ago. 2021.
- BOUDRIES, N., BELHANECH, N., NADJEMI, B., DEROANNE, C., MATHLOUTHI, M., ROGER, B., & SINDIC, M. (2009). Physicochemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria. **Carbohydrate Polymers**, 78(3), 475–480. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.05.010>
- CARDOSO, L. et al. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.): Nutrients, bioactive compounds, and potential impact on human health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 2, p. 372–390, 22 jan. 2017.
- CERVINI, M. et al. Potential application of resistant starch sorghum in gluten-free pasta: Nutritional, structural and sensory evaluations. **Foods**, v. 10, n. 5, 1 maio 2021.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Safra 2020/21**. Brasília, DR: 2021.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Fennema’s Food Chemistry, Fifth Edition**. CRC Press, 2017.
- DYKES, L.; ROONEY, L. W. Sorghum and millet phenols and antioxidants. **Journal of Cereal Science**, nov. 2006.
- EL HALAL, S. L. M. et al. Methods for Extracting Cereal Starches from Different Sources: A Review. **Starch/Staerke** Wiley-VCH Verlag. 1 nov. 2019.

IBGE. Em abril, IBGE prevê alta de 2,3% na safra de 2020. **Estatísticas Econômicas**, 2020.

LAZARO, E. L.; FAVIER, J. F. **Alkali Debranning of Sorghum and Millet**. 2000.

PALAVECINO, P. M., PENCI, M. C., & RIBOTTA, P. D. (2019). Impact of chemical modifications in pilot-scale isolated sorghum starch and commercial cassava starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, 135, 521–529. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.202>

PALAVECINO, P. M.; PENCI, M. C.; RIBOTTA, P. D. Impact of chemical modifications in pilot-scale isolated sorghum starch and commercial cassava starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 135, p. 521–529, 15 ago. 2019.

PRZYBYLSKA-BALCEREK, A.; FRANKOWSKI, J.; STUPER-SZABLEWSKA, K. Bioactive compounds in sorghum. **European Food Research and Technology**, v. 245, n. 5, p. 1075–1080, 1 maio 2019.

SINGH, H.; SODHI, N. S.; SINGH, N. Characterisation of starches separated from sorghum cultivars grown in India. **Food Chemistry**, v. 119, n. 1, p. 95–100, 1 mar. 2010.

SIRA, E. E. P., & AMAIZ, M. L. (2004). A laboratory-scale method for isolation of starch from pigmented sorghum. **Journal of Food Engineering**, 64(4), 515–519. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.11.019>

SUBRAMANIAN, R. C. H. AND P. B.-C. Factors Affecting the Color and Appearance of Sorghum Starch. 1994.

TAYLOR, J. R.; DUODU, K. G. Sorghum and Millets: Chemistry, Technology, and Nutritional Attributes. 2019.

UDACHAN, I. S.; Z HEND, A. K. Extraction and characterization of sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) starch. **International Food Research Journal**. 2012.

USDA. **Grain: World Markets and Trade**. 2021. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>> Acesso em: 14 de outubro de 2022.

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

WATSON, S. A. Corn and sorghum starches: production. **Starch: Chemistry and Technology**. Elsevier, 1984. p. 417–468.

CAPÍTULO 2 – “Starches with natural pigments: A Review”

O capítulo 2 dessa dissertação é composto por uma revisão bibliográfica de amidos com pigmentos naturais. Esse capítulo foi submetido à revista e o artigo conta com o seguinte título “Starches with natural pigments: A Review”.

Abstract

Background: Starch is an essential carbohydrate in human consumption. Many isolation methods are well-conceived in the literature and have been used through the years to isolate and purify starches from various sources. However, when the raw starchy product contains many natural pigments, these methods result in a product with similar colors—an unexplained phenomenon

Scope and Approach: This paper aims to review some starches that have been reported as containing natural pigments after different isolation processes.

Key findings and conclusions: The effect of natural bioactive pigment compounds from the raw material on the isolated starch is evident. The orange, pink and yellow colorations are evidenced in CIELAB values related to the studies. However, there is a gap in studies on how and why this phenomenon happens and the consequences on the properties of these starches.

Key-words

Colored starches, natural additives, starch isolation, CIELAB colors, novel food products

Highlights

- Starches isolated from colored raw materials usually result in products with pigments
- For the removal of natural pigments, chemical products are used that can alter or modify the native starch.
- Starches with natural pigments can be an alternative to synthetic colorants in foods.

1. INTRODUCTION

Starch is a valuable carbohydrate that is not only the primary energy source in human feeding but also plenty valuable for industries. Starch usage in the food industry is diverse, including being an ingredient in syrup, bakery or confectionery production, thickening agent, or a fat replacement (Luzardo-Ocampo et al., 2021). On supermarket shelves, it can be found pure for cuisine uses or as an ingredient in many processed foods with different purposes. The future perspective is to continue to claim a large starch production since it has been a critical ingredient to supply the need to maintain sensory properties in new product developments, such as gluten-free products (Horstmann et al., 2017).

One of the main characteristics of commercial starch is its white or yellowish color (Schmiele et al., 2018), most often related to the color of its raw material. The most popular starch sources are corn, rice, potatoes, cassava, and wheat, popularly white crops. However, some sources, such as sweet potatoes, corn, or sorghum, are very colorful due to their natural pigment. Consequently, some of these pigments may be transferred to the isolated during the starch extraction process, resulting in a colored product (Wang et al., 2020).

A naturally pigmented starch as a product of a colored raw material has been reported primarily on sorghum (Boudries et al., 2009; Palavecino et al., 2019; Sira & Amaiz, 2004; Vieira et al., 2020), sweet potatoes (Kim et al., 2013; Wang et al., 2020), corn (Somavat et al., 2016), and purple yam (Santos et al., 2020). Meanwhile, it is usual that the color analysis of starch is not reported, except when the result is far from plain bright white or pale-yellow.

Starch comprises 99% of its dry weight by the alpha glucans amylose and amylopectin. Depending on their botanical origin, their different proportions result in many particularities and wild versatility (Tester et al., 2004). Moreover, the moisture content usually ranges from 10 to 18%, and after the isolation process, there are trace amounts of proteins, lipids, ashes, and fibers. Those components attribute to starches' different technological and chemical characteristics, and each particularity can be appropriate for another application (Ellis et al., 1998).

Since bright white starch is suitable for many industrial uses for technological properties without significantly affecting the appearance, taste, and smell (Schmiele et al., 2018), these colored starches do not get much usage and attention. Instead, there is an

effort to adapt the starch isolate processes by adding many chemicals, such as sodium hydroxide, to bleach them and obtain the brightest and whitest product (Sira & Amaiz, 2004). Although these efforts have some results, they are not entirely satisfactory. Some points to be considered are that adding chemicals may produce non-native starch by modification, which may not be the purpose. Moreover, these processes may be unsustainable due to the amount of water and reagents used, resulting in a significant waste generation that must have a proper treatment.

The influence of natural pigments on extracted starch is not concisely reported in the literature. So, several bleaching methods and treatments have been developed to extract them as much as possible (el Halal et al., 2019). The recurring justification for this refinement is the standardization of the final product, which would directly impact quality because color can be an opposing point of this starch in specific uses. However, these natural pigments, such as anthocyanins, carotenoids, tannins, and phenolic compounds, are also widely studied for their nutritional and functional potential (Alappat & Alappat, 2020; Brglez Mojzer et al., 2016; Lu et al., 2021). Their consumption is highly indicated for the human diet. Furthermore, extracts of these pigments are often used as natural dyes in the food industry.

Therefore, analyzing this issue, this study aimed to deepen the knowledge of the main described in the literature about starches that were extracted and had significant differences in the color measurement results. Analyze which were these changes, how they impacted starch technological properties, and what are the extraction methods for each of these starches.

2. STARCH ISOLATION

There are many methods for the isolation and extraction of starch. When it comes to cereal starches, this purification is more complicated due to the low moisture content, and the starch is usually associated with the protein matrix. The method is dependent on the protein solubility and the level of protein-starch interactions (el Halal et al., 2019). Some of the most common ones are the alkaline method that can be done in different percentages of NaOH (range from 0,03-0,30%); by wet milling, using 0.45% metabisulfite; or 0.02 m Hydrochloric acid (HCl) + 0.1 m Tris-HCl

buffer/proteinase/toluene); by sonication; by freezing/thawing followed by saline extraction; by only using water (el Halal et al., 2019).

The most common methods of starch isolation are wet milling and alkali extraction. The raw material is homogenized with water in alkali extraction using a blender. The homogenate is filtered with 100- and 200-mesh sieves and steeped in a NaOH aqueous solution for a fixed time. The starch precipitate is washed twice with another NaOH aqueous solution and thrice with distilled water. Finally, the precipitated starch is dried at 40 °C, ground into powder, and passed through a sieve (Somavat et al., 2016; Wang et al., 2020). For the raw material's milling process, starch is steeped in water, with reagents such as lactic acid and sulfur dioxide, for 24h using batch steeping conditions. Then, the steeped material is grounded with water using a blender. Germ and slurry are then sieved, and the starch is rinsed until they are separated. Next, the starch is dried, grounded into powder, and sieved (Somavat et al., 2016)

These methods are well-conceived in the literature and have been used through the years to isolate and purify starches from various sources. However, when the raw starchy product contains many natural pigments, these methods result in a product with similar colors—an unexplained phenomenon.

3. NATURAL PIGMENTS

Colors in foods are a factor of acceptability by the consumer, giving great importance to processing planning. A *dye* is defined as any chemical, natural or synthetic, that imparts color. Pigments are natural substances in the cells and tissues of plants and animals that give this color. In the food industry, there is certification of some substances that can be used as coloring agents. Natural pigments such as anthocyanin, concentrated juices, annatto extract, and some synthetic pigments identical to natural ones, such as beta-carotene, are already exempt from certification when used (Alappat & Alappat, 2020; Damodaran & Parkin, 2017).

Food color exists due to the properties of reflection or emission of energy at wavelengths that come from these dyes and stimulate the retinas of human eyes, usually in the range of 380-770nm (Damodaran & Parkin, 2017). It is also essential in the perception of food quality, for example, the ripening of fruit, or in the perception of flavor, in which the red color, if used in beverages, refers to flavors such as strawberry, raspberry,

cherry, it is not expected to be orange flavor. Besides, there is also indirect importance, such as contributing to the product's flavor assurance, safety, quality, and main characteristics (Martins et al., 2016). However, many of the pigments in food are unstable and are affected by light, oxygen, metals, reducing or oxidizing agents, temperature, water activity, and pH. Thus, to circumvent these changes, unnatural dyes are often added to the system (Lu et al., 2021). However, consumers have been demanding cleaner coloring alternatives to their consumption products since some food colorants have been carcinogenic (Bordim et al., 2021).

Intake of natural pigments has been a regular part of the human diet for several generations and is therefore considered safe. Among them, there are the heme compounds, only found in meat products, which confers the bright red color in fresh products and it is unstable to oxygen contact (Damodaran & Parkin, 2017). In plants, there are naturally occurring carotenoids, anthocyanins, phycobiliproteins, betalains, and chlorophylls (Luzardo-Ocampo et al., 2021).

Carotenoids are yellow-orange-red pigments and work physiologically in plants as secondary in capturing light energy for photosynthesis. When present in roots and leaves, they act as precursors of abscisic acid, a chemical messenger and growth regulator. In humans, carotenoids, due to their retinoid structure (that is, they have a beta-ionone ring), work mainly as precursors of vitamin A, providing up to 100% of the nutritional demand of the human population. Structurally, carotenoids are composed of two structural groups, hydrocarbon carotenes and oxygenated xanthophylls. The structural basis is a backbone of covalently bonded isopropene units to form a symmetric molecule. Some compounds have cyclic groups at the ends of the molecule (e.g., beta-carotene), and some have only one or no cyclic groups (e.g., lycopene). The main carotenes found in plants are alpha-carotene (carrot), capsanthin (paprika), lutein (maize), and bixin (annatto seed). In addition to typical yellow, red and orange foods such as pumpkin, carrots, corn, and sweet potatoes, all green leafy vegetables such as kale and spinach are rich in carotenoids. However, the high concentration of green chlorophyll masks the characteristic tones. Another characteristic of carotenoids is that they are lipophilic compounds and are moderately heat stable but subject to change by oxidation. For the extraction and analysis of carotenoids, a spectral change is noticed after reaction with several reagents, helping the identification (Luzardo-Ocampo et al., 2021).

Flavonoids are a subgroup of phenolic compounds and contain anthocyanins, the largest group of pigments in vegetables. They give different colors like blue, purple,

violet, magenta, red, and orange. Its main composition is the characteristic carbon skeleton C₆C₃C₆, which indicates a linear chain whose two ends have a phenolic ring. The different types of flavonoids are due to the substituent groups in the central structural chain, which may contain hydroxyls, double bonds, and carbonyls (Damodaran & Parkin, 2017).

Anthocyanins are natural water-soluble flavonoids with intense pigmentation. They are present in several foods in the human diet, such as strawberries, raspberries, blackberries, grapes, cherries, black beans, purple corn, and purple sweet potatoes, with their highest value reported in blueberries. It is widely researched in the literature for its antioxidant properties and anti-inflammatory effects, antimicrobial, antiviral, antiallergic, anticarcinogenic, and antimutagenic properties, playing an essential role in the prevention of degenerative and systemic diseases (Liu et al., 2021). The basic structure of anthocyanins is the 2-phenylbenzopyrone of the flavylum salt, and they occur as polyhydroxy and/or poly-methoxy glycosides derived from the salt. They differ in the number of hydroxyls and/or methoxy groups present, types, numbers, binding sites of sugars in the molecule, and types and numbers of aliphatic or aromatic acids attached to the molecule. The most common sugars are glucose, rhamnose, galactose, arabinose, xylose, di, and trisaccharides.

Furthermore, the acids of this acylation are usually aromatic, such as p-coumaric, caffeic, ferulic, synaptic, and gallic. Thus, these acyl substituents are generally attached to the C-3 sugar, and esterified to the 6-OH or 4-OH group of sugars. Moreover, an anthocyanidin is when this anthocyanin sugar is hydrolyzed.

The color of anthocyanins and anthocyanidins results from the excitation that their molecule receives from visible light. These molecules have electronic mobility facilitated by double bonds and substitutions in the molecule structure, such as the number and type of sugar substitutions and acylation. Other factors can affect color characteristics, such as pH change, metal complex formation, and co-pigmentation. As they are poorly water-soluble, anthocyanidins are not naturally occurring, being reported in the plant kingdom, and only six are contained in foods, pelargonidin, cyanidin, delphinidin, peonidin, petunidin, and malvidin. The others are generally by-products of hydrolysis that can occur in isolation processes (Alappat & Alappat, 2020).

Anthocyanins are generally not very stable, having a more stable behavior under acidic conditions. Color, hue, and saturation characteristics are altered by degradation occurring naturally during extraction, processing, and storage due to pH, temperature, and

oxygen concentration. Thus, knowledge about anthocyanins is essential for choosing processes that minimize this degradation and maintain the desired color of the pigment in the final product (Damodaran & Parkin, 2017)

4. REPORTED STARCHES WITH PIGMENTS

Sweet potato is a tuber known for its variety of colors, such as white, yellow, orange, and purple, with a diversity of high nutritional value compounds, such as carotenes, anthocyanins, and minerals. (Wang et al., 2020) indicate that the type of sweet potato from which the starch was extracted interferes with the final color of the starch product, even when leaching processes are carried out to extract the pigments from the final product as much as possible. And in this, the presence and content of natural pigments such as anthocyanin are also directly correlated with the final color of the starch, showing that the purple sweet potatoes analyzed had positive values of a^* (tendency toward red) and higher values, also positive, of b^* (tendency towards blue), while the white varieties had negative values of a^* (trend towards yellow) and smaller values of b^* (closer to neutrality). Moreover, in the luminosity factor, the white species had higher values (closer to the limit of 100), and in the colored varieties, there was a decrease in this value (Wang et al., 2020).

Corn is another vegetable popularly known for being rich in starch and existing in several colors naturally, mainly in South America. Although the yellow variety is the most popular, there are also pink, blue, purple, orange, and red varieties. (Somavat et al., 2016) reports the comparison of starch extraction from different colored maize cultivars. Their results show the difference in yield and the characteristics of the final product. When analyzing the Hunter values for the purple maize cultivar, the positive and relatively high a^* value (7.37 ± 0.73) and a negative b^* value close to zero (-0.26 ± 0.19), that is, tending towards red. A more distant luminosity value to white was also reported (82.03 ± 2.04). Written in several articles is the reference by (Ellis et al., 1998) that a standard starch has luminosity above 90, making this result not considered appropriate and that it would need to improve the whiteness of this starch. The result is generally explained by the high content of anthocyanins present in the plant, reported as 6g/kg.

Another study that reports extracted starches whose color is evident is (Jaiswal et al., 2021). The comparison is made between sorghum cultivars, one pigmented and the other non-pigmented, after irradiation treatment. The analyzed sorghums had white, red, yellow, and black colors and, despite being carried out. Hunter values found for pigmented starch were ($L = 76.4$, $a = 6.2$, $b = 11.9$), indicating that there is also a coloration that goes beyond white.

In the study of the characterization of starch isolated from sorghum cultivars (Vieira et al., 2020), the colorimetric profile of the products was made. Despite using a starch extraction method with a pigment leaching step, the final result still presents the brown pericarp cultivar, differentiated by its tannin content, a light brown starch color, and the white and red pericarp cultivars expressed a light pink color trend.

Starch is also a suitable carrier for carotenoid pigments extracted from shrimp waste. Carotenoids are fat-soluble compounds that are best extracted with organic solvents or vegetable oils. In this case, an isopropyl alcohol and hexane mixture was used to extract these pigments from shrimp. The result is a thick paste that is difficult to use because it does not dissolve well in food matrices. Then corn starch and sodium alginate were used as carriers of this pigment and added to the concentrated extract in a proportion of 15g/100g. The organic solvent was evaporated, and finally, a pigmented carrier was obtained. Pigmented carriers have been used successfully to color fish sausages, which benefits from its recipe's pigmented starch properties and coloring properties. There was also the nutritional benefit of adding carotenoids and sensory, not only in color but also in flavor. Finally, it was shown that the color variation comparing raw and cooked sausage did not require a color stabilizer (Sachindra & Mahendrakar, 2010).

For a better view of the founded research results related to starches with natural pigments, Table 1 presents a compilation and their respective starch extraction method.

5. DIFFERENCES IN TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF STARCHES

The industrial usage of a specific type of starch is mainly related to its technological properties, such as a low gelatinization temperature and low tendency to retrograde. Thermal and pasting properties are related to their behavior, and they are mainly a result of the characteristics of the granule, such as size, shape, and amylose/amylopectin

proportion, and these starch granule features are dependent on the source of extraction (Paixão e Silva et al., 2021).

Pasting properties are analyzed through a heating and cooling viscometer that measures the viscosity while stirred, called the Rapid Visco Analyser, which observes this water-starch interaction. It is done in stages, heating, holding the mixture at a maximum temperature, cooling, and holding in a final step. As a result, a profile on how water and starch interact when submitted to temperature and time. The main results are the pasting temperature, the peak viscosity, and the final viscosity after cooling (Balet et al., 2019).

In addition, thermal properties analysis is also helpful in determining the starch quality. The Differential Scanning Calorimetry (DSC) is a thermoanalytical method that determines the kinetics of starch gelatinizations since it is an endothermic reaction. The results are shown in a thermogram, but the primary data provided by this analysis are the Gelatinization onset temperature (T_o), gelatinization peak temperature (T_p), gelatinization final temperature (T_c), and the gelatinization enthalpy (ΔH) (Karlsson & Eliasson, 2003). The pasting and thermal properties of the starches with natural pigments analyzed in this review are listed in table 2.

6. FUTURE PERSPECTIVES

The effect of natural bioactive pigment compounds from the raw material on the isolated starch is evident. The orange, pink and yellow colorations are evidenced in CIELAB values related to the studies. However, there is a gap in studies on how and why this phenomenon happens and the consequences on the properties of these starches.

A further investigation would provide a broader knowledge on which could be novel food applications, mainly because it has been a trend to develop functional products that are clearly labeled without using artificial food colorants and have the benefits of the bioactive compounds.

Table 2 - Reported starch color parameters

Source	Starch Extraction Method	Color Variety	L	a*	b*	C*	h	Reference
Sweet Potato	Alkaline Steeping (0.1% NaOH)	Light Yellow 1	96.70 ± 0.01	-0.30 ± 0.03	3.02 ± 0.03			(Wang et al., 2020)
		Light Yellow 2	96.08 ± 0.03	-0.21 ± 0.04	2.99 ± 0.03			
		Light Yellow 3	95.11 ± 0.16	-0.12 ± 0.01	4.01 ± 0.10			
		Light Yellow 4	96.83 ± 0.02	-0.02 ± 0.02	2.26 ± 0.13			
		Orange 1	94.76 ± 0.08	-0.22 ± 0.01	3.69 ± 0.03			
		Orange 1	95.45 ± 0.08	0.13 ± 0.03	3.84 ± 0.10			
		Purple 2	93.54 ± 0.08	0.13 ± 0.01	4.53 ± 0.11			
Sweet Potato	Alkaline Steeping (0.2% NaOH)	Purple 2	91.40 ± 0.01	0.36 ± 0.02	5.45 ± 0.06			(Kim et al., 2013)
		Orange 1	92.6 ± 0.0	- 0.02 ± 0.02	1.78 ± 0.02			
		Orange 1	93.4 ± 0.0	- 0.02 ± 0.02	1.99 ± 0.03			
		Purple 2	90.7 ± 0.2	0.21 ± 0.01	2.28 ± 0.03			
		Purple 2	89.7 ± 0.0	0.11 ± 0.01	3.67 ± 0.01			
		White / Cream 1	93.9 ± 0.0	- 0.11 ± 0.00	1.34 ± 0.06			
		White / Cream 2	92.1 ± 0.0	- 0.11 ± 0.01	2.31 ± 0.04			
		White / Cream 3	93.6 ± 0.1	- 0.14 ± 0.01	1.69 ± 0.18			
		White / Cream 4	92.0 ± 0.0	- 0.22 ± 0.01	2.12 ± 0.01			
Sorghum	Wet milling	BRS 305	91,23 ± 0,47			6,47 ± 0,25	59,86 ± 0,40	(Vieira et al., 2020)
		BRS 310	95,86 ± 0,42			5,68 ± 0,40	58,84 ± 0,34	
		BRS 501	95,61 ± 0,75			3,49 ± 0,40	77,90 ± 0,76	
Corn	Wet-milling	Purple	82,03 ± 2,04	7.37 ± 0.73	-0.26 ± 0.19			(Somavat et al., 2016)
		Blue	91.45 ± 0.16	4.71 ± 0.18	-1.48 ± 0.15			
		Yellow	97.70 ± 0.28	-2.89 ± 0.07	9.23 ± 0.22			
Purple Yam	Alkaline Extraction	Purple	84.8 ± 0.70	1.5 ± 0.11	8.4 ± 0.09	8.5 ± 0.07	100.4 ± 0.10	(Santos et al., 2020)
Sorghum	Aqueous Extraction	Purple	76.0 ± 0.20	0.90 ± 0.09	5.7 ± 0.09	5.74 ± 0.08	99.9 ± 0.25	(Palavecino et al., 2019)
	Wet Milling	White	92.48	0.63	5.28			
Sorghum	Alkali Extraction	Brown	91.43	0.34	4.98			(Boudries et al., 2009)
		White	92.91 ± 0.00	0.26 ± 0.00	3.58 ± 0.03			
Sorghum	Wet Milling	Red	91.06 ± 0.04	0.48 ± 0.02	4.15 ± 0.00			(Sira & Amaiz, 2004)
		Dark Sorghum	91.3	-0.31	10.1			
		White Sorghum	78.4	2.3	16.5			

Table 3 - Pasting and thermal properties of starches whose color has been reported. T_o – Gelatinization onset temperature; T_p – gelatinization peak temperature; T_c – final temperature; ΔH – gelatinization enthalpy

Source	Starch Extraction Method	Color Variety	RVA			DSC Parameters			ΔH (J/g)	Reference
			Pasting Temperature (°C)	Peak Viscosity (cP)	Final Viscosity (cP)	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)		
Sweet Potato	Alkaline Steeping (0.1% NaOH)	Light Yellow 1	82.0 ± 0.4	5578 ± 29	3243 ± 18	73.94 ± 0.30	78.63 ± 0.06	85.08 ± 0.36	11.51 ± 0.11	(Wang et al., 2020)
		Light Yellow 2	75.0 ± 0.1	5880 ± 31	3370 ± 7	71.25 ± 0.09	76.71 ± 0.04	83.66 ± 0.32	5.22 ± 0.01	
		Light Yellow 3	78.6 ± 0.5	5909 ± 38	3316 ± 23	68.78 ± 0.32	77.86 ± 0.34	85.22 ± 0.51	5.31 ± 0.07	
		Light Yellow 4	80.8 ± 0.1	5580 ± 32	2944 ± 12	72.14 ± 0.26	77.31 ± 0.36	84.72 ± 0.34	10.42 ± 0.16	
		Orange 1	76.5 ± 0.5	6475 ± 50	3450 ± 18	65.91 ± 0.21	75.21 ± 0.57	82.14 ± 0.44	2.96 ± 0.04	
		Orange 1	79.6 ± 0.5	5810 ± 37	3526 ± 33	70.23 ± 0.43	77.32 ± 0.35	84.80 ± 0.28	3.14 ± 0.00	
		Purple 2	81.1 ± 0.4	5585 ± 34	3507 ± 17	73.84 ± 0.05	79.35 ± 0.05	85.71 ± 0.07	8.06 ± 0.08	
Sweet Potato	Alkaline Steeping (0.2% NaOH)	Purple 2	80.2 ± 0.5	6462 ± 48	5003 ± 14	71.33 ± 0.29	77.72 ± 0.12	83.79 ± 0.28	5.34 ± 0.02	(Kim et al., 2013)
		Orange 1	69.4 ± 0.1	510.2 ± 0.0	295.9 ± 0.7	54.2 ± 0.0	61.4 ± 0.3	85.8 ± 2.6	15.1 ± 4.7	
		Orange 1	73.4 ± 0.0	436.1 ± 8.0	303.4 ± 5.1	54.8 ± 0.1	66.1 ± 0.0	91.5 ± 1.9	23.1 ± 2.4	
		Purple 2	73.6 ± 0.1	435.5 ± 3.4	255.7 ± 1.6	68.7 ± 0.2	75.6 ± 0.0	85.0 ± 0.4	18.2 ± 0.4	
		Purple 2	75.9 ± 0.1	465.7 ± 0.2	519.8 ± 0.8	56.4 ± 0.9	70.4 ± 0.1	78.9 ± 0.5	12.9 ± 2.4	
		White / Cream 1	73.9 ± 0.6	422.3 ± 2.7	249.3 ± 2.7	67.8 ± 0.2	75.3 ± 0.1	87.7 ± 1.1	24.7 ± 1.2	
		White / Cream 2	76.4 ± 0.7	519.1 ± 8.5	270.2 ± 4.1	64.1 ± 0.7	76.3 ± 0.6	84.6 ± 1.9	16.6 ± 0.5	
		White / Cream 3	74.0 ± 0.6	480.9 ± 7.1	275.9 ± 7.5	67.1 ± 0.1	73.7 ± 0.1	80.1 ± 0.4	11.8 ± 0.2	
		White / Cream 4	76.1 ± 0.0	438.5 ± 5.8	258.0 ± 0.8	67.0 ± 0.8	76.2 ± 0.1	89.0 ± 0.6	21.3 ± 0.5	
Purple Yam	Alkaline Extraction Aqueous Extraction	Purple	82.0 ± 0.02	4740.5 ± 0.01	3173.5 ± 0.07	32.09	90.56	136.24		(Santos et al., 2020)
		Purple	79.5 ± 0.02	4178.0 ± 0.01	02.5 ± 0.07	34.79	90.02	136.49		
Sorghum	Alkali Extraction	White	73.8 ± 0.4	4093 ± 9.9	3718 ± 14.8	66.60 ± 0.18	70.60 ± 0.27	76.78 ± 0.06	9.087 ± 0.011	(Boudries et al., 2009)
		Red	74.7 ± 0.6	4731 ± 36.5	3593 ± 43.1	68.43 ± 0.06	72.29 ± 0.08	77.09 ± 0.04	8.270 ± 0.032	

REFERENCES

- Alappat, B., & Alappat, J. (2020). Anthocyanin pigments: Beyond aesthetics. In *Molecules* (Vol. 25, Issue 23). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules25235500>
- Balet, S., Guelpa, A., Fox, G., & Manley, M. (2019). Rapid Visco Analyser (RVA) as a Tool for Measuring Starch-Related Physiochemical Properties in Cereals: a Review. In *Food Analytical Methods* (Vol. 12, Issue 10, pp. 2344–2360). Springer Science and Business Media, LLC. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01581-w>
- Bordim, J., Lise, C. C., Marques, C., Oldoni, T. C., Varela, P., & Mitterer-Daltoé, M. L. (2021). Potential use of naturally colored antioxidants in the food industry—A study of consumers' perception and acceptance. *Journal of Sensory Studies*, 36(4). <https://doi.org/10.1111/joss.12657>
- Boudries, N., Belhaneche, N., Nadjemi, B., Deroanne, C., Mathlouthi, M., Roger, B., & Sindic, M. (2009). Physicochemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria. *Carbohydrate Polymers*, 78(3), 475–480. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.05.010>
- Brglez Mojzer, E., Knez Hrnčič, M., Škerget, M., Knez, Ž., & Bren, U. (2016). Polyphenols: Extraction Methods, Antioxidative Action, Bioavailability and Anticarcinogenic Effects. In *Molecules (Basel, Switzerland)* (Vol. 21, Issue 7). <https://doi.org/10.3390/molecules21070901>
- Damodaran, S., & Parkin, K. L. (2017). *Fennema's Food Chemistry, Fifth Edition*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315372914>
- el Halal, S. L. M., Kringel, D. H., Zavareze, E. da R., & Dias, A. R. G. (2019). Methods for Extracting Cereal Starches from Different Sources: A Review. In *Starch/Staerke* (Vol. 71, Issues 11–12). Wiley-VCH Verlag. <https://doi.org/10.1002/star.201900128>
- Ellis, R. P., Cochrane, P., Finlay, M., Dale, B., Dupus, C. M., Lynn, A., Morrison, I. M., Derek, R., Prentice, M., Swanston, J. S., & Tiller, S. A. (1998). Starch Production and Industrial Use. In *J Sci Food Agric* (Vol. 77).
- Horstmann, S. W., Lynch, K. M., & Arendt, E. K. (2017). Starch characteristics linked to gluten-free products. In *Foods* (Vol. 6, Issue 4, pp. 1–21). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods6040029>
- Jaiswal, V., Rawat, K. P. S., Gupta, A. D., Bhadauria, V., Chavan, U., Kalita, D., & Singh, H. (2021). Comparison of Starch Characteristics from Pigmented and Non-Pigmented Sorghum Cultivars before and after Electron Beam Irradiation. *Starch/Staerke*, 73(3–4). <https://doi.org/10.1002/star.202000143>
- Karlsson, M. E., & Eliasson, A. C. (2003). Gelatinization and retrogradation of potato (*Solanum tuberosum*) starch in situ as assessed by differential scanning calorimetry (DSC). *LWT - Food Science and Technology*, 36(8), 735–741. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00093-8](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00093-8)

- Kim, J., Ren, C., & Shin, M. (2013). Physicochemical properties of starch isolated from eight different varieties of Korean sweet potatoes. *Starch/Staerke*, 65(11–12), 923–930. <https://doi.org/10.1002/star.201200217>
- Liu, J., Zhou, H., Song, L., Yang, Z., Qiu, M., Wang, J., & Shi, S. (2021). Anthocyanins: Promising natural products with diverse pharmacological activities. *Molecules*, 26(13). <https://doi.org/10.3390/molecules26133807>
- Lu, W., Shi, Y., Wang, R., Su, D., Tang, M., Liu, Y., & Li, Z. (2021). Antioxidant activity and healthy benefits of natural pigments in fruits: A review. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 22, Issue 9). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms22094945>
- Luzardo-Ocampo, I., Ramírez-Jiménez, A. K., Yañez, J., Mojica, L., & Luna-Vital, D. A. (2021). Technological applications of natural colorants in food systems: A review. In *Foods* (Vol. 10, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods10030634>
- Martins, N., Roriz, C. L., Morales, P., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 52, pp. 1–15). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.009>
- Paixão e Silva, G. de L., Bento, J. A. C., Soares Júnior, M. S., & Caliar, M. (2021). Trend of Modification by Autoclave at Low Pressure and by Natural Fermentation in Sweet Potato and Cassava Starches. *Polysaccharides*, 2(2), 354–372. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides2020023>
- Palavecino, P. M., Penci, M. C., & Ribotta, P. D. (2019). Impact of chemical modifications in pilot-scale isolated sorghum starch and commercial cassava starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 521–529. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.202>
- Sachindra, N. M., & Mahendrakar, N. S. (2010). Stability of carotenoids recovered from shrimp waste and their use as colorant in fish sausage. *Journal of Food Science and Technology*, 47(1), 77–83. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0019-z>
- Santos, S. de J. L., Pires, M. B., Amante, E. R., Rodrigues, A. M. da C., & da Silva, L. H. M. (2020). Isolation and characterization of starch from purple yam (*Dioscorea trifida*). *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197>
- Schmiele, M., Sampaio, U. M., & Pedrosa Silva Clerici, M. T. (2018). Basic principles: Composition and properties of starch. In *Starches for Food Application: Chemical, Technological and Health Properties* (pp. 1–22). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809440-2.00001-0>
- Sira, E. E. P., & Amaiz, M. L. (2004). A laboratory-scale method for isolation of starch from pigmented sorghum. *Journal of Food Engineering*, 64(4), 515–519. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.11.019>
- Somavat, P., Li, Q., de Mejia, E. G., Liu, W., & Singh, V. (2016). Coproduct yield comparisons of purple, blue and yellow dent corn for various milling processes. *Industrial Crops and Products*, 87, 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.062>

Tester, R. F., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch - Composition, fine structure and architecture. In *Journal of Cereal Science* (Vol. 39, Issue 2, pp. 151–165). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>

Vieira, A. L. S., Duarte, G. B., Queiroz, V. A. V., Correa, T. R., Silva, V. D. M., Araújo, R. L. B., Garcia, M. A. V. T., & Fante, C. A. (2020). Caracterização do amido isolado de diferentes cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Brazilian Journal of Development*, 6(5), 24704–24718. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-067>

Wang, H., Yang, Q., Ferdinand, U., Gong, X., Qu, Y., Gao, W., Ivanistau, A., Feng, B., & Liu, M. (2020). Isolation and characterization of starch from light yellow, orange, and purple sweet potatoes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 160, 660–668. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.259>

CAPÍTULO 3 – EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE AMIDOS DE SORGO PIGMENTADO E SUAS POSSÍVEIS APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi extrair o amido de três cultivares de sorgo colorido (Comercial vermelho, SSG150T e BRS Ponta Negra), e avaliar as propriedades físico-químicas, morfológicas, tecnológicas e bioativas dos amidos, bem como sugerir aplicações desses amidos como pigmentos naturais para indústria de alimentos. Foi feita uma extração aquosa dos amidos cujos rendimentos variaram entre 4 e 6 %. Os amidos foram separados em tipo A e tipo B para o sorgo comercial vermelho e sorgo BRS Ponta Negra. O sorgo SSG150T apresentou apenas um tipo de amido. Ao total foram analisados 5 amidos diferentes de 3 variedades de sorgo. Os amidos foram caracterizados quanto a sua composição proximal, indicando umidade entre 8,32 e 10,84 %, teores de cinzas próximos ao zero e atividade d'água entre 0,31 e 0,48. Quanto a análise de cor, os amidos tiveram variação de luminosidade entre 75,67 e 95,52, de croma entre 3,46 e 9,94 e de ângulo Hue entre 32,63 e 79,48. O teor de amilose presente nos amidos variou entre 28,50 e 38,50%. O perfil de viscosidade foi feito apresentando picos de viscosidade máxima entre 1314,5 e 2656,2 cP e de viscosidade mínima entre 710 e 1086,3 cP. As temperaturas de pasta variaram entre 67,1 e 68,4 °C. O perfil de textura foi realizado apresentando resultados de dureza entre 1,95 e 6,62 N. A análise de difração de Raio-X apresentou resultados de cristalinidade dos amidos entre 15,10 e 21,02 %. Quanto as propriedades térmicas analisadas via RVA, as amostras apresentaram temperatura inicial entre 64,01 e 66,91 °C, temperatura de pico entre 70,19 e 73,09 °C, temperatura final entre 80,12 e 87,25 °C, além das entalpias de gelatinização das amostras entre 4,70 e 11,56 J/g. A análise de espectrometria IV com Transformada de Fourier demonstrou que os amidos estão em sua forma nativa. A análise de MEV demonstrou que os amidos possuem formas esféricas e poliédricas e, alguns amidos extraídos apresentam diversos compostos não-amiláceos e grânulos quebradiços. O teor antioxidante dos amidos foi analisado pelo método de descoloração por DPPH, possuindo um destaque para o amido do sorgo BRS Ponta Negra tipo B com 64,24% de descoloração. Os outros amidos apresentaram percentuais de descoloração entre 2,26 e 6,25 %, e o amido do sorgo comercial vermelho tipo A não obteve resultados palpáveis. O teor de compostos fenólicos foi analisado pelo método de Folin-Ciocalteu e, não foi possível obter resultados para o amido do sorgo comercial vermelho, o sorgo SSG150 T obteve um teor de 12,44 µg de ácido gálico por ml, e os amidos do sorgo BRS Ponta Negra tipo A e tipo B

obtiveram, respectivamente, teores de 0,11 e 63,23 μg de ácido gálico por ml. A análise de espectrometria de massas foi feita utilizando como padrão a catequina, quercetina e ácido gálico e os 3 compostos foram identificados em extratos de todos os amidos. Por fim, foi feita a análise de componentes principais (ACP) utilizando os resultados encontrados. Os resultados apresentam o potencial para o uso do amido de sorgo em diversos ramos da indústria alimentícia como por exemplo, aplicações que demandem o uso de corantes naturais e alimentos com enriquecimento em compostos bioativos.

Palavras-chave: ingredientes naturais; tecnologia; propriedades de amido; compostos bioativos, enriquecimento nutricional; análise de componentes principais.

1. INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) é um cereal, da mesma família do milho e milheto, cultivado em todo o mundo, mas com adesão na alimentação humana somente em países da África e Ásia, onde possui papel essencial na garantia da segurança alimentar, sendo ingrediente na produção de pães e mingaus (JAISWAL et al., 2021). Em países desenvolvidos, como EUA e Austrália, o grão de sorgo é utilizado principalmente para alimentação animal e produção de etanol (WU et al., 2016). No Brasil, assim como nos EUA e Austrália, o sorgo geralmente é destinado a alimentação animal por ser um grão de menor valor agregado e teor nutricional semelhante ao milho. E, usualmente, é um cultivo de transição entre as plantações, pois naturalmente resiste bem a longos períodos de seca e possui baixa necessidade de fertilizantes (ZHU, 2014).

O sorgo é um cereal conhecido por ter uma alta variabilidade de espécies, que variam principalmente em sua composição nutricional, onde algumas espécies são destaque pelo alto teor de compostos fenólicos e capacidade antioxidante, estes relacionados como agentes de prevenção de diversas doenças como o câncer (PASHA et al., 2015). Assim, com o aumento da procura de produtos da categoria sem glúten, juntamente com o arroz o sorgo vem tomando destaque como matéria-prima viável para ser essa nova fonte de carboidratos com apelo nutricional e funcional (CERVINI et al., 2021).

Estudos caracterizam os grãos de sorgo como uma combinação de compostos promotores da saúde, incluindo polifenóis, flavonóides e taninos, sendo estes em maiores proporções (CARDOSO, PINHEIRO, MARTINO, & PINHEIRO-SANT'ANA, 2017). Além disso, foram também identificados, principalmente em variedades de sorgo de pericarpo preto, derivados de antocianinas, nomeadamente 3-desoxiantocianidinas (GIRARD & AWIKA, 2018), além de três ácidos hidroxicinâmicos, nomeadamente ácido ferúlico, ácido cafeico e ácidos p - cumárico, foram identificados (WU et al., 2016).

Rochete et al. (2020), analisou a digestibilidade de farinhas de sorgo pigmentados contendo amido e destacou fortes correlações entre os valores de digestibilidade do amido, taninos totais condensados, kafirinas e antocianinas. Em conjunto, esses achados indicaram que as farinhas de sorgo pigmentadas podem ser um material valioso para a formulação de produtos alimentares à base de cereais mais saudáveis e funcionais, com teores presumivelmente elevados de amido lentamente digerível, amido resistente, antocianinas e taninos condensados.

Assim como os outros cereais, o sorgo é uma fonte de amido, sendo 70% da composição desse polissacarídeo (ZHU, 2014). Entretanto, a extração do amido de sorgo é pouco explorada devido ao alto impacto dos pigmentos naturais da matéria-prima no produto final. O amido, popularmente padronizado como branco e luminoso, quando extraído de matérias primas coloridas, como algumas variedades de sorgo, passa a possuir variações em sua medição de cor, podendo apresentar tendências ao cinza, amarelo, rosa e laranja (EL HALAL et al., 2019). Isso torna o produto pouco atrativo à exploração pois, geralmente, busca-se que o amido seja polivalente em seus diversos usos, tanto alimentícios quanto aqueles relacionados aos outros tipos de indústrias como a cosmética, farmacêutica, têxtil, entre outras. Entretanto, apesar dessa diferença de cor, o amido de sorgo se assemelha bastante ao amido de milho em suas propriedades funcionais (MEHBOOB et al., 2015). O que, em vista a grande produção e o atual baixo valor agregado da matéria-prima pode ser significativo explorar o potencial tanto do sorgo, como de seu amido em diversas novas aplicações, principalmente na indústria alimentícia.

Assim, influenciar o consumo de sorgo, através do desenvolvimento de tecnologias de extração, inserindo-o como ingrediente natural em novos produtos ou produtos já existentes, pode ser relevante na alimentação humana por seu valor nutricional, principalmente, quanto a presença de compostos bioativos que contribuem como agentes oxidantes no corpo humano (DYKES; ROONEY, 2006).

Isto posto, o a presente pesquisa tem como objetivo fazer a extração e caracterização do amido de três variedades de sorgo colorido (Comercial vermelho, SSG 150T e BRS Ponta Negra), bem como avaliar as propriedades físico-químicas, morfológicas, tecnológicas e bioativas dos amidos extraídos e sugerir, a partir dos resultados obtidos, aplicações do amido com pigmentos naturais para utilização na indústria de alimentos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Matéria Prima

As amostras de sorgo pigmentado (Comercial vermelho, SSG 150 T e BRS Ponta Negra) foram doadas pela Embrapa Milho e Sorgo (Rod MG 424 Km 45, Zona Rural - Sete Lagoas, MG, 35701-970). A figura 1 apresenta imagens das três cultivares de sorgo estudadas.

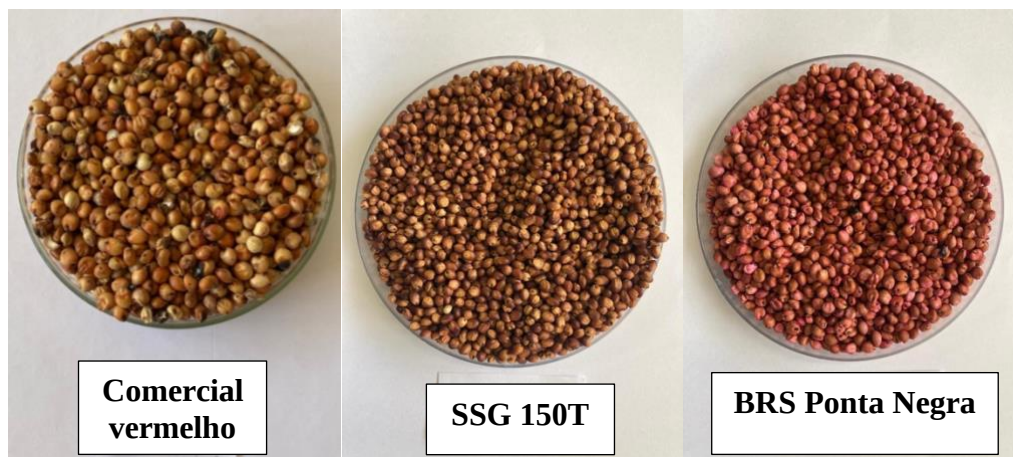


Figura 1 - Imagens dos grãos de sorgo utilizados como matéria-prima. Da esquerda para direita: Comercial Vermelho, SSG 150 T e BRS Ponta Negra.

O planejamento experimental para a determinação de resultados consistiu em particionar o amido extraído em 3 e as análises foram realizadas para cada em triplicata. Os resultados foram apresentados como valores médios seguidos de seus respectivos desvios-padrão.

2.2 Extração aquosa

Para a extração do amido, as amostras de sorgo antes de serem processadas foram limpas por suspensão em água e aqueles grãos e sujidades que flutuavam foram removidos (UFRGS, 2004). O método de extração (Figura 2) utilizou os grãos e água destilada em uma proporção 1:2 (peso/peso) em um liquidificador industrial por 2 min, como descrito por Oliveira et al. (2021), com modificação. A mistura formada foi filtrada em pano Oxford e em peneira com 0,125mm de abertura (120 mesh) até a obtenção de um resíduo sólido com o menor teor de água possível. A água rica em amido foi reservada para decantação por 24 horas. Após o tempo, o sobrenadante foi descartado e o sedimento lavado, peneirado em uma peneira com abertura de 0,074mm (200 mesh) e reservado para decantação por mais 15 a 24 horas sob refrigeração a 4°C. A lavagem do amido foi feita entre 4-8 vezes a depender do grau de sujidades e impurezas visíveis, visando obter um sobrenadante translúcido, e um sedimento duro e sem variações de cor. Em seguida, o produto foi centrifugado (8000 rpm, 15 minutos), o sobrenadante foi descartado, e o excesso da camada proteica, mole e colorida, superior ao sedimento, foi retirada com o auxílio de uma espátula (SINGH; SODHI; SINGH, 2010). Por fim, o sedimento foi seco

em estufa com circulação e renovação de ar (TE-394/4 MP, TECHNICAL) à 40 °C por 48h, o sólido obtido foi peneirado a 80 mesh (abertura 0,177 mm). As amostras foram particionadas e armazenadas em sacos plásticos de PVC (policloreto de vinila) sob congelamento a -15 °C até sua utilização em análises. A figura 2 apresenta um diagrama do processo utilizado para a extração do amido de sorgo pigmentado. O rendimento do processo de extração foi calculado pela equação 1:

$$\text{Rendimento \%} = \frac{\text{massa de amido seca (g)}}{\text{massa de matéria prima seca (g)}} \quad (1)$$

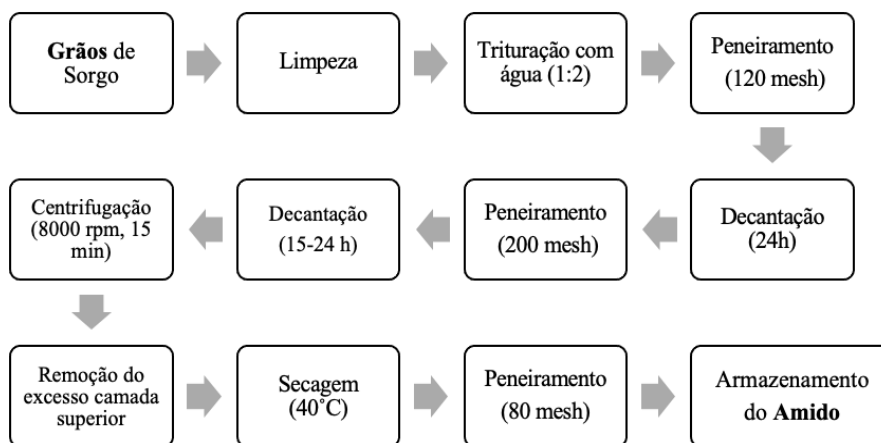


Figura 2 - Diagrama de blocos do processo de extração do amido de sorgo pigmentado.

2.3 Composição Proximal

As análises de composição química dos amidos extraídos foram realizadas em triplicata, segundo as normas descritas pela A.O.A.C. International (2012). A umidade foi determinada por dessecação da amostra em estufa a 105°C, até atingir peso constante e o teor de cinzas foi determinado por carbonização da amostra, seguida por incineração completa em mufla a 550°C. O teor de proteína foi realizado pelo método de Micro-Kjeldahl, seguindo as etapas de digestão, destilação e titulação, e utilizando-se 6,25 como fator de conversão em proteína bruta, e o teor de lipídios foi realizado utilizando-se extrator Soxhlet e éter de petróleo como solvente.

2.4 Atividade de água

Foram realizadas de acordo com as normas descritas pela A.O.A.C. International (2012). A atividade de água foi determinada utilizando-se o equipamento de higrômetro do ponto de orvalho AquaLab (Decagon Devices, 3TE, Pullman, USA)

2.5 Parâmetros Instrumentais de Cor

Foram realizadas de acordo com o sistema CIE L*a*b*, utilizando-se um colorímetro (Bankinh Meter Minolta, BC-10, Ramsey, USA). Os resultados foram expressos em: valores medidos de L* (luminosidade ou brilho), e os valores calculados de cromaticidade (C*) (Equação 2) e ângulo hue (hue) a partir das medições a* e b*, de acordo com Mcguire (1992). Seguindo-se a regra do método, como todos os valores obtidos de a* e b* para as amostras analisadas foram maiores que zero, o ângulo hue foi considerado o mesmo valor de theta calculado (Equação 3). Foram realizadas 10 replicatas para a análise dos parâmetros instrumentais de cor.

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

$$theta = \left(\frac{\text{atan}\left(\frac{b*}{a*}\right)}{6.2832} \right) * 360 \quad (3)$$

2.6 Microestrutura do amido

As amostras foram preparadas em suportes de alumínio e recobertas com película de ouro e observadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) (Jeol, JSM-6610, Tokyo, Japan) equipado com EDS (Thermo Scientific NSS Spectral Imaging) (OLIVEIRA et al., 2021). As micrografias de superfície foram geradas nos aumentos de ordem de 5000x, 1500x, 300x e 150x.

2.7 Propriedades de pasta (RVA)

As propriedades de pasta foram determinadas em *Rapid Visco Analyser* - RVA (Perten, RVA 4500, Macquarie Park, Austrália). A amostra (10 %, m/m) foi submetida ao método padrão 02 do equipamento, e teve a umidade ajustada para 14% (m/m). Durante a corrida, realizada sob agitação a 160 rpm, o equipamento foi mantido a 50 °C por 1 min, em seguida, foi aquecido até 95 °C a uma razão de 6 °C/min, permanecendo nesta temperatura por 5 min, e então é resfriado a 50 °C, também com taxa de 6 °C/min, mantendo a esta temperatura por 2 min. Foram determinados os seguintes parâmetros: temperatura de pasta; viscosidade máxima, mínima e final; quebra de viscosidade; e tendência a retrogradação (OLIVEIRA et al., 2021).

2.8 Perfil textural

As pastas obtidas nos recipientes de alumínio do RVA foram mantidas em B.O.D. a 4°C por 24 h para a análise do perfil textural do gel. Para isso foi utilizado um texturômetro (Stable Micro System, TA.XT2 plus, Godalming, UK), e foram determinados os parâmetros de dureza, adesividade, elasticidade, coesividade, gomosidade, mastigabilidade e resiliência, usando probe P/20, velocidade de pré-teste = 2.0 mm s⁻¹, velocidade de teste = 1.0 mm s⁻¹, velocidade pós-teste = 10.0 mm s⁻¹, distância de perfuração = 60 mm, e força = 10 g (OLIVEIRA et al., 2021). Foram realizadas 3 repetições para cada tratamento.

2.9 Difração raios-X

A análise de difração de raio-X dos amidos foi realizada em difratômetro de bancada (SHIMADZU, DRX-6000. Foi utilizado fonte de cobre com linha em Cu K 1,54 Angstrom em 40 KV e 20 mA. As configurações de análise foram: scanning mode continuous scan, o range de 10 até 80 (deg), o step de 0,02 (deg) e o scan speed de 2deg/min. (NARA; KOMIYA, 1983).

2.10 Análise termogravimétrica – DSC

As propriedades térmicas foram determinadas utilizando um calorímetro diferencial de varredura-DSC (TA Instruments, Q20, New Castle, United Kingdom). As amostras foram pesadas (2 mg), adicionadas de água destilada (6 μ L) em recipiente de alumínio, e mantidas por 24 h a temperatura ambiente, para uniformizar a distribuição da água. Um porta-amostra de alumínio vazio foi utilizado como referência. As amostras foram aquecidas de 30 a 100° C a uma taxa de 10°C min⁻¹. Foram determinadas as temperaturas de gelatinização (inicial, pico e final) e a variação de entalpia (ΔH) (OLIVEIRA et al., 2021).

2.11 Espectroscopia IV com transformada de Fourier

A umidade da amostra foi equilibrada em dessecador contendo solução de BaCl₂ saturada (25°C, $A_w = 0,9$) durante 10 dias. Os padrões de difração de raios-X foram determinados em difratômetro de bancada (Rigaku, MiniFlex 300, Tokyo, Japan), com radiação de Cu, linha K, $L=1,542\text{\AA}$, 30 kV e 10 mA. A cristalinidade relativa foi calculada baseando-se na relação entre a área dos picos e área total dos difratogramas, conforme método descrito por Ye et al. (2017), utilizando o software Origin versão 8 (Microcal Inc., EUA).

2.12 Teor de amilose

O teor de amilose e foi determinado de acordo com o método espectrofotométrico por reação com iodo (GANDEBE; NGAKOU; NDJOUENKEU, 2017). Inicialmente foram pesados 40 mg de amilose de batata em um béquer e adicionados 1 ml de etanol 95 % e 9 ml de NaOH 1N. Após homogeneizada a mistura com o auxílio de um bastão de vidro, esta foi levada para banho-maria por 15 minutos. Após o banho, a mistura foi deixada em repouso por 1h para resfriar até temperatura ambiente e estabilizar a reação. Em seguida, o conteúdo foi transferido para um balão volumétrico de 100 ml e o volume completado com água destilada (solução mãe).

Para a confecção da curva padrão de amilose, as alíquotas de 1, 2, 3, 4 e 5 ml foram retiradas da solução mãe e transferidas para outros balões volumétricos de 100 ml cobertos com

papel alumínio. Em cada balão foram adicionados 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 ml, respectivamente, de conteúdo de ácido acético 1N, e 2ml de solução de iodo 0,2 % (0,2g de iodo, 2,0 g de iodeto de potássio e 100 ml de água destilada) em cada. Um branco também foi feito adicionando em balão 5 ml de NaOH 0,09N, 1 ml de ácido acético 1N e 1ml de solução de iodo 0,2%. Todos os balões foram completados com água destilada até seu menisco, agitados e mantidos em repouso por 20 minutos em um ambiente escuro. As absorbâncias das soluções foram medidas em um UV-light espectrofotômetro a 620 nm e a curva padrão de absorbância calculada. O procedimento foi repetido para as amostras analisadas utilizando 100 mg da amostra no lugar da amilose de batata e o teor de amilose calculado em comparação à curva padrão.

2.13 Teor de compostos fenólicos

A partir das amostras, foi preparado um extrato à base de álcool metílico 50%, acetona 70% e água destilada para a realização da análise de teor de compostos fenólicos e também de atividade antioxidante por DPPH (DO et al., 2007). Os extratos foram então armazenados sob refrigeração até o fim das análises.

A análise de teor de fenólicos totais foi realizada de acordo com o método descrito por (LARRAURI; SAURA-CALIXTO, 1998) em complemento ao método espectrofotométrico (LAMUELA-RAVENTÓS, 2018).

Inicialmente foi preparada a curva padrão para o ácido gálico. Uma solução mãe 1 foi preparada utilizando 0,02 g do mesmo em um balão de 10 ml completado com etanol P.A. A solução mãe 2 foi preparada a partir de 1 ml da solução 1 em um balão de 10 ml, completado com etanol P.A. Assim, em tubos de ensaio numerados de 1 a 7, foram adicionados 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,6, 0,8 e 1,0 ml de solução mãe 2 e 1,9, 1,8, 1,7, 1,6, 1,4, 1,2 e 1,0 ml de etanol P.A., respectivamente, em ambos casos. Um branco também foi analisado utilizando apenas 2,0 ml de etanol P.A.

Em triplicata, as soluções numeradas 1-7 e o branco foram adicionadas em novos tubos de ensaio contendo 0,5 ml de cada uma das concentrações da solução, 2,5 ml de solução de Folin-Ciocalteu e 2 ml de solução de carbonato de sódio 4 % filtrada. Os tubos foram agitados e mantidos em repouso em local escuro por 60 minutos. Em seguida, a leitura das absorbâncias foi lida em espectrofotômetro a 750 nm e os resultados calculados a partir da curva padrão de ácido gálico.

O mesmo procedimento foi realizado para os extratos das amostras, pipetando-se em tubos de ensaio 0,25 ml da mesma e as mesmas quantidades de solução Folin-Ciocalteu e de carbonato de sódio 4%. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico por 100g de produto.

2.14 Atividade Antioxidante (DPPH)

Foi feita a partir da descoloração do composto DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil). O extrato utilizado para a análise foi o mesmo da análise de teor de compostos fenólicos (Item 2.13) (RUFINO et al., 2007). Foi preparada uma solução controle de álcool metílico, acetona e água em balão volumétrico de 100 mL, adicionada 40 mL da solução de álcool metílico 50 % e 40 mL da solução de acetona 70 %. O volume foi completado para 100 mL com água destilada, homogeneizado e transferido para um frasco de vidro. E a solução de DPPH de concentração 0,06 mM foi feita dissolvendo 2,4 mg de DPPH em um balão 100 ml com álcool metílico. A curva padrão para o DPPH foi feita com intuito de comparação, preparando-se soluções de concentrações entre 0 e 60 µM de DPPH e medindo-se a absorbância em espectrofotômetro a 515 nm.

As amostras de extrato de amido foram analisadas adicionando 3,9 mL de solução de DPPH em um tubo de ensaio isolado com papel alumínio e 0,1ml de extrato. Para esta análise é importante o valor do branco da solução de DPPH, onde foram adicionados 3,9 ml de solução DPPH e 0,1ml da solução controle e o branco da amostra, adicionando 3,9 ml de metanol e 0,1 de amostra. O tempo de reação e estabilização da reação de descoloração do DPPH foi medido anteriormente e determinado após 25 minutos. Passado o tempo, a amostra foi medida em espectrofotômetro a 515 nm. O percentual de descoloração do DPPH foi calculado de acordo com a equação 4:

$$\% \text{ descoloração DPPH} = \left[1 - \frac{(\text{ABS amostra} - \text{ABSbranco})}{\text{ABS controle DPPH}} \right] * 100 \quad (4)$$

2.15 Espectro de massas

Para a verificação do perfil de íons presentes nas amostras através da análise de MS (do inglês, *mass spectrometry*) optou-se em realizar uma avaliação utilizando o extrato metanólico das amostras extraídas do amido de sorgo comercial vermelho, SSG 150T e BRS Ponta Negra. Desta forma, 0,2 g de amostra foram adicionados a 9,8 ml de metanol 90% (m/v) e, posteriormente, a mistura foi levada a agitação em vórtex por 30 segundos com 5 minutos em repouso, repetindo-se o procedimento por duas vezes. Em seguida, a mistura foi centrifugada por 15 min a 4500 rpm e o sobrenadante coletado e filtrado em filtro seringa 0,22 µm para a remoção de possíveis partículas oriundas da amostra.

As análises de MS foram realizadas utilizando o espectrômetro de massa íon trap linear 2D LTQ XL (Thermo corporation) com fonte de electrospray (do inglês, electrospray ionization, ESI) Antes das análises por MS, foi realizada uma pesquisa na literatura para a verificação dos possíveis compostos presentes nas amostras. Para a comparação dos perfis obtidos pelas amostras reais, optou-se por fazer a análise de padrões químicos de compostos esperados em amostras reais puras, sendo essas, catequina, quercetina e ácido gálico, no qual posteriormente os mesmos foram comparados aos perfis obtidos em amostras reais para a verificação da presença de tais compostos nas amostras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Rendimento da extração

Durante o processo de extração dos amidos de sorgos Comercial vermelho e BRS Ponta Negra, parte do amido foi de fácil obtenção durante a etapa de decantação, gerando um produto visualmente mais claro, com características mais próximas as comuns do amido, como a cor clara e a sedimentação específica. Este foi denominado como amido tipo A (Figura 3). Seguindo com as repetições de decantação e fazendo diversas lavagens para a limpeza do amido, foi separado o amido tipo B (Figura 3), caracterizado por ter um teor de outros componentes, com uma cor específica forte e que não foi isolado do amido A nas fases iniciais do processo. O sorgo SSG 150T não apresentou essa diferenciação em dois amidos durante o processo de extração.

Na figura 4 são apresentadas algumas fases de obtenção do amido B do cultivar BRS Ponta Negra, que apresentava “camadas” de várias cores quando decantadas, mas que a separação por métodos simples não era possível, gerando o amido tipo B da variedade.

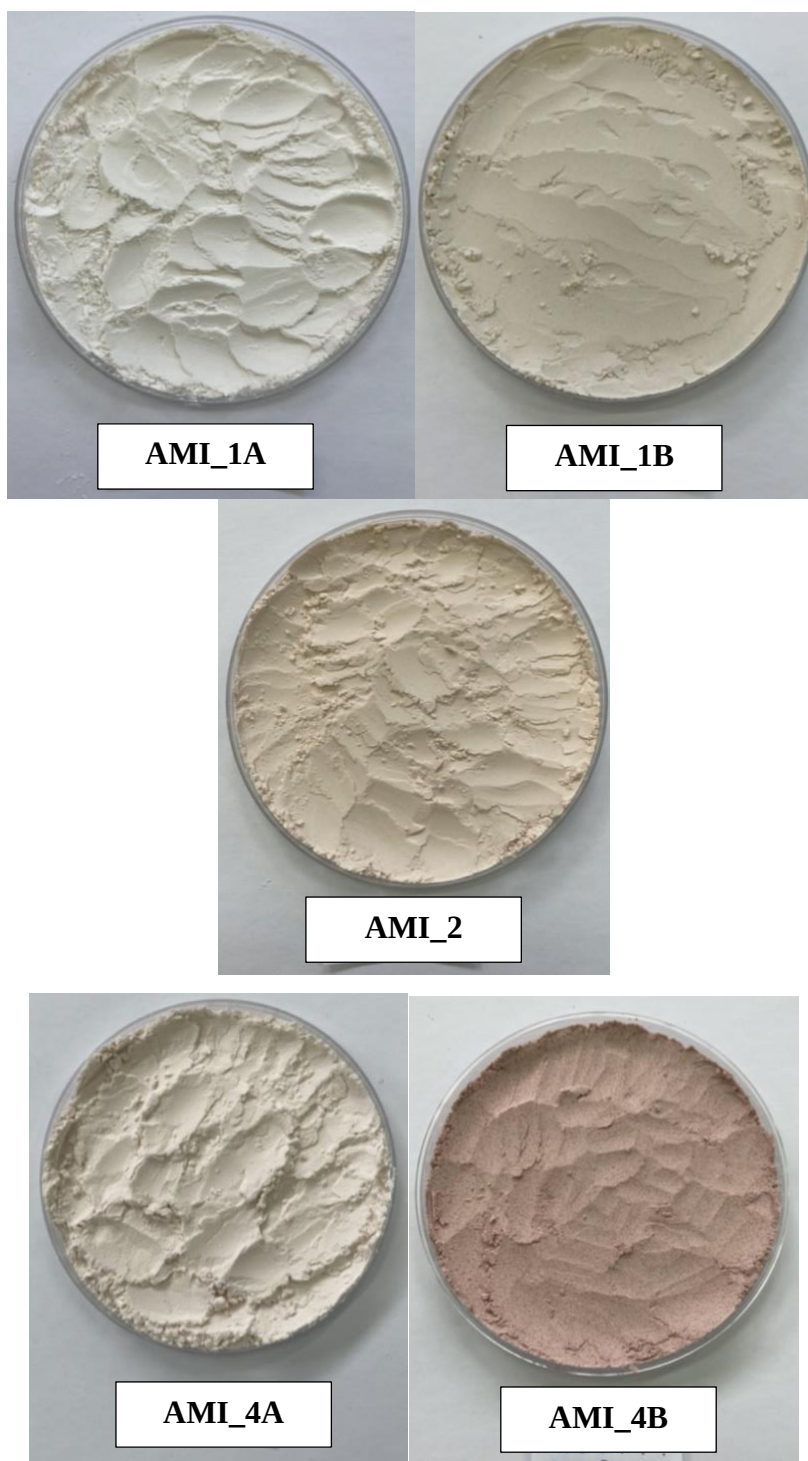


Figura 3 - Amidos extraídos da variedade de sorgo Comercial Vermelho (AMI_1A e AMI_1B), SSG 150 T (AMI_2) e BRS Ponta Negra (AMI_4A e AMI_4B)

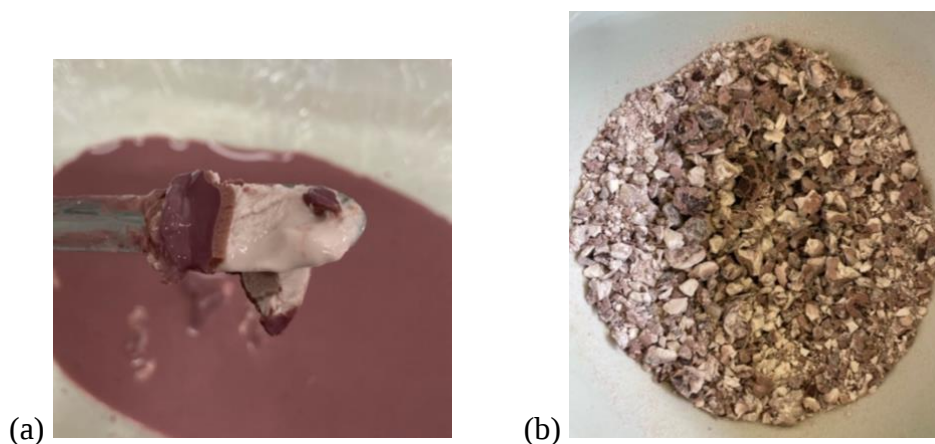


Figura 4 - Fases do tratamento do resíduo do amido de sorgo BRS Ponta Negra que gerou o amido tipo B (AMI_4B) -. (a) amido úmido, antes da secagem, (b) amido pós secagem, antes do peneiramento.

O sorgo vermelho comercial obteve um rendimento de 0,3 % para o tipo A, um amido extremamente branco e que foi extraído no início do processo. Para o tipo B, obteve-se um rendimento de 4%. Para o sorgo SSG 150 T, o rendimento total do processo foi de 5,08 %. Esta variedade não apresentou diferença de sedimentação durante o processo se tornando único. O cultivar BRS Ponta Negra, o tipo de amido A e B tiveram rendimento de 3,88 e 2,08%, respectivamente, totalizando um rendimento de 5,96% no fim do processo. Esse rendimento razoável dos amidos de sorgo pigmentados pode ser útil especialmente naqueles países onde o sorgo é a principal cultura de cereais.

Entretanto, outros trabalhos em laboratório relatam um rendimento de extração para o amido de sorgo de até 60%, a depender do método de extração (ZHU, 2014). Neste caso, o baixo rendimento das extrações, comparado a amidos de sorgo apresentado pela literatura, pode ser explicado pelo não-uso de reagentes como ácidos ou bases diluídos, sais ou álcool ou enzimas proteases, utilizados em outros métodos para a extração das proteínas que interagem com o amido em cereais. O amido de sorgo também é caracterizado por ser pouco solúvel em água fria utilizada no processo, o que também afeta o rendimento da extração (ROONEY, 1995). O uso dessas substâncias foi rejeitado pois apesar de aumentar o rendimento também podem ser agentes de modificação do amido (EL HALAL et al., 2019).

3.2 Composição proximal e atividade de água

Os resultados de umidade obtidos para as amostras de amido variaram entre 7,39 e 10,84% (tabela 1), sendo esses valores, segundo relatos de Vieira et al., (2020), esperados para amidos extraídos de cereais. Sendo assim, os amidos obtidos possuem características de umidade semelhante às de amidos comerciais estando abaixo de 13% que é uma faixa de umidade considerada ideal para o armazenamento microbiologicamente seguro destes produtos (SILVA et al., 2004).

Os resultados encontrados para análise de cinzas ficaram próximo de zero (tabela 1), sendo esses resultados comuns em análises de amido (ZHU, 2014). A única exceção foi o tipo B do amido do sorgo BRS Ponta Negra, que por se tratar de uma extração a partir do resíduo, os resultados foram positivos e próximos a $0,01\% \pm 0,0007$, exaltando que nesta amostra existe uma concentração detectável de compostos inorgânicos pelo método utilizado.

Tabela 1 – Teores de Umidade, cinzas e atividade de água de amostras de amido extraído de variedades de sorgo (Comercial vermelho, SSG150T e BRS Ponta Negra)

AMOSTRAS DE AMIDOS DE SORGO		UMIDADE (%)	CINZAS (%)	ATIVIDADE D'ÁGUA
COMERCIAL VERMELHO	A	$7,39 \pm 0,41$	-	$0,31 \pm 0,02$
	B	$10,84 \pm 0,11$	-	$0,48 \pm 0,02$
SSG 150T	-	$8,32 \pm 0,50$	-	$0,33 \pm 0,01$
BRS PONTA NEGRA	A	$10,71 \pm 0,17$	-	$0,33 \pm 0,02$
	B	$9,49 \pm 0,22$	$0,01 \pm 0,0007$	$0,47 \pm 0,01$

Valores correspondem à média $\pm$ desvio-padrão

As análises de teores de proteínas e de lipídeos totais foram consideradas como próximas de zero (tabela 1), devido a concentração extremamente baixa não foi possível detectar pelos métodos de micro-Kjeldahl e Soxhlet, respectivamente.

3.3 Análise de Cor

As análises de cor dos amidos demonstram que eles possuem pigmentos que os afastam da coloração branca e luminosa. Os dados obtidos para luminosidade e os calculados para cromaticidade e ângulo Hue estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Resultados de análises de Luminosidade (L), Cromo (C*) e Ângulo Hue (Hue) de amostras de amido de sorgo Comercial vermelho, SSG150T e BRS Ponta Negra.

AMOSTRAS DE AMIDOS DE SORGO		L*	C*	HUE
COMERCIAL VERMELHO	A	95,52 ± 0,07	3,46 ± 0,03	79,48 ± 0,90
	B	88,78 ± 0,26	6,10 ± 0,19	71,58 ± 0,34
SSG 150T	-	88,71 ± 0,03	8,28 ± 0,02	60,02 ± 0,13
BRS PONTA NEGRA	A	92,49 ± 0,03	5,01 ± 0,02	56,97 ± 0,24
	B	75,67 ± 0,15	9,97 ± 0,18	32,63 ± 0,51

Valores correspondem à média ± desvio-padrão

Todos os amidos estudados apresentaram luminosidade acima de 75,67, indicando tonalidade mais próxima ao branco (100). Todas as análises de cromaticidade apresentaram valores abaixo de 10, indicando que possuem baixa saturação. E todos os valores de ângulo de tonalidade se encontram no primeiro quadrante do círculo, indicando que esses amidos possuem tonalidades que variam entre o vermelho (0°) e o amarelo (90°).

Por se tratarem de etapas diferentes do método de extração os amidos tipo A e tipo B do amido de sorgo extraído da variedade vermelho comercial apresentaram valores diferentes em todos os parâmetros da análise, sendo o tipo B menos luminoso, mais saturado e com uma tonalidade mais próxima ao vermelho. A aparência dos amidos do sorgo vermelho tipo A e tipo B estão apresentadas na figura 3, que traz uma demonstração não fiel – devido a variabilidade na luz da câmera – mas que pode ser visualizada a diferença de coloração entre eles.

O amido extraído da variedade SSG 150 T, visualmente, apresenta uma coloração rosa-clara-alaranjada (Figura 3). Os resultados de luminosidade são mais opacos (88,71 ± 0,03), comparados aos do sorgo comercial, afastando-se de 100.

Por fim, os amidos extraídos do cultivar BRS Ponta Negra (Figura 3), assim como os amidos da variedade vermelho comercial, também apresentaram diferenças visíveis nas cores do tipo A e B. O amido tipo A se mostrou mais luminoso e menos saturado que o tipo B. Com

relação ao ângulo Hue, o amido tipo B se mostrou mais na tonalidade vermelha, enquanto que o tipo A tende mais ao amarelo, ambos ficando na faixa da coloração laranja.

A variação de cores é o instrumento chave deste trabalho e ela pode ser explicada pelo residual dos compostos bioativos também pigmentantes do sorgo colorido (GIRARD & AWIKA, 2018). Como não foi utilizado nenhum reagente químico para auxiliar a retirar esses pigmentos, eles se mantem como resíduos no produto final.

São diversos os relatos de amidos extraídos de fontes com alto teor de pigmentos que resultam produtos também pigmentados (BOUDRIES et al., 2009; PALAVECINO et al., 2019; SIRA & AMAIZ, 2004; VIEIRA et al., 2020). A cor do amido impacta na sua qualidade, pois qualquer pigmentação no amido será transferida para o produto final, podendo influenciar a aceitação do consumidor (ABEGUNDE et al., 2013). Amidos com tais parâmetros de cor podem ser recomendados para uso em produtos claros que requeiram cor uniforme, como por exemplo, sorvetes, iogurtes com frutas, molhos, sucos e doces, geralmente produtos que já se utiliza amidos em sua composição e que são vinculados a sabores de matéria-prima da mesma coloração, como o vermelho ou rosa para sabores como morango ou cereja, ou laranja para a cor alaranjada (DAMODARAN; PARKIN, 2017; PELISSARI et al., 2012).

3.4 Teor de Amilose

A maioria dos genótipos de sorgo possuem o amido com cerca de 20 a 30% de amilose em sua composição (ZHU, 2014). Os valores encontrados para teor de amilose nas amostras deste estudo (Tabela 3) variaram entre 28,5 a 38,5%.

Os amidos com tipos A e B dos amidos comercial vermelho e BRS Ponta Negra possuíram valores diferentes de teor de amilose entre eles, indicando que essa diferença pode estar relacionada ao processo de extração. Em ambos os casos, o amido tipo A obteve resultados superiores de teor de amilose aos amidos do tipo B.

A quantidade de amilose está diretamente relacionada às possíveis aplicações do amido, visto que este componente interfere diretamente na dureza dos géis e no conteúdo de amido resistente (KIM; WOO; CHUNG, 2018). Os amidos das amostras aqui analisadas, por possuírem elevado teor de amilose (acima de 25%), podem ser destinados a várias aplicações alimentares, como: gelificante em doces tipo goma, na cobertura de snacks fritos (nuggets), e em filmes comestíveis biodegradáveis (BORÉN et al., 2008). Além de contribuírem com a

redução da insulina e resposta glicêmica, os amidos com elevado teor de amilose, tem a capacidade de contribuir com a redução de peso em pacientes obesos, doenças cardiovasculares e desenvolvimento de diabetes tipo II, segundo a literatura. (ANSARI et al., 2010; BRAGA; MORESCHI; MEIRELES, 2006).

Tabela 3 -Valores encontrados de teor de amilose nos amidos analisados

AMOSTRAS DE AMIDOS DE SORGO		TEOR DE AMILOSE (%)
COMERCIAL	A	35,36
VERMELHO	B	31,44 ± 0,69
SSG 150T	-	31,19 ± 1,44
BRS PONTA	A	38,50 ± 0,95
NEGRA	B	28,50 ± 0,38

Valores correspondem à média ± desvio-padrão

Os amidos obtidos nesse estudo são esperados como nativos ou naturais, uma vez que para sua extração não foi utilizado nenhum reagente e nenhuma variação de calor que pudesse gerar um processamento indesejado. Assim, os resultados da análise de teor de amilose indicam que, apesar das variações de teor de amilose: amilopectina, esses amidos podem ser utilizados como espessantes ou ligantes na indústria alimentícia, uma vez que em solução aquosa e submetidos à temperatura, o inchaço dos grânulos formará a fase gel amilose-amilopectina naturalmente (OMOREGIE EGHAREVBA, 2020).

3.5 Perfil de Viscosidade e Perfil Textural

O comportamento da pasta está aparentemente ligado às propriedades de inchamento e solubilização. Os resultados das análises de perfil de viscosidade, que mostram como a viscosidade da solução amido: água se comporta em função da temperatura e tempo (VAMADEVAN; BERTOFT, 2015), estão apresentados na Tabela e na figura 5. Todas as amostras estudadas apresentaram valores de temperatura de pasta superiores a 60 °C (Tabela 5), condizentes com a literatura para amidos de cereais indicando a existência de maiores forças coesivas no interior do grânulo (ALI & HASNAIN, 2014; ZHU, 2014), e o tempo de pico variou entre 7,1 e 9,5 minutos para todas as amostras. Importante ressaltar que as temperaturas de pico

dos amidos B, foram em ambos os casos, maiores que dos amidos A, indicando, segundo Clerici, Sampaio & Schmiele (2019) que demoram mais em seu cozimento.

A análise também demonstra que os picos de viscosidade dos amidos (viscosidade máxima) dos amidos do sorgo comercial vermelho, parâmetro que reflete o máximo intumescimento antes da desintegração do grânulo de amido, foram menores que os demais amidos SSG150T e BRS Ponta Negra A (tabela 4), respectivamente indicando que o sorgo comercial vermelho possui forças associativas intermoleculares nos seus grânulos com estruturas mais fortemente ligadas (forças coesivas mais fortes no seu interior), o que resulta em uma maior resistência ao inchaço quando comparado aos SSG150T e BRS Ponta Negra, se se desintegrando com menos facilidade (NOGUEIRA; FAKHOURI; DE OLIVEIRA, 2018). O amido A do sorgo comercial vermelho apresentou um valor menor de viscosidade máxima comparado aos outros amidos estudados, entretanto maior que os amidos tipo B estudados (comercial vermelho e BRS Ponta Negra), além de terem um tempo maior para atingirem esse pico (tabela 4), indicando que existem interferências nesses produtos pelos outros componentes não-amiláceos, como fragmentos de proteínas, que alteram esse ponto (CLERICI, SAMPAIO & SCHMIELE, 2019)

Ao atingir a etapa de aquecimento constante da análise (95°C), os resultados de quebra de viscosidade também foram destaque nos amidos SSG150T e BRS Ponta Negra A, (Tabela 4), respectivamente, indicando que houve uma maior desintegração desses amidos comparado aos amidos Comercial vermelho e BRS Ponta Negra tipo B, relacionando com a estabilidade da pasta final (CLERICI, SAMPAIO & SCHMIELE, 2019). Em contrapartida, o amido de sorgo comercial B teve resultados de quebra de viscosidade menor, $386,3 \text{ cP} \pm 24,3$ e dessa forma, mostra-se mais resistente ao efeito combinado de aquecimento e cisalhamento. Essa característica é possivelmente explicada pelo teor de compostos não-amiláceos presentes na amostra - confirmada posteriormente pela análise de microscopia eletrônica de varredura. Os valores associados a maiores tendências a retrogradação indicam que houve uma maior a reassociação das moléculas de amilose e amilopectina durante o resfriamento da pasta, formando um gel, indicando, segundo Clerici, Sampaio & Schmiele (2019), que cuidados devem ser tomados quando utilizados esses produtos em formulações que passem por tubulações pelo risco de incrustações. Os resultados propriedades de pasta oram coerentes com o apresentado por Zhu (2014) em revisão bibliográfica sobre amidos de sorgo, principalmente resultados de temperatura de pasta entre 66 e 77,5°C.

Como se tratam de amidos nativos, a tendência a retrogradação do amido tipo B da variedade BRS Ponta Negra indica uma baixa habilidade de formar e estabelecer o gel de amido após o aquecimento e resfriamento da amostra em solução aquosa (CLERICI, SAMPAIO & SCHMIELE, 2019)

Os amidos SSG150T e BRS Ponta Negra A e B, provavelmente, por apresentarem teores de amilose elevados (Tabela 3), obtiveram maior tendência a sofrer retrogradação. Isso dá uma adequação da aplicação destes amidos em macarrão, uma vez que o amido típico produz uma maior coesão e dureza após o resfriamento (ZAVAREZE & DIAS 2011). As respectivas variedades de amido também obtiveram uma viscosidade máxima mais alta, quando comparado ao comercial vermelho A e B, o que é contributivo para uma maior propriedade de alongamento em macarrão. Assim, os amidos SSG150T e BRS Ponta Negra A e B, por terem maior coesividade e dureza (Tabela 5), são ótimos ingredientes para produzir macarrão, pois terão uma menor perda por cozimento durante a produção.

Essa característica de alta tendência a retrogradação, aliada a um tempo de pico mais curto (cozimento mais curto da pasta de amido) dos amidos SSG150T e BRS Ponta Negra A e B, quando comparados ao comercial ponta negra A e B, direciona, também, a aplicação destes amidos para o uso em alimentos onde se deseja um produto cremoso ou pastoso e que não se solidifique totalmente no produto final como, por exemplo, auxiliando na viscosidade em sopas, mingaus e molhos, alimentos com textura suave fornecendo viscosidade suficiente logo no início do processo de cozimento. No entanto, por se tratar de amidos nativos, o tempo de gelatinização é consideravelmente maior quando comparado ao uso de amidos modificados (OMOREGIE EGHAREVBA, 2020), o que deve ser levado em consideração ao planejar o processo de processamento do produto e possível estabilidade de outros componentes da formulação. Amidos com menor QV (quebra de viscosidade), como os amidos o comercial vermelho A e B, são preferíveis, segundo Pelissari et al. (2012), em alimentos que exijam alta estabilidade de pasta durante o cozimento prolongado e agitação, por exemplo em alimentos infantis esterilizados, ou ou como ingrediente em produtos lácteos, uma vez que os processos de fabricação dos produtos lácteos geralmente envolvem altas temperaturas e intensas operações de agitação (Aina et al., 2012). Já os valores mais elevados das variedades SSG150T e BRS Ponta Negra A mostraram que esses amidos são menos resistentes ao aquecimento e agitação.

Os amidos estudados apresentaram viscosidade final entre 2014,5 e 2337,3 cP, sendo o menor relacionado ao amido comercial vermelho tipo B e o maior para o amido BRS Ponta

Negra tipo B. Singh, Sodhi e Singh (2010) em estudo sobre amidos de sorgo extraídos de diversos cultivares da Índia apresentam valores de viscosidade final entre 2314 e 4743cP.

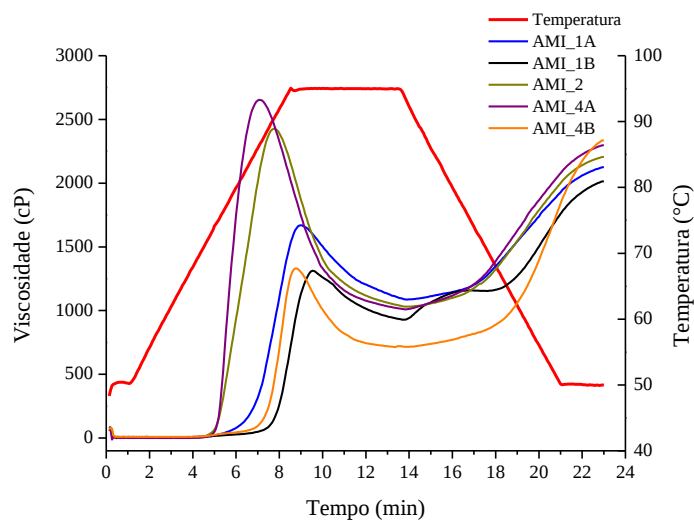


Figura 5 - Gráfico de resultados da análise do perfil de viscosidade dos amidos avaliados dos em RVA para as amostras de amido de sorgo comercial vermelho (AMI_1A e 1B), sorgo SSG 150T (AMI_2) e sorgo BRS Ponta Negra (AMI_4A e 4B).

Tabela 4 – Resultados das propriedades reológicas dos amidos analisados. VMAX: Viscosidade máxima; VMIN: Viscosidade Mínima; QV: Quebra de viscosidade; VF: Viscosidade Final; TR: Tendência a Retrogradação; TEMP: Tempo de Pico; TP: Temperatura de Pasta de amidos extraídos de sorgo (Comercial vermelho, SSG150T e BRS Ponta Negra).

AMOSTRAS DE AMIDOS DE SORGO		VMAX (cP)	VMIN (cP)	QV (cP)	VF (cP)	TR (cP)	TEMP (MIN)	TP (°C)
COMERCIAL VERMELHO	A	1670,0 ± 32,7	1086,3 ± 11,4	583,7 ± 23,1	2124,3 ± 37,9	1038,0 ± 29,6	9,0 ± 0,07	68,4 ± 0,6
	B	1314,5 ± 8,5	928,2 ± 22,3	386,3 ± 24,3	2014,5 ± 27,5	1086,3 ± 36,7	9,5 ± 0,04	69,5 ± 0,6
SSG 150T	-	2428,5 ± 40,2	1029,8 ± 24,0	1398,7 ± 58,6	2066,7 ± 424,0	1211,8 ± 8,8	7,8 ± 0,04	67,1 ± 0,4
BRS PONTA NEGRA	A	2656,2 ± 19,5	1010,2 ± 23,3	1646,0 ± 28,1	2297,2 ± 17,5	1287,0 ± 13,7	7,1 ± 0,03	68,2 ± 0,2
	B	1333,0 ± 7,4	710,0 ± 6,2	623,0 ± 5,5	2337,3 ± 14,1	1627,3 ± 12,3	8,8 ± 0,03	68,4 ± 0,4

Valores correspondem à média ± desvio-padrão

Os amidos extraídos apresentaram grande variabilidade de perfil textural entre os tipos A e B extraídos de cada cultivar (Tabela 5). A dureza da pasta de amido é um dos fatores que se

observa maior variação nas análises. Esta dureza pode ser afetada pelos outros compostos não-amiláceos que estão presente no amido pois, esses interferem na retrogradação do amido (BETA et al., 2000). Os amidos tipo B demonstraram menor dureza que os tipo A durante a análise que segundo Benavent-Gil & Rosell (2018) indica que a resistência a pressão desse amido é menor, favorecendo aplicação em produtos pastosos que mantenha a característica sensorial de poder ser pego facilmente com uma colher, como sorvete, cremes e iogurtes. As propriedades texturais do gel de amido têm uma relação direta com as aplicações alimentares, uma vez que amidos com dureza de gel mais elevada, como SSG150T e BRS Ponta Negra A, são interessantes economicamente pois permitem a rápida formação de géis com menores quantidades de amido.

Coesividade, a extensão em que um material pode ser deformado antes da ruptura, dos géis de amido estudados, apresentou resultados entre 0,39 e 0,55, sendo valores próximos aos apresentados pelo gel de amido de arroz (0,471) e menor que a coesividade do gel de fécula de mandioca (1,037) (WANG, ZHANG & GAO, 2011; RONDÁN-SANABRIA & FINARDI-FILHO, 2009).

Quanto a adesividade, parâmetro que a força negativa resultante de um trabalho exercido para superar a atração entre o alimento e uma sonda, o amido SSG150T obteve o menor valor e o tipo B do amido de sorgo BRS Ponta Negra o maior valor. Em estudo da caracterização de amidos de sorgo, Singh, Sodhi e Singh (2010) encontrou valores de elasticidade das amostras entre 0,870 e 0,975 e coesividade entre 0,325 e 0,636, resultados similares aos encontrados nas amostras estudadas (tabela 5). Quanto a gomosidade, os amidos de sorgo apresentaram valores entre 1,03-2,93N, valores próximos ao encontrado para o amido de arroz, 2,37 N.mm (HUSSAIN, 2015) E, comparado aos géis de amidos de grão de bico e feijão mungu (KIM; WOO; CHUNG, 2018), os amidos de sorgo apresentam dureza e gomosidade menores.

Tabela 5 – Resultados do Perfil textural dos amidos extraídos de sorgo (Comercial vermelho, SSG150T e BRS Ponta Negra).

AMOSTRAS DE AMIDOS DE SORGO		Dureza N	Adesividade g/sec	Elasticidade	Coesividade	Gomosidade N.mm
COMERCIAL VERMELHO	A	4,70 ± 0,17	-92,73 ± 62,24	0,92 ± 0,02	0,55 ± 0,03	2,56 ± 0,16
	B	1,95 ± 0,06	-55,33 ± 29,32	0,88 ± 0,02	0,52 ± 0,04	1,02 ± 0,09
SSG 150T		6,62 ± 0,57	-199,35 ± 38,10	0,90 ± 0,03	0,39 ± 0,04	2,56 ± 0,19
BRS PONTA NEGRA	A	6,32 ± 0,30	-155,00 ± 12,33	0,92 ± 0,04	0,46 ± 0,04	2,93 ± 0,25
	B	1,99 ± 0,05	-11,39 ± 9,29	0,91 ± 0,06	0,52 ± 0,03	1,03 ± 0,08

Valores correspondem à média ± desvio-padrão

3.6 Difração Raios- X e Cristalinidade

Grande parte das propriedades funcionais e físico-químicas dos amidos podem ser caracterizadas através do seu espectro de raios-X, as partes cristalinas do amido sempre apresentam picos agudos, enquanto as partes amorfas do amido apresentam dispersivas (SANDHU, K. S et al, 2021). Assim, estabelece-se padrões tal como A, B ou C, a depender do caráter das cadeias de amilopectina presentes no grânulo, sendo o A, cadeias curtas, o B, cadeias longas e o C, uma mistura dos tipos A e B (ZHANG et al., 2018).

Amidos de cereais geralmente são caracterizados quanto a sua cristalinidade como tipo A e, portanto, apresentando moléculas de amilopectina de cadeias menores e, além disso, possuem menor resistência enzimática do que os do tipo B, devido seu empacotamento menos organizado (CLERICI, SAMPAIO & SCHMIELE, 2019). Ao analisar os picos da difração, verifica-se que todas as amostras de amido de sorgo analisadas apresentam o mesmo padrão de picos (Figura 6), com picos em 15, 19, 22 e 23° (2θ). Assim, pela média do ângulo de difração associado aos valores encontrados, conclui-se que todas as amostras são tipo A, quando comparadas aos picos de imagens de raios-X de outros amidos tipo A (MARTENS et al., 2018).

Outros autores, como Ai et al., 2011 e Boudries et al., 2009, que avaliaram o amido de sorgo também o classificaram como tipo A, ambos com picos em 15, 17, 18 e 23 ° (2θ), assim como Silva et. al (2020) que classificou o amido de arroz colorido que é um da mesma família do sorgo.

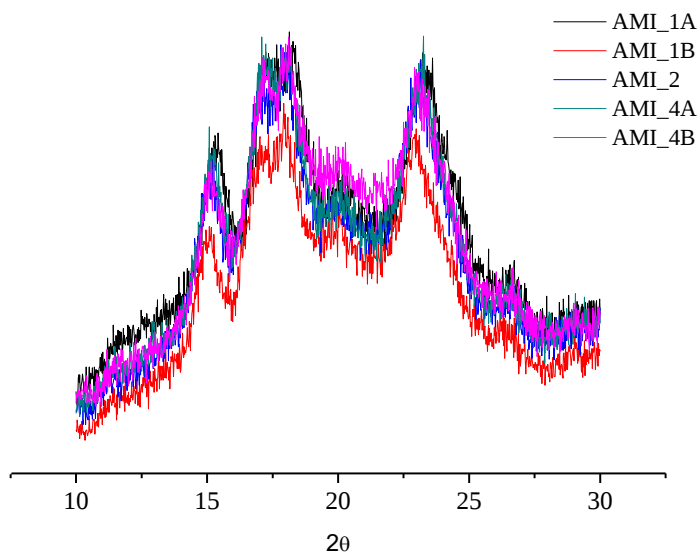


Figura 6 - Representação gráfica da difração de raio-X de amostras de amido de sorgo comercial vermelho A (AMI_1A) e B (AMI_1B), sorgo SSG 150T (AMI_2) e sorgo BRS Ponta Negra A (AMI_4A) e B e (AMI_4B).

Os resultados obtidos para as amostras de sorgo estudadas (Figura 6) indicaram uma variação da cristalinidade entre 15,10 e 21,02 %, caracterizando-os como amidos nativos pois, de acordo com a literatura, amidos nativos possuem cristalinidade entre 15-40% (CLERICI, SAMPAIO & SCHMIELE, 2019)

Dentre as variedades, o sorgo comercial vermelho apresentou valores próximos de cristalinidade para os seus tipos A e B. De modo contrário, os tipos da variedade BRS Ponta Negra apresentaram valores distintos (Tabela 6), sendo o maior para o tipo A. Como demonstrado pela análise de microestrutura do amido, essa diferença de cristalinidade entre os amidos A e B pode ser explicada pela maior concentração de grânulos de amido quebrados e a alta variabilidade de tamanho, o que impactaria no valor de cristalinidade (CLERICI, SAMPAIO & SCHMIELE, 2019).

A cristalinidade também está diretamente relacionada a proporção amilose-amilopectina do amido. Aqueles com menor teor de amilose, e, consequentemente, maior teor de amilopectina, em tese possuiriam maior cristalinidade (CLERICI, SAMPAIO & SCHMIELE, 2019). Com relação aos tipos do BRS Ponta Negra, os resultados não corroboram

com os resultados da literatura, tal fato pode estar relacionado aos diversos grãos quebradiços observados na microscopia, o que afeta diretamente os valores de cristalinidade da amostra.

Tabela 4 - Dados de cristalinidade dos amidos

AMOSTRAS DE AMIDO DE SORGO		CRISTALINIDADE (%)
COMERCIAL	A	$17,67 \pm 0,18$
VERMELHO	B	$17,44 \pm 0,70$
SSG 150T	-	$19,86 \pm 0,39$
BRS PONTA	A	$21,02 \pm 0,07$
NEGRA	B	$15,10 \pm 0,54$

Quanto à aplicação dos amidos obtidos, considerando que possuem característica de amidos nativos, esses podem ser utilizados, segundo Dome et al., (2020) em produtos que se caracterizem por não necessitarem de uma estabilidade ao calor alta, de alta solubilidade em água, alta temperatura de gelatinização, uma alta viscosidade ou de propriedades mecânicas fortes, como o uso doméstico para preparos caseiros. As características do amido nativo também o tornam propícias como uma fonte de carboidrato barata para a produção de etanol (ZHU, 2014).

3.7 Propriedades Térmicas (DSC)

A propriedades térmicas demonstram a capacidade dos grânulos de amido de se organizarem e desorganizarem quando submetidos a diferenças de temperatura quando em solução aquosa (ZHU, 2014) . Os resultados das propriedades térmicas, assim como das propriedades de pasta do amido de sorgo são variáveis a depender do local de cultivo dos grãos e condições climáticas locais, da variedade da planta, do método de extração feito, do método analítico utilizado e, principalmente, do teor de proteínas, lipídeos e minerais residuais na amostra (VAMADEVAN; BERTOFT, 2015; ZHU, 2014).

Todas as amostras de amido de sorgo apresentaram temperaturas de início de gelatinização (T_{Inicial}), temperatura de pico (T_{Pico}) e temperatura final (T_{Final}) muito próximas, e respectivamente variaram entre 64,01-65,69°C, 70,19-73,09°C e 82,68-87,25°C para os amidos de sorgo estudados, comercial vermelho A, comercial vermelho B, SSG150T, BRS Ponta negra A e BRS Ponta Negra B, respectivamente (Tabela 7). Os valores de T_{Inicial} (66,6-67,4 °C) e T_{Pico}

(69,9-71,1 °C) são próximos aos relatados por Ai et al., 2011 para diversas amostras de sorgo nas mesmas condições de análise (1:3 amido:água, scanning rate 10 °C/min), exceto pela temperatura final (74,4-75,5 °C), que os amidos de sorgos estudados apresentaram temperaturas maiores.

A temperatura inicial de gelatinização dos amidos comerciais comuns A e B, SSG150T, ponta negra A (64,01-65,69°C) é interessante para o direcioná-los para produtos com sensibilidade ao calor ou para produzir pastas utilizando-se temperaturas mais baixas, como aqueles que buscam conservar compostos bioativos sensíveis ao calor.

De forma diferenciada, a entalpia de gelatinização encontrada para os amidos foi maior para o sorgo comercial vermelho tipo A (11,56 J/g $\pm$ 0,18) indicando maior necessidade de energia para atingir o pico de desordem, e menor para o BRS Ponta Negra tipo B (4,70 J/g $\pm$ 0,67). Essa diferença gera propriedades tecnológicas diferentes na hora de desenvolvimento de novos produtos e planejamento de processo utilizando essas matérias-primas. A entalpia de gelatinização relatada para o amido de milho é de 10,1 J/g (AI et al., 2011), assim, o amido de sorgo possui propriedades térmicas similares ao amido de milho, exceto pelo BRS Ponta Negra tipo B (tabela 7). O comportamento do sorgo tipo B, variedade BRS Ponta Negra provavelmente possui características diferentes devido ao fato do seu teor de outros componentes não-amiláceos.

Tabela 5 - Propriedades térmicas dos amidos analisados por calorimetria exploratória diferencial.

AMOSTRAS DE AMIDOS DE SORGO		T INICIAL °C	T PICO °C	T FINAL °C	ΔH J/g
COMERCIAL COMUM	A	64,01 $\pm$ 0,04	70,19 $\pm$ 0,00	87,25 $\pm$ 0,13	11,56 $\pm$ 0,18
	B	65,92 $\pm$ 0,06	70,72 $\pm$ 0,03	83,51 $\pm$ 0,04	9,45 $\pm$ 0,18
SSG150T	-	65,69 $\pm$ 0,05	70,63 $\pm$ 0,01	81,42 $\pm$ 1,02	9,61 $\pm$ 0,58
BRS PONTA NEGRA	A	65,77 $\pm$ 0,01	71,32 $\pm$ 0,35	80,12 $\pm$ 2,00	9,74 $\pm$ 0,24
	B	66,91 $\pm$ 0,11	73,09 $\pm$ 0,00	82,68 $\pm$ 3,95	4,70 $\pm$ 0,67
		88,37 $\pm$ 0,13	92,21 $\pm$ 0,00	95,67 $\pm$ 0,07	0,73 $\pm$ 0,05

Valores correspondem à média $\pm$ desvio-padrão

* T Inicial: Temperatura inicial; T Pico: Temperatura de Pico; T Final: Temperatura final; H: entalpia de gelatinização para amostras amido de sorgo comercial vermelho (AMI_1A e 1B), sorgo SSG 150T (AMI_2) e sorgo BRS Ponta Negra (AMI_4A e 4B).

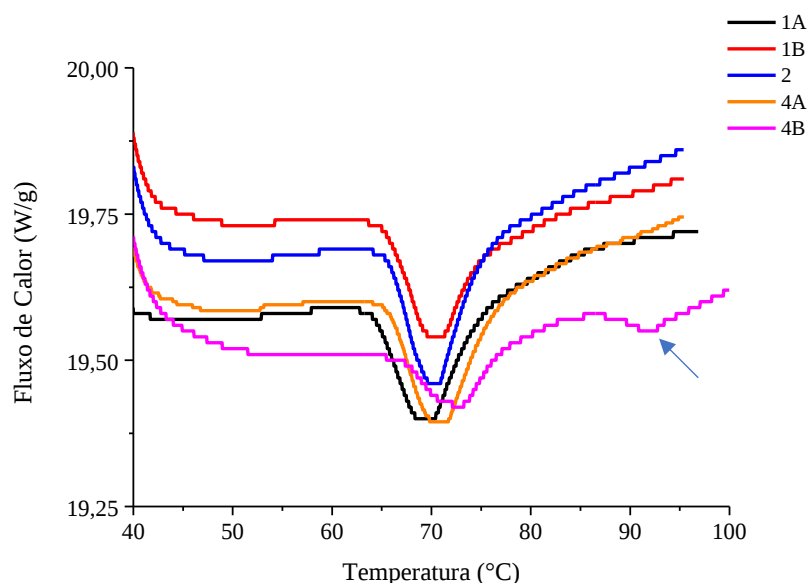


Figura 7 – Fluxo de calor e propriedades térmicas (DSC) para as amostras de amido de sorgo comercial vermelho (AMI_1A e 1B), sorgo SSG 150T (AMI_2) e sorgo BRS Ponta Negra (AMI_4A e 4B). A seta indica o segundo pico relatado pelo amido tipo B da variedade BRS Ponta Negra (AMI_4B).

O amido tipo B da variedade BRS Ponta Negra foi o único dos amidos que apresentou dois picos durante a análise. O primeiro pico foi em uma região de temperatura similar aos outros amidos analisados (Tabela 7), porém com um valor de entalpia de gelatinização consideravelmente menor ($\Delta H = 4,70 \text{ J/g} \pm 0,67$) quando comparado aos outros amidos deste estudo que apresentaram valores de ΔH entre 9,45 e 11,56 J/g. O segundo pico endotérmico se apresentou em uma temperatura entre 90 e 95°C (indicado pela seta na Figura 7) e é consequência de uma etapa de desorganização e reorganização dos componentes do complexo amilose-lipídeos da amostra (VAMADEVAN; BERTOFT, 2015). Este segundo pico é uma característica usualmente reportada em amidos de cereais, como amidos de milho e trigo (KUGIMIYA; DONOVAN; WONG, 1980).

3.8 Espectroscopia IV com Transformada de Fourier

O processo de extração de amido deste trabalho foi do tipo aquoso e buscava obter amidos nativos sem nenhuma modificação. Portanto, o resultado esperado para a análise de

espectroscopia IV com transformada de Fourier apresenta resultados que comprovam a natureza polissacarídica da amostra. Os picos em 3387, 2934, 1644, e 1022 a 1045 cm^{-1} (figura 8) são originários da própria composição do amido, amilose e amilopectina e os estiramentos comuns da glicose O-H, C-H e C=C, ou das deformações angulares O-H ou da água (H_2O) (AWOLU et al., 2020; BARBI et al., 2018). Os espectros encontrados, apesar de apresentarem bandas muito semelhantes, entre elas possuem pequenas variações como a largura de algumas bandas e a intensidade dos picos de absorção em alguns casos, o que pode ser provenientes da presença de água ou aquecimento do meio durante a análise (PETRIKOSKI, 2013).

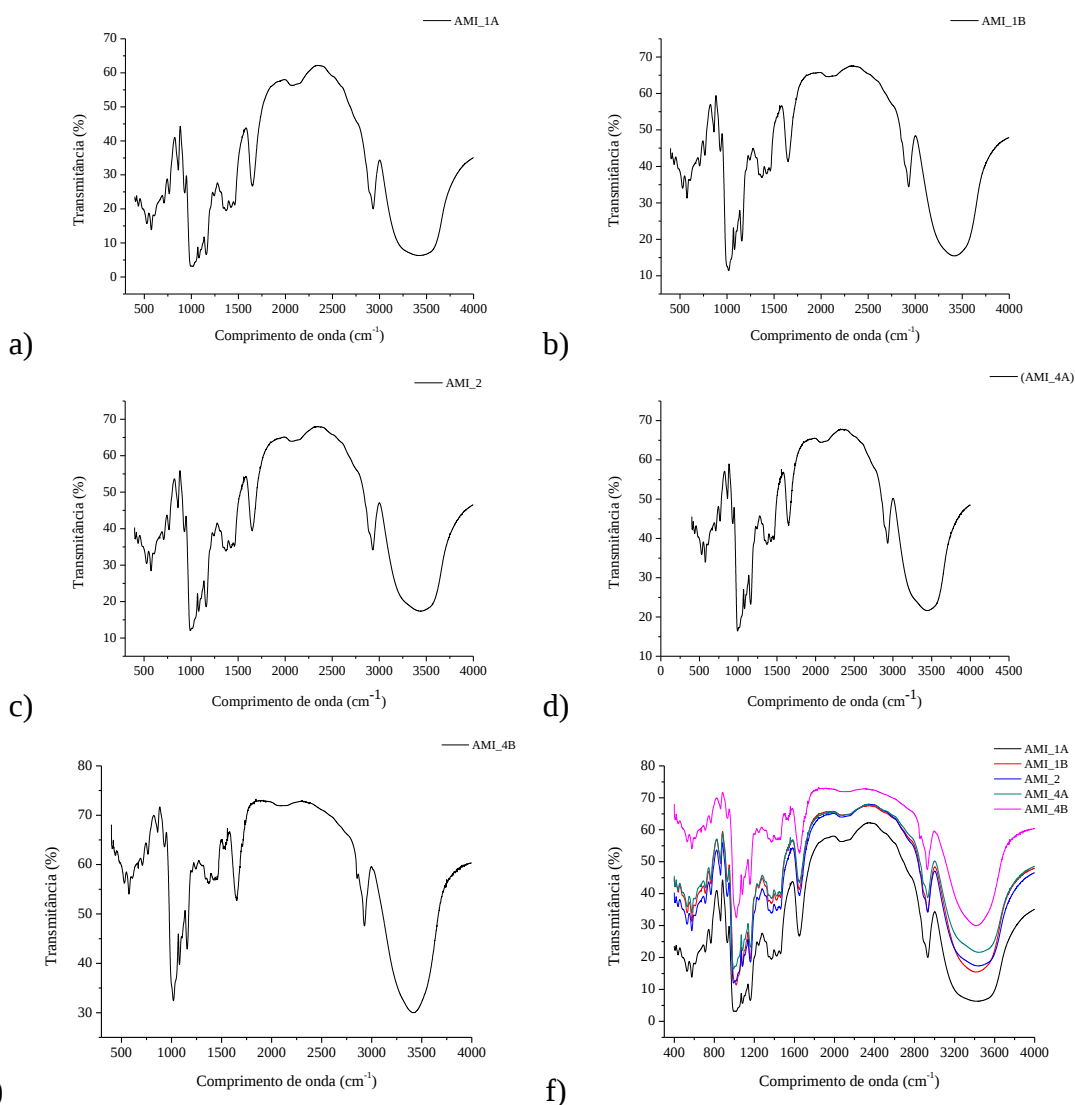


Figura 8 - Espectrometria infravermelho dos amidos de sorgo. a) Comercial vermelho tipo A; b) Comercial vermelho tipo B; c) SSG150T; d) BRS Ponta Negra tipo A; e) BRS Ponta Negra tipo B; f) Todos.

Apesar da presença de compostos pigmentantes, os espectros dos amidos não apresentaram diferenças significantes, indicando que se manteve a característica de amido nativo da amostra, com picos semelhantes aos encontrados por Oliveira et al., 2021, para amidos nativos de inhame.

Assim, as características destes amidos de sorgo estudados levam à utilização no preparo de alimentos em cozinha doméstica, assim como o amido de milho é popularmente utilizado. No entanto, deve-se considerar a coloração desse produto.

3.9 Microestrutura do amido

Todos os amidos utilizados nesse estudo apresentaram formas esféricas e poliédricas (Figura 9). Os amidos também apresentaram alta distribuição granulométrica, com variabilidade heterogênea, variando entre 5µm e 20µm, com predominância de grânulos maiores. Esses valores, segundo Ai & Jane, (2018), são esperados e coerentes para amidos extraídos de cereais. A diferença de tamanho entre os grânulos de amido afeta consideravelmente as características químicas e físicas dos mesmos, indicando finalidades industriais diferentes. Os grânulos menores (<10µm) podem ser utilizados como substitutos de gordura em alimentos, enquanto que grânulos maiores (>10µm) já são mais indicados para a produção de filmes plásticos biodegradáveis (DAS; JHA; KUMAR, 2015) .

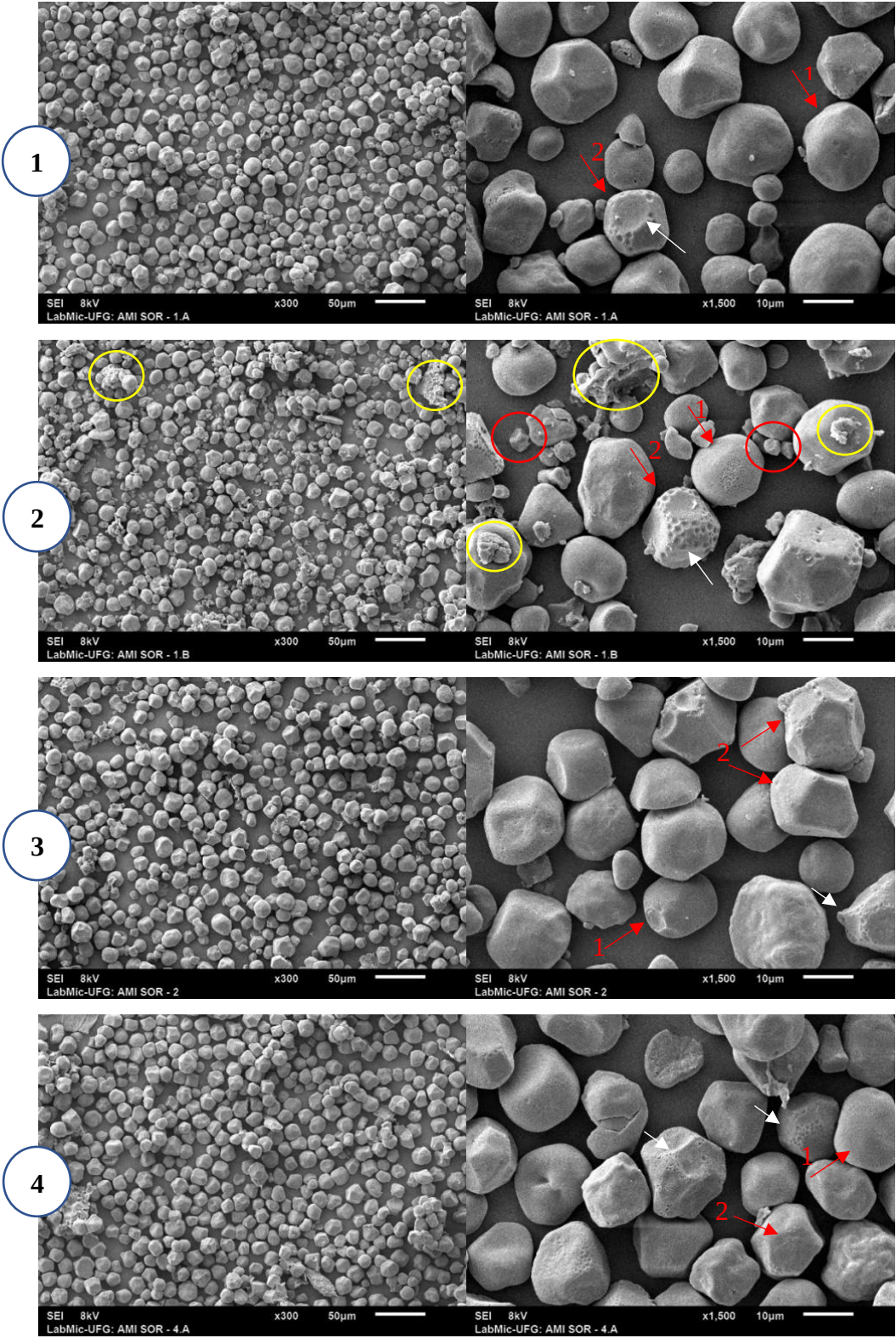
As imagens dos amidos Comercial vermelho tipo A (AMI_1A), SSG 150T (AMI_2) e BRS Ponta Negra tipo A (AMI_4A) apresentam alta pureza, demonstrando que a sua extração foi bastante eficiente e não possuem corpos extras como fitas proteicas. Estes amidos também apresentaram grãos mais íntegros, com poucos resquícios de grânulos quebradiços.

Já os tipos B dos amidos Comercial Vermelho (AMI_1B) e BRS Ponta Negra (AMI_4B) indicam a presença de grãos quebradiços e uma quantidade significativa de corpos não-amiláceos de variados tamanhos, tanto menores que 5µm, quanto maiores que 20µm. Como amidos provenientes de cereais são associados com uma matriz proteica, os grãos quebradiços e danificados são inevitáveis quando se faz a moagem para a extração do amido (EL HALAL et al., 2019).

Outro ponto a ser ressaltado nas imagens, é que inesperadamente, todas as amostras dos amidos apresentaram alguns grãos com pequenas cavidades aparentes. Estas são decorrentes da

força de interação amido-proteína que existe nos grãos, e que podem ser explicadas como se a matrix de proteínas pressionasse e deformasse os grânulos de amido criando tal aparência (YONEMOTO; CALORI-DOMINGUES; FRANCO, 2007).

Os resultados em magnificação 300 x e 1500 x estão demonstrados na figura 9, e as outras imagens estão apresentadas no ANEXO I.



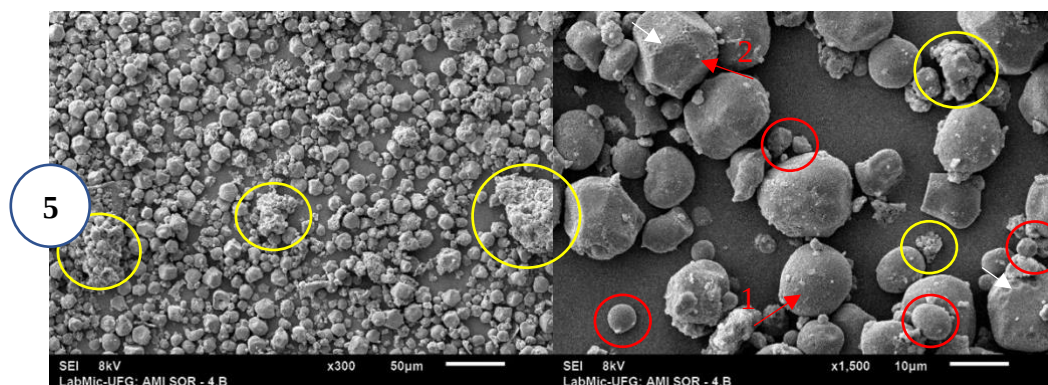


Figura 9 - Imagens de MEV dos amidos estudados em magnificação x300 (esquerda) e x1500 (direita). (1) Amido do sorgo comercial vermelho tipo A; (2) Amido do sorgo comercial vermelho tipo B. (3) Amido do sorgo SSG150T. (4) Amido do sorgo BRS Ponta Negra tipo A. (5) Amido do sorgo BRS Ponta Negra tipo B; A seta 1 indica um exemplo de granulo esférico e a seta 2 um exemplo de granulo poliédrico. A seta branca indica grãos que apresentaram cavidades em sua superfície. Em amarelo estão destacados corpos não-amiláceos encontrados nas imagens e em vermelho, grânulos de amido de diâmetro menor que 5µm.

3.10 Atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos

As análises de atividade antioxidante foram realizadas para todos os amidos, porém devido à sua baixa concentração, o método utilizado não foi sensível o suficiente para determinar os valores nas amostras de amido tipo A da variedade comercial vermelha (Tabela 8). As amostras do sorgo comercial vermelho tipo B, SSG150 T e BRS Ponta Negra tipo A tiveram valores pequenos de percentual de descoloração do DPPH, variando entre 2,06 e 6,25%. O amido tipo B da variedade BRS Ponta Negra obteve um valor de descoloração de DPPH de 67,24 % $\pm$ 0,50 indicando maior atividade antioxidante comparada as outras amostras estudadas. Os resultados são coerentes aos parâmetros de cor apresentados nas mesmas amostras, podendo relacionar esse alto percentual de descoloração à grande quantidade de pigmentos naturais residuais, já relacionados as propriedades antioxidantes, que ficaram agregados a este amido.

De forma similar, a análise de teor de compostos fenólicos, utilizando como base o ácido gálico, foi indetectável nas amostras de sorgo Comercial Vermelho comum (Tabela 8). O amido extraído da variedade SSG150T obteve resultados de 12,44 (µg ac gálico / ml) $\pm$ 0,70, indicando que algumas variedades de sorgo possuem quantidades significativas de compostos fenólicos.

O amido tipo A da variedade BRS Ponta Negra apresentou resultados irrisórios, demonstrando que durante a extração se manteve apenas uma quantidade residual de compostos fenólicos nesse amido. No amido tipo B da mesma variedade, a concentração de ácido gálico foi maior $63,23 \pm 2,22$ (μg ac gálico / ml), indicando que nessa extração o residual dos compostos fenólicos foi mais alto.

Os resultados das duas análises indicam que a variedade BRS Ponta Negra, o amido tipo B, possui o maior teor de compostos fenólicos e o maior teor de antioxidantes entre as amostras estudadas. E, o amido SSG150T também apresenta resultados positivos e consideráveis de resíduos de outros compostos fenólicos e antioxidantes, mesmo menores teores quando comparado ao BRS Ponta Negra tipo B (Tabela 8).

Da Silva et al. (2020) realizou a análise de teor de fenólicos em base de ácido gálico para amidos de arroz pigmentado em extratos obtidos em água, metanol, etanol e acetona e encontrou resultados com diferenças estatísticas a depender do cultivar. Para esse autor, fatores, como o genótipo, condições ambientais de plantio, forma de processamento, estocagem, entre outros, também podem explicar a variabilidade de resultados assim como os amidos extraídos das variedades Comercial vermelho, SSG 150T e BRS Ponta Negra.

Tabela 6 - Resultados das análises de atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos dos amidos

AMOSTRAS DE AMIDOS DE SORGO		% DESCOLORAÇÃO DPPH	TEOR DE COMPOSTOS FENÓLICOS [] ác gálico $\mu\text{g}/\text{ml}$
COMERCIAL VERMELHO	A	-	-
	B	$2,26 \pm 0,54$	-
SSG 150T	-	$6,25 \pm 0,53$	$12,44 \pm 0,70$
BRS PONTA NEGRA	A	$2,06 \pm 0,66$	$0,11 \pm 0,10$
	B	$67,24 \pm 0,50$	$63,23 \pm 2,22$

Possíveis utilizações dos amidos pigmentados que possuem atividade bioativa comprovada pelos resultados de atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos (Tabela 8) são para produtos que possuem amido em sua composição e sejam desejados produtos com colorações diferenciadas, como aditivo corante natural e que possuam esse enriquecimento em compostos bioativos. Vale ressaltar que a grande vantagem dos amidos pigmentados é que esses podem ser utilizados como ingredientes e não como aditivos para colorir os produtos. Uma

indicação relevante é para a indústria de suplementos alimentares que podem se beneficiar também das propriedades antioxidantes, além do uso do amido como inerte em algumas formulações.

3.11 Espectro de Massas (MS)

O principal objetivo das análises por MS é a verificação do perfil de íons da amostra, sendo possível a comparação através de padrões analíticos. Não há dados na literatura que demonstram a presença de compostos fenólicos e compostos antioxidantes em amostras de amido, sendo então essa análise um teste de hipótese. Para a verificação da presença de tais compostos, optou-se por fazer a análise de padrões analíticos da catequina, ácido gálico, e quercetina e posterior comparação com o perfil obtido pelas infusões diretas no espectrômetro de massas das amostras (Figura 10). A tabela 9, apresenta os valores utilizados de energia de colisão (energia necessária para gerar o espectro de massas) e os respectivos íons obtidos através das infusões das amostras de amido.

Tabela 9 - Valores de energia de colisão para a análise das amostras de amido

AMOSTRA	CATEQUINA M/Z = 291,17	QUERCETINA M/Z = 303,08	ÁCIDO GÁLICO M/Z = 169
	ESI (+)	ESI (+)	ESI (-)
	ENERGIA DE COLISÃO		
AMI_1B	24 eV	30 eV	30 eV
AMI_1A	26 eV	32 eV	33 eV
AMI_4A	26 eV	25 eV	33 eV
AMI_4B	23 eV	28 eV	34 eV
AMI_2	25 eV	11.1 eV	30 eV

ESI: Electrospray ionization

De acordo com as análises por MS, em todos os extratos foram identificados a presença dos taninos estudados, através da presença dos íons de m/z = 291,71; 303,08; e 169 (Figuras 11-15) dos compostos catequina, quercetina, e ácido gálico, respectivamente. Tais resultados, apontam que a metodologia utilizada para a extração foi eficiente para a obtenção de tais compostos nas amostras de amido. Fazendo uma análise mais minuciosa dos espectros verifica-

se a presença de diversos outros íons que indicam principalmente a presença de compostos de razão massa/carga menor que 600 Da e alguns outros de maior m/z . Através dos espectros de full (infusão direta da amostra) podemos verificar o perfil de íons dos amidos em estudo e notar a presença de íons correspondentes a outros compostos presentes nas amostras de amido, tal como o íon 195 indicando a presença do da cafeína. No entanto para a real verificação desses íons, seria necessário um estudo mais profundo, e a presença de padrões analíticos de tais compostos para a confirmação da existência dos mesmos nas amostras. Por outro lado, a presença de tais íons e com base em relatos obtidos na literatura, entende-se que o extrato metanólico das amostras de amido é composto por uma série de compostos de interesse, tal como a cafeína. Entretanto, necessita de outros estudos utilizando os íons base desses compostos para a confirmação de presença. Alguns possíveis compostos para estudo são os ácidos p-hidroxibenzoico, vanílico, ferúlico e cinâmico (DYKES; ROONEY, 2006).

A figura 10 apresenta os espectros referentes as análises dos padrões das substâncias analisadas no experimento. Sendo 11-A a análise do padrão de quercetina 10 ppm, o qual o pico apontado pela seta indica a razão massa/carga (m/z) em 303,0. A figura 10-B é a análise do padrão de catequina 10 ppm, o qual o pico apontado é o íon de m/z 291,17. E, de forma semelhante, a figura 10-C indica a análise do padrão de ácido gálico 10 ppm, o qual o pico apontado indica o íon de m/z 168,9.

As figuras 11 a 15, correspondem respectivamente as análises de busca dos íons das amostras padrão nas amostras de amido de sorgo comercial vermelho tipo A, amido de sorgo comercial vermelho tipo B, amido de sorgo SSG150T, amido de sorgo BRS Ponta Negra tipo A e amido de sorgo BRS Ponta Negra tipo B. O espectro A apresenta a análise full de cada amostra, enquanto que o B é o de busca do íon de catequina na amostra, com a indicação do pico encontrado. O espectro C é o de busca do íon de quercetina, também indicado com seta o íon encontrado; e o espectro D é o de busca do íon de ácido gálico, indicado com seta o íon encontrado.

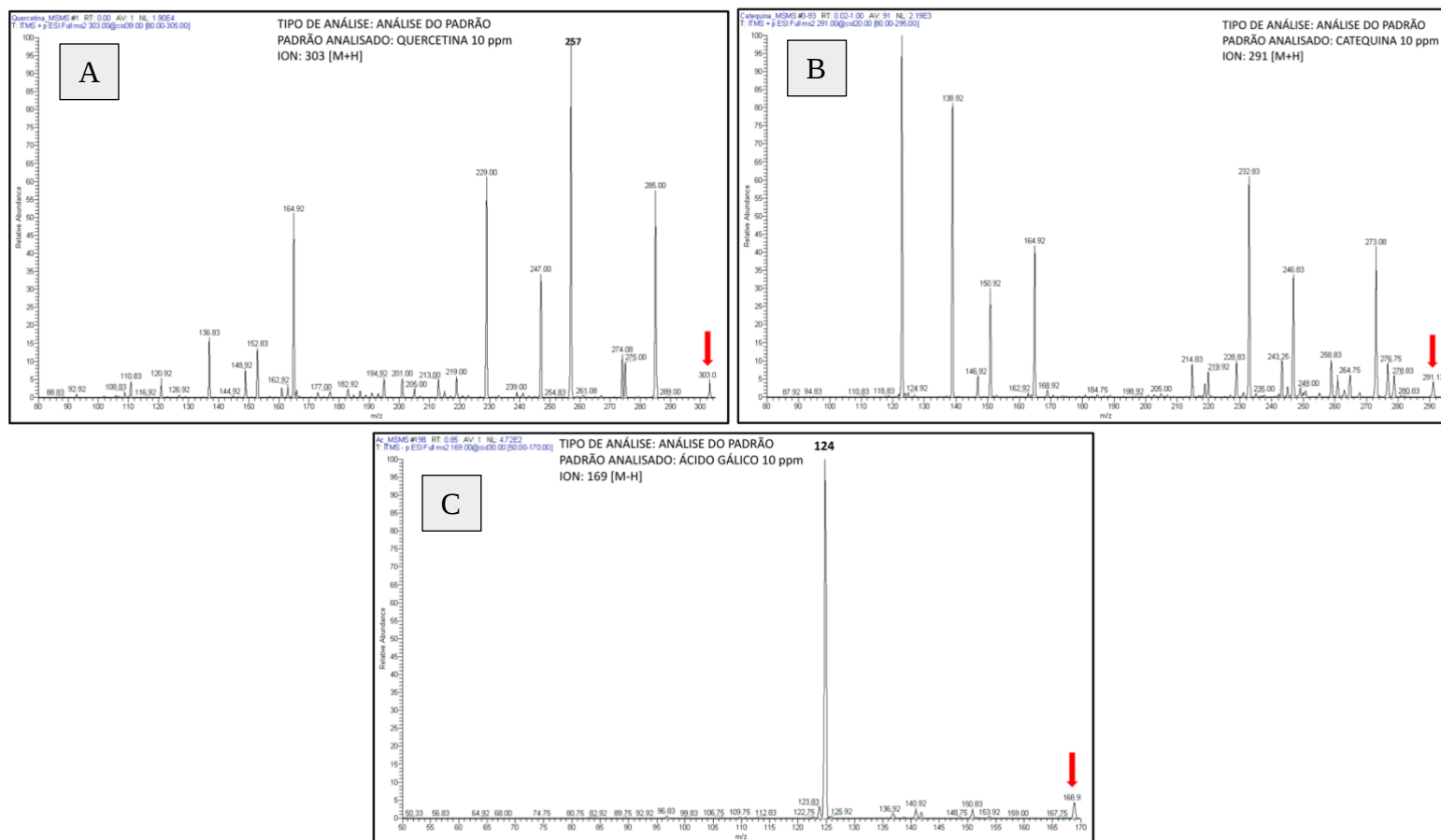


Figura 10 - Espectros de análise do padrão estudado. A) Padrão quercetina. Íon m/z 303 [M+H]. B) Padrão catequina. Íon 291 m/z [M+H]. C) Padrão ácido gálico. Íon 169 m/z [M-H]

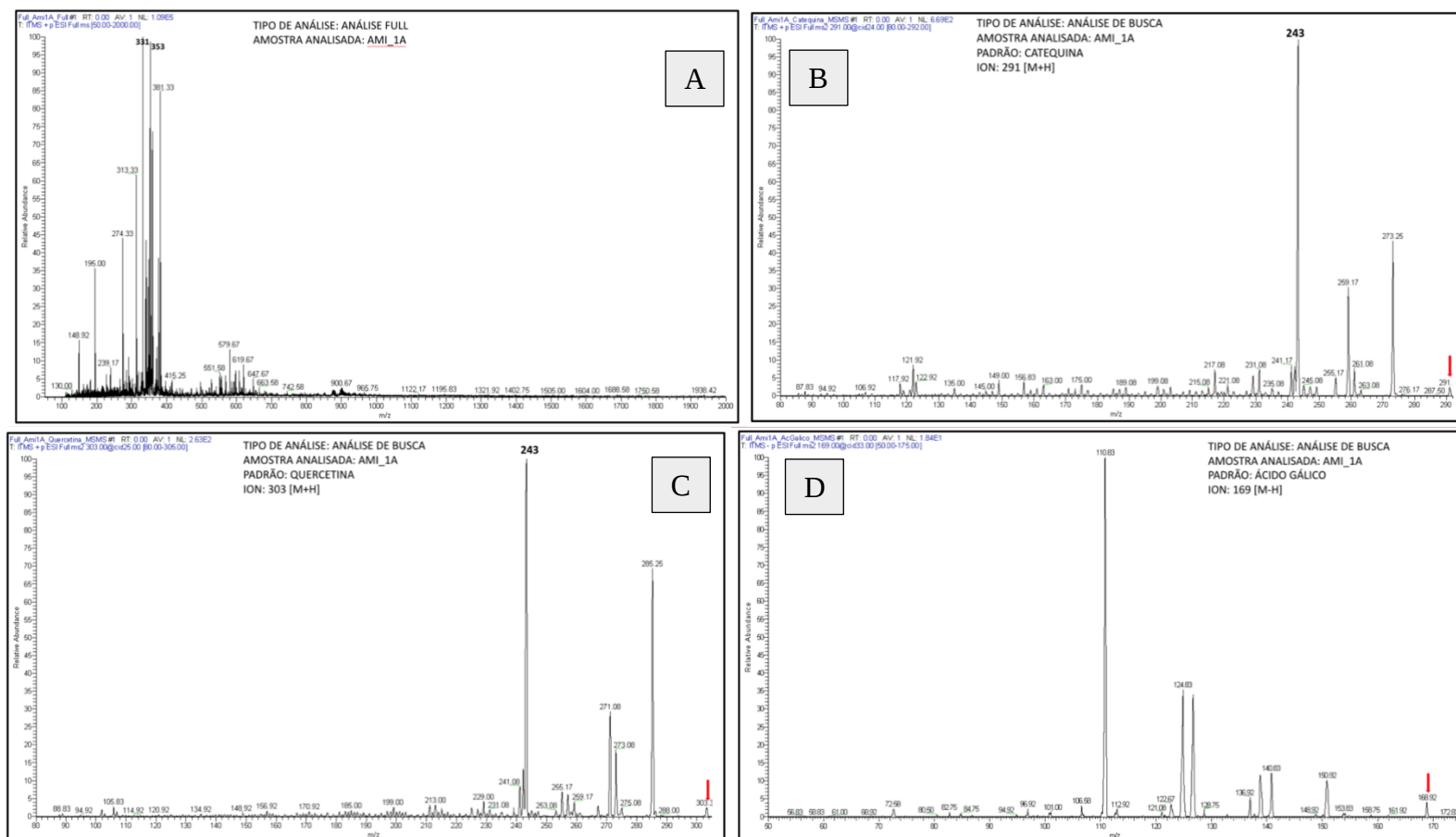


Figura 11 – Espectros de análise do amido tipo A da variedade Vermelho Comercial (AMI_1A). A) Análise completa do extrato do amido AMI_1A. B) Análise de busca para o composto catequina. Íon 291 m/z [M+H]. C) Análise de busca para o composto quercetina. Íon m/z 303 [M+H]. D) Análise de busca para o composto ácido gálico. Íon 169 m/z [M-H]

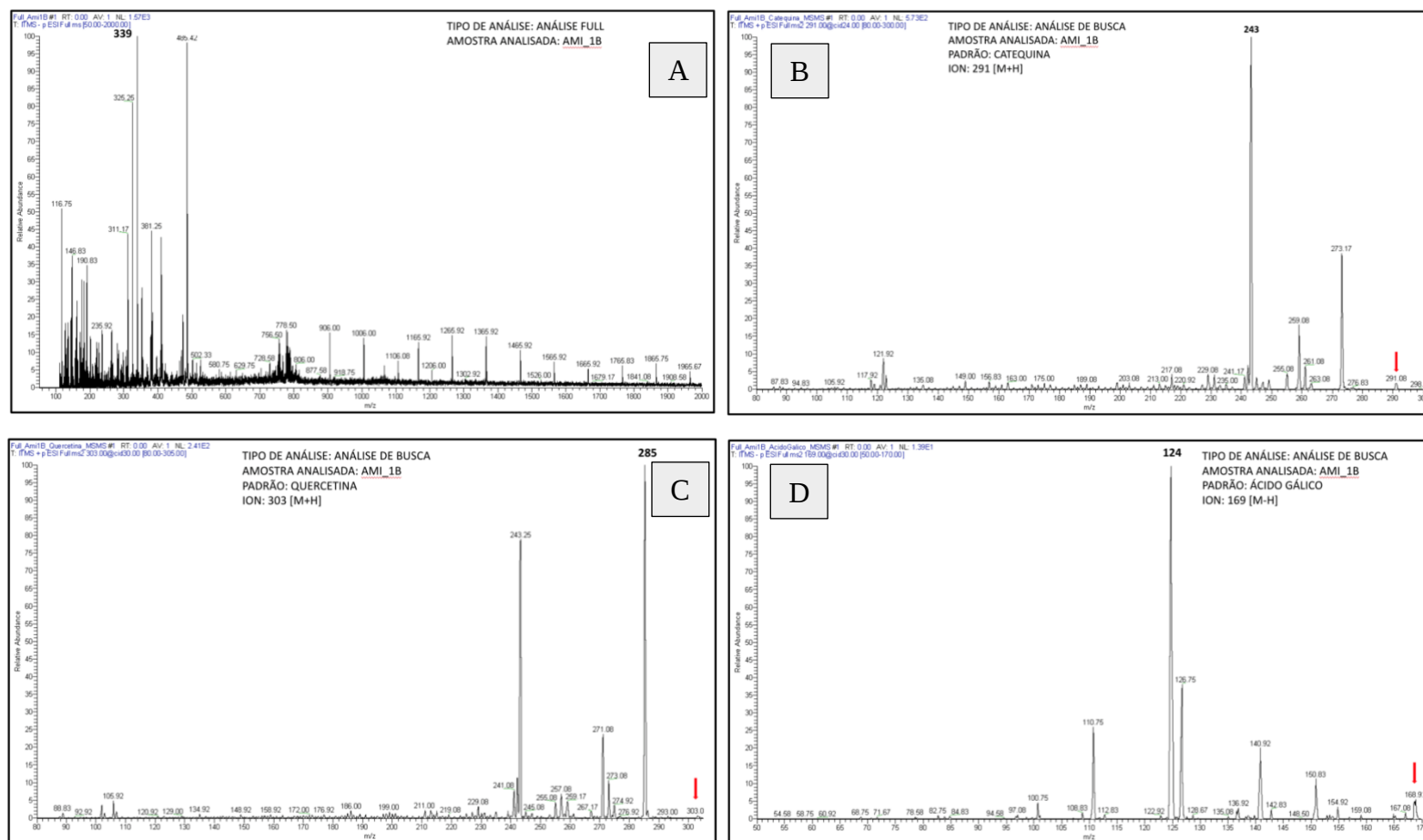


Figura 12 – Espectros de análise do amido tipo B da variedade Vermelho Comercial (AMI_1B). A) Análise completa do extrato do amido AMI_1B. B) Análise de busca para o composto catequina. Íon 291 m/z [M+H]. C) Análise de busca para o composto quercetina. Íon m/z 303 [M+H]. D) Análise de busca para o composto ácido gálico. Íon 169 m/z [M-H]

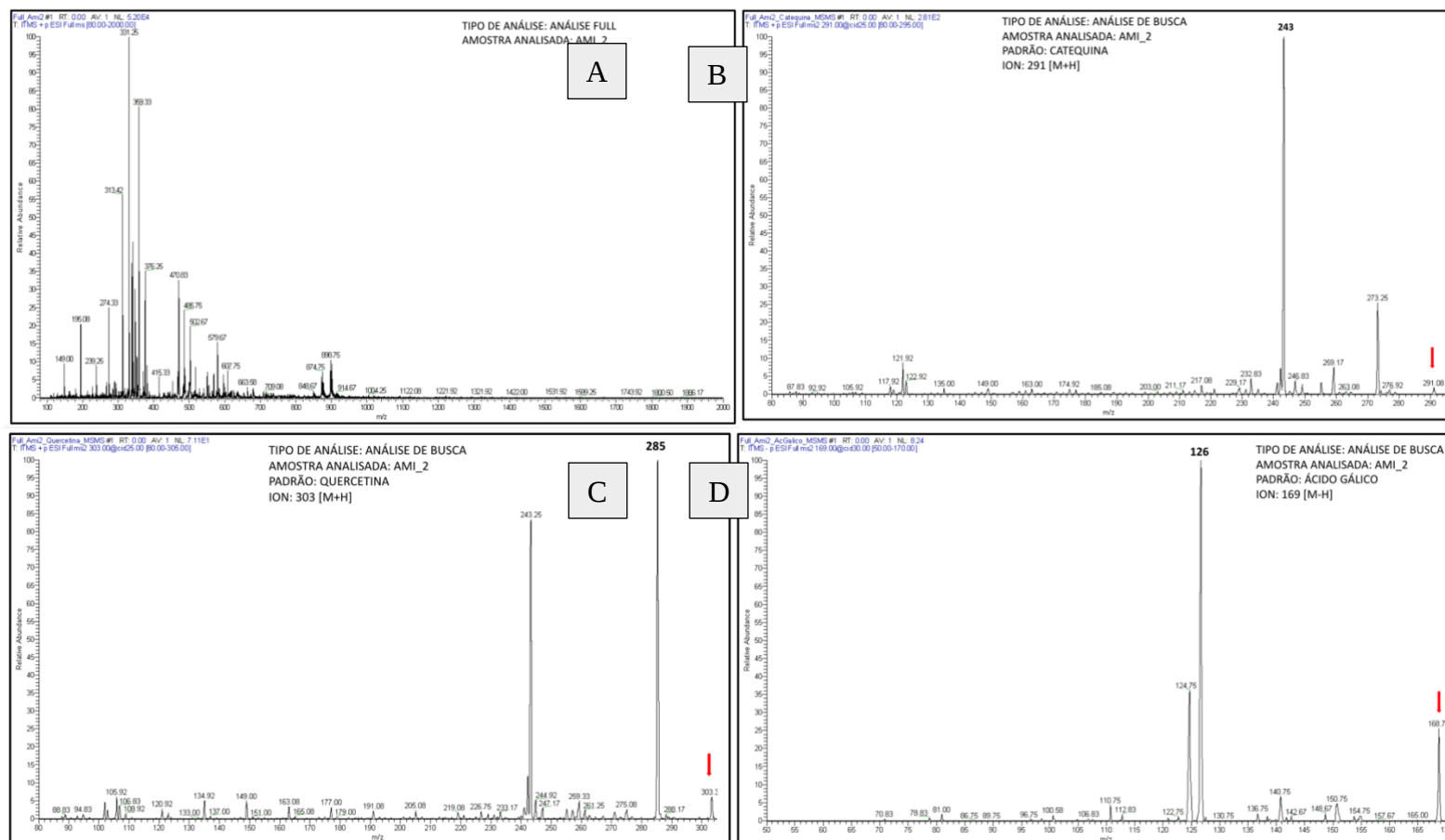


Figura 13 – Espectros de análise do amido SSG150T (AMI_2). A) Análise completa do extrato do amido AMI_2. B) Análise de busca para o composto catequina. Íon 291 m/z [M+H]. C) Análise de busca para o composto quercetina. Íon m/z 303 [M+H]. D) Análise de busca para o composto ácido gálico. Íon 169 m/z [M-H]

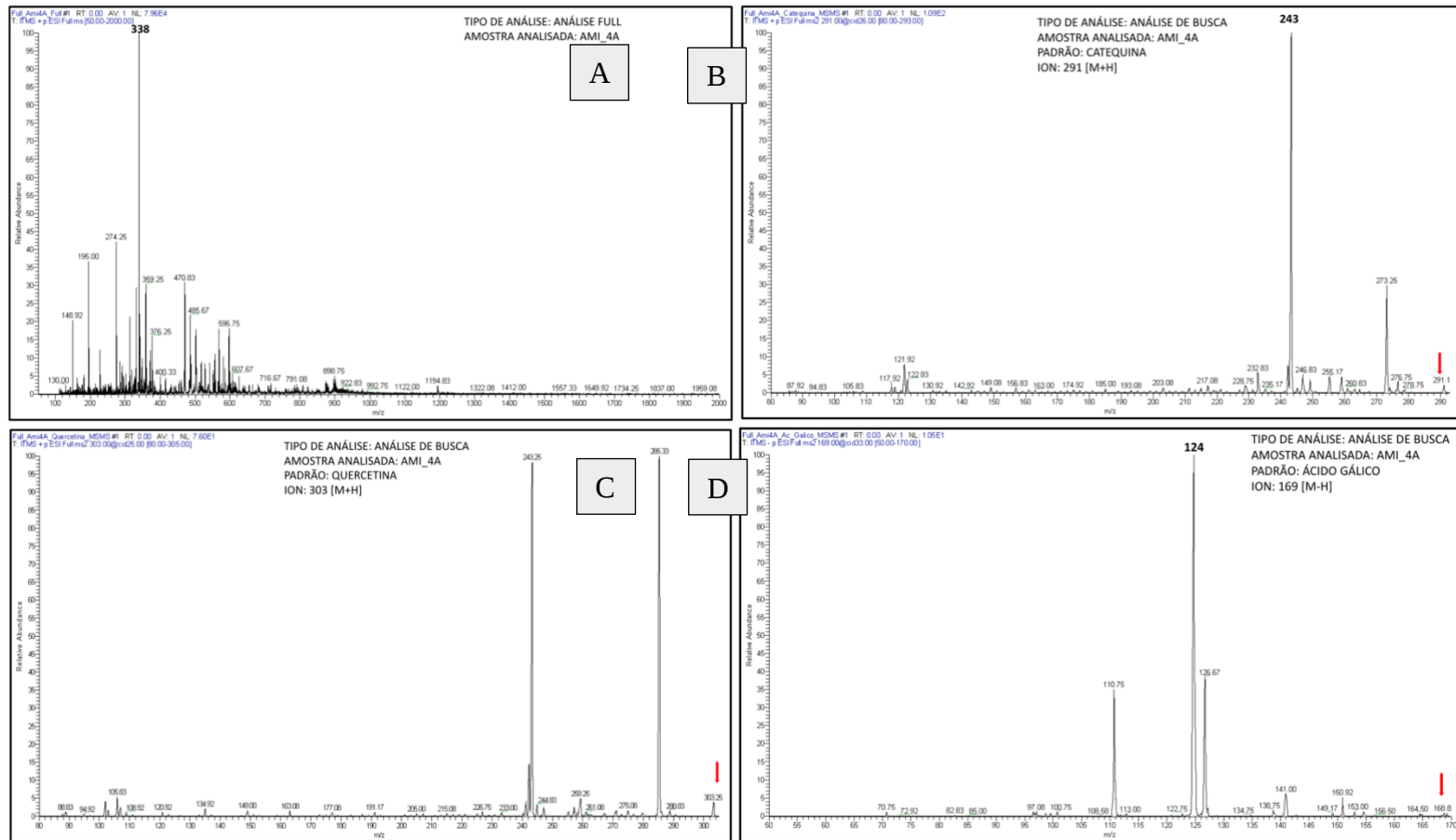


Figura 14 – Espectros de análise do amido tipo A da variedade BRS Ponta Negra (AMI_4A). A) Análise completa do extrato do amido AMI_4A. B) Análise de busca para o composto catequina. Íon 291 m/z [M+H]. C) Análise de busca para o composto quercetina. Íon m/z 303 [M+H]. D) Análise de busca para o composto ácido gálico. Íon 169 m/z [M-H]

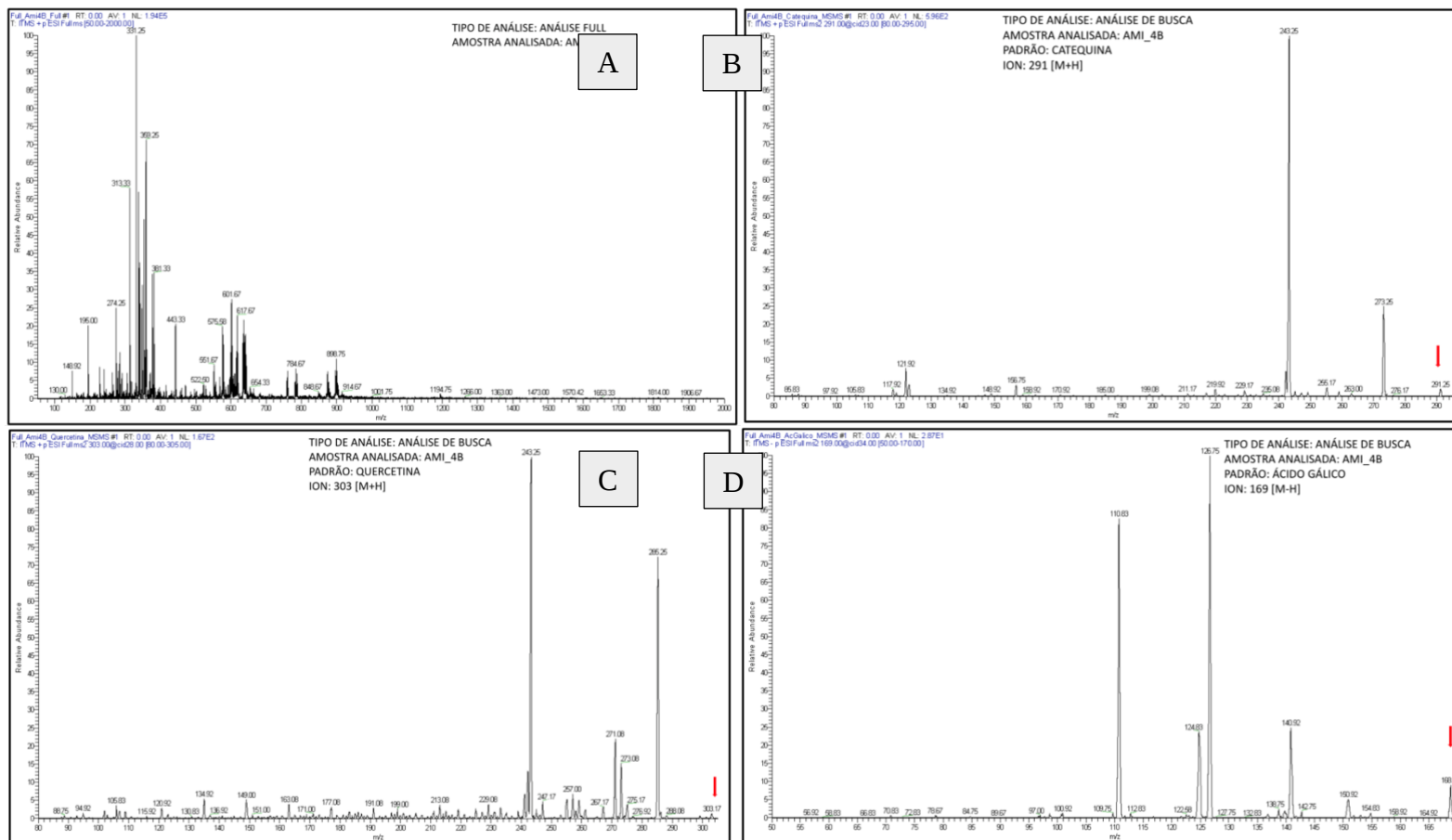


Figura 15 – Espectros de análise do amido tipo B da variedade BRS Ponta Negra (AMI_4B). A) Análise completa do extrato do amido AMI_4B. B) Análise de busca para o composto catequina. Íon 291 m/z [M+H]. C) Análise de busca para o composto quercetina. Íon m/z 303 [M+H]. D) Análise de busca para o composto ácido gálico. Íon 169 m/z [M-H]

3.12 Análise de componentes principais (ACP)

A análise de componentes principais (ACP) das propriedades químicas, físicas, físico-químicas e tecnológicas de amidos de sorgo com pigmento natural demonstrou que para explicar 78,44% da variância total foram necessários dois componentes principais (Figura 16), e quatro para explicar 100,00% da variância total: CP1 (52,18%), CP2 (26,26%), CP3 (11,73%) e CP4 (9,83%). Luminosidade, ângulo hue, atividade de água, dureza, adesividade, gomosidade, viscosidade máxima, viscosidade mínima, tendência à retrogradação, temperatura inicial de gelatinização, temperatura de pico, variação de entalpia, teor de amilose e teor antioxidante por DPPH foram significativos para CP1; Quebra de viscosidade, tempo de pico de viscosidade, temperatura de pasta e temperatura final de gelatinização foram significativos para CP2; enquanto elasticidade e viscosidade final, e teor de umidade foram significativos para CP3 e CP4, respectivamente (Tabela 10).

Os pesos positivos para CP1 agruparam os amidos de sorgo comercial vermelho tipo B (AMI_1B) e BRS Ponta Negra tipo B (AMI_4B), e para os pesos negativos foram observados os grupos: comercial vermelho tipo A (AMI_1A), SSG150T (AMI_2) e BRS Ponta Negra tipo B (AMI_4B), em que os amidos 2 e 4A mostraram possuir características semelhantes. Para os pesos positivos de CP2 foram agrupados 2 e 4A, e 4B, enquanto para os pesos negativos foram agrupados 1A e 1B. Dessa forma, observou-se que a luminosidade, provavelmente devido ao pigmento natural presente nos amidos, foi uma característica relacionada ao CP1 (Figura 16A).

A medida dos vetores expressa os pesos das variáveis, em que aqueles com maiores medidas representam os maiores pesos, sendo significativos a 5% (Tabela 10 e Figura 16B). Em relação às propriedades químicas, físicas, físico-químicas e tecnológicas de amidos de sorgo com pigmento natural observou-se que a luminosidade e variação de entalpia apresentaram correlação positiva com ângulo hue e viscosidade mínima, e correlação negativa com temperatura de gelatinização e teor de antioxidante. Dureza, adesividade e gomosidade apresentaram correlação positiva entre si, assim como viscosidade máxima e quebra de viscosidade, que apresentaram correlação negativa com temperatura de pasta e tempo de pico de pasta. Os valores máximos de dureza, adesividade, gomosidade, viscosidade máxima e quebra de viscosidade estão relacionados aos amidos 2 e 4A. Enquanto o amido 1A relaciona-se com os valores máximos de luminosidade, ângulo hue e variação de entalpia. Os valores máximos de temperatura de pasta e tempo de pico de pasta relacionaram com ao amido 1B, e

de tendência à retrogradação, temperatura inicial de gelatinização, temperatura de gelatinização e teor de antioxidante relacionaram com o amido 4B. (Figura 16A e 16B).

De forma similar, Singh, Sodhi e Singh (2010) realizou a análise de componentes principais para o estudo de caracterização de amidos de sorgo. Analisando propriedades reológicas, térmicas e texturais, os autores encontraram para o fator 1, propriedades térmicas como a temperatura inicial de pasta, temperatura de pico, temperatura final e variação de entalpia da gelatinização, totalizando 75% da variância; e para o fator 2, propriedades como o teor de amilose, viscosidade máxima, quebra de viscosidade, dureza, adesividade e gomosidade, indicando 28,2% da variância total. Nos amidos de sorgo estudados, Comercial Vermelho, SSG 150T e BRS Ponta Negra, os componentes principais de fator 1 e 2 correspondem e explicam 78,44% da variância total das amostras, e incluem as mesmas propriedades relatadas pelo autor.

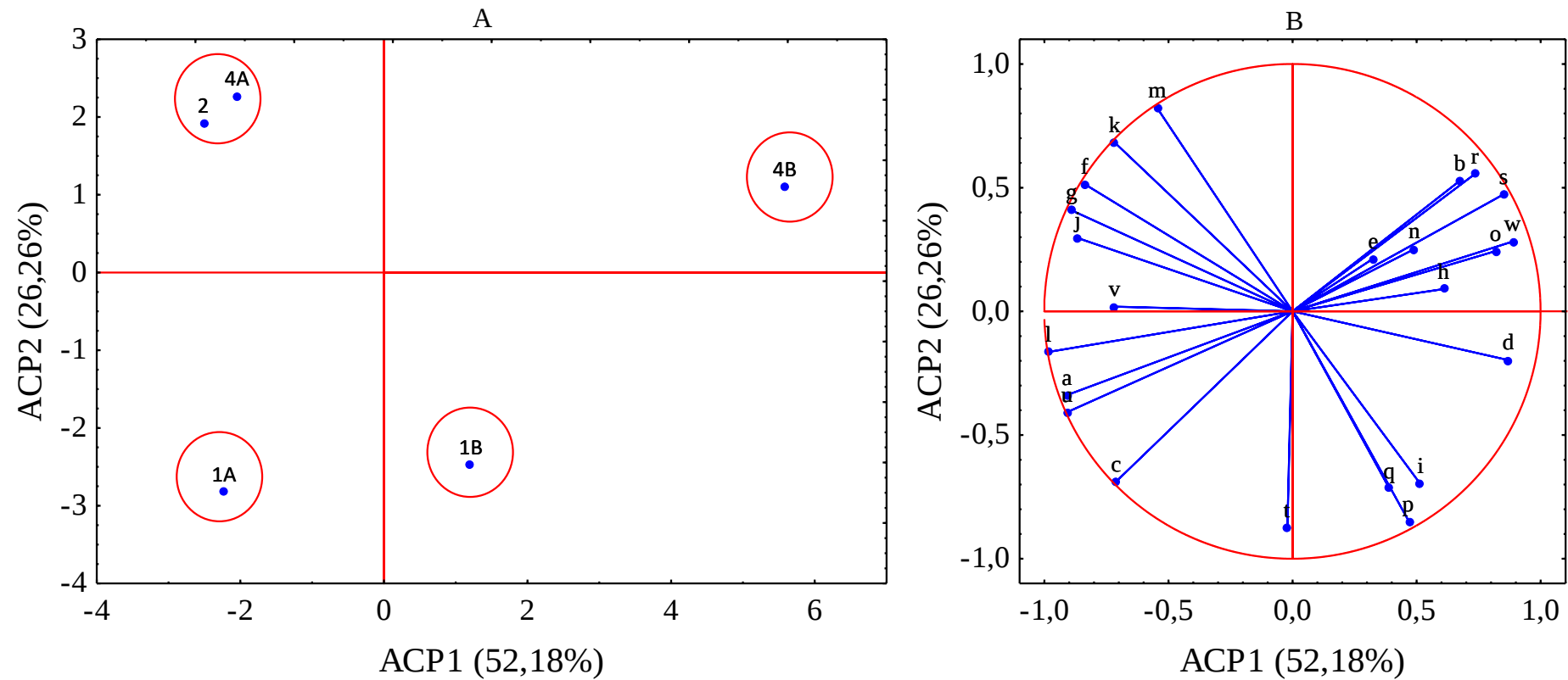


Figura 16. Análise de componentes principais (ACP) das propriedades químicas, físicas, físico-químicas e tecnológicas de amidos de sorgo com pigmento natural. *para as amostras de amido de sorgo comercial vermelho (AMI_1A e 1B), sorgo SSG 150T (AMI_2) e sorgo BRS Ponta Negra (AMI_4A e 4B),* a: luminosidade, b: croma, c: ângulo hue, d: atividade de água, e: teor de umidade, f: dureza, g: adesividade, h: elasticidade, i: coesividade, j: gomosidade, k: viscosidade máxima, l: viscosidade mínima, m: quebra de viscosidade, n: viscosidade final, o: tendência à retrogradação, p: tempo de pico de pasta, q: temperatura de pasta, r: temperatura inicial de gelatinização, s: temperatura de gelatinização, t: temperatura final de gelatinização, u: variação de entalpia, v: teor de amilose, w: teor de antioxidante por DPPH.

Tabela 10. Valores dos autovetores das propriedades químicas, físicas, físico-químicas e tecnológicas de amidos de sorgo com pigmento natural.

Propriedade	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
Luminosidade (a)	-0,9099	-0,3388	-0,1101	-0,2124
Croma (b)	0,6749	0,5286	0,3614	0,3668
Ângulo hue (c)	-0,7118	-0,6890	0,1081	-0,0833
Atividade de água (d)	0,8693	-0,1970	0,3956	-0,2217
Teor de umidade (e)	0,3244	0,2127	0,3179	-0,8651
Dureza (f)	-0,8381	0,5144	-0,0848	0,1606
Adesividade (g)	-0,8945	0,4102	0,1735	0,0395
Elasticidade (h)	0,6088	0,0900	-0,7354	0,2837
Coesividade (i)	0,5144	-0,6971	-0,4779	-0,1447
Gomosidade (j)	-0,8671	0,2969	-0,3900	0,0883
Viscosidade Máxima (k)	-0,7169	0,6827	-0,0615	-0,1275
Viscosidade Mínima (l)	-0,9857	-0,1644	-0,0298	0,0220
Quebra de Viscosidade (m)	-0,5456	0,8220	-0,0618	-0,1511
Viscosidade Final (n)	0,4909	0,2518	-0,7292	-0,4047
Tendência à Retrogradação (o)	0,8188	0,2440	-0,4457	-0,2672
Tempo de pico (p)	0,4702	-0,8511	0,1764	0,1533
Temperatura de Pasta (q)	0,3898	-0,7157	0,1180	-0,5674
Temperatura inicial de gelatinização (r)	0,7355	0,5562	0,3402	-0,1844
Temperatura de gelatinização (s)	0,8521	0,4738	-0,2202	-0,0316
Temperatura final (t)	-0,0207	-0,8733	-0,3197	0,3670
Variação de entalpia (u)	-0,9081	-0,4071	-0,0035	-0,0975
Teor de amilose (v)	-0,7166	0,0192	-0,4754	-0,5100
Teor de antioxidante por DPPH (w)	0,8879	0,2825	-0,2262	0,2839

Valores em negrito são significativos a 5% de probabilidade.

4. CONCLUSÕES

Os amidos isolados das variedades de sorgo colorido apresentaram entre si diferenças significantes quanto as suas propriedades funcionais, indicando que existem aplicações mais específicas em indústrias de alimentos. A análise de parâmetros de cor, em conjunto com as análises de compostos antioxidantes, DPPH e espectrometria de massas, indica que esses amidos possuem compostos pigmentantes e bioativos que ampliam seus benefícios em aplicações que buscam o apelo do consumidor a opções mais naturais e funcionais. Outros estudos podem ser futuramente conduzidos para entender melhor os usos e funcionalidades desses amidos naturalmente pigmentados.

REFERÊNCIAS

AI, Y. et al. Starch characterization and ethanol production of sorghum. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 13, p. 7385–7392, 13 jul. 2011.

AI, Y.; JANE, J. L. Understanding Starch Structure and Functionality. Em: **Starch in Food: Structure, Function and Applications: Second Edition**. Elsevier Inc., 2018. p. 151–178.

AINA, A. J., FALADE, K. O., AKINGBALA, J. O., & TITUS, P. Physicochemical Properties of Caribbean Sweet Potato (*Ipomoea batatas* (L) Lam) **Starches. Food and Bioprocess Technology**, 5(2), 576–583. 2012.

ANSARI, O. et al. Analysis of starch swelling power in Australian breeding lines of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.). **Field Crops Research**, v. 115, n. 2, p. 171–178, 20 jan. 2010.

AOAC. (2012). **Official methods of analysis (20th ed.)**. Association of Official Analytical Chemists.

AWOLU, O. O. et al. Physicochemical evaluation and Fourier transform infrared spectroscopy characterization of quality protein maize starch subjected to different modifications. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 10, p. 3052–3060, 1 out. 2020.

BARBI, R. C. et al. *Eriobotrya japonica* seed as a new source of starch: Assessment of phenolic compounds, antioxidant activity, thermal, rheological and morphological properties. **Food Hydrocolloids**, v. 77, p. 646–658, 1 abr. 2018.

BENAVENT-GIL, Y.; ROSELL, C. M. Technological and nutritional applications of starches in gluten-free products. Em: **Starches for Food Application: Chemical, Technological and Health Properties**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 333–358.

BETA, T. et al. **Starch properties as affected by sorghum grain chemistry**. [s.l.: s.n.].

BORÉN, M. et al. Molecular and physicochemical characterization of the high-amylose barley mutant Amo1. **Journal of Cereal Science**, v. 47, n. 1, p. 79–89, jan. 2008.

BOUDRIES, N. et al. Physicochemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria. **Carbohydrate Polymers**, v. 78, n. 3, p. 475–480, 15 out. 2009.

BRAGA, M. E. M.; MORESCHI, S. R. M.; MEIRELES, M. A. A. Effects of supercritical fluid extraction on *Curcuma longa* L. and *Zingiber officinale* R. starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 63, n. 3, p. 340–346, 3 mar. 2006.

CERVINI, M. et al. Potential application of resistant starch sorghum in gluten-free pasta: Nutritional, structural and sensory evaluations. **Foods**, v. 10, n. 5, 1 maio 2021.

CLERICI, M. T. P. S.; SAMPAIO, U. M.; SCHMIELE, M (2019). Chapter 2 - Identification and Analysis of Starch. In: SILVA CLERICI, M. T. P.; SCHMIELE, M. (eds.). **Starches for Food**

Application. [S. l.]: Academic Press, p. 23–69. DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809440-2.00002-2>.

DA SILVA, L. R. et al. Extraction and characterization of starches from pigmented rice. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 156, p. 485–493, 1 ago. 2020.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Fennema's Food Chemistry, Fifth Edition**. [s.l.] CRC Press, 2017.

DAS, D.; JHA, S.; KUMAR, K. J. Isolation and release characteristics of starch from the rhizome of Indian Palo. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 72, p. 341–346, 1 jan. 2015.

DOMÉ, K. et al. Changes in the crystallinity degree of starch having different types of crystal structure after mechanical pretreatment. **Polymers**, v. 12, n. 3, 1 mar. 2020.

DYKES, L.; ROONEY, L. W. **Sorghum and millet phenols and antioxidants**. **Journal of Cereal Science**, nov. 2006.

EL HALAL, S. L. M. et al. **Methods for Extracting Cereal Starches from Different Sources: A Review**. **Starch/Staerke**Wiley-VCH Verlag, , 1 nov. 2019.

GANDEBE, M.; NGAOU, A.; NDJOUENKEU, R. Changes in Some Nutritional and Mineral Components of Nerica Rice Varieties as Affected by Field Application with Mycorrhiza and Chemical Fertilizer in Northern Cameroon. **Food and Nutrition Sciences**, v. 08, n. 08, p. 823–839, 2017.

GIRARD, A. L., & AWIKA, J. M. (2018). Sorghum polyphenols and other bioactive components as functional and health promoting food ingredients. In **Journal of Cereal Science** (Vol. 84, pp. 112–124). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.10.009>

HUSSAIN, S. Native rice starch and linseed gum blends: Effect on pasting, thermal and rheological properties. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 33, n. 6, p. 556–563, 2015.

JAISWAL, V. et al. Comparison of Starch Characteristics from Pigmented and Non-Pigmented Sorghum Cultivars before and after Electron Beam Irradiation. **Starch/Staerke**, v. 73, n. 3–4, 1 mar. 2021.

KIM, Y. YEON; WOO, K. S.; CHUNG, H. J. Starch characteristics of cowpea and mungbean cultivars grown in Korea. **Food Chemistry**, v. 263, p. 104–111, 15 out. 2018.

KUGIMIYA, M.; DONOVAN, J. W.; WONG, R. Y. **Phase transitions of Amylose-Lipid Complexes in Starches: a Calorimetric Study**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/star.19800320805>>. Acesso em: 5 out. 2022.

LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. **Folin-Ciocalteu method for the measurement of total phenolic content and antioxidant capacity**. 2018.

- LARRAURI, A.; SAURA-CALIXTO, F. A Procedure to Measure the Antiradical Efficiency of Polyphenols. **J Sci Food Agric**. 1998.
- MARTENS, B. M. J. et al. Amylopectin structure and crystallinity explains variation in digestion kinetics of starches across botanic sources in an in vitro pig model. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 9, n. 1, 29 dez. 2018.
- MCGUIRE, R. G. **Reporting of Objective Color Measurements**. 1992.
- MEHBOOB, S. et al. Dual modification of native white sorghum (*Sorghum bicolor*) starch via acid hydrolysis and succinylation. **LWT**, v. 64, n. 1, p. 459–467, 2015.
- NARA, S.; KOMIYA, T. Studies on the Relationship Between Water-saturated State and Crystallinity by the Diffraction Method for Moistened Potato Starch. . **Starch/Staerke**. 1983..
- NOGUEIRA, G. F.; FAKHOURI, F. M.; DE OLIVEIRA, R. A. Extraction and characterization of arrowroot (*Maranta arundinaceae* L.) starch and its application in edible films. **Carbohydrate Polymers**, v. 186, p. 64–72, 15 abr. 2018.
- OLIVEIRA, A. R. et al. Isolation and characterization of yam (*Dioscorea alata* L.) starch from Brazil. **LWT**, v. 149, 1 set. 2021.
- OMOREGIE EGHAREVBA, H. Chemical Properties of Starch and Its Application in the Food Industry. Em: **Chemical Properties of Starch**. [s.l.] IntechOpen, 2020.
- PALAVECINO, P. M., PENCI, M. C., & RIBOTTA, P. D. (2019). Impact of chemical modifications in pilot-scale isolated sorghum starch and commercial cassava starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, 135, 521–529. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.202>
- PASHA, I. et al. Exploring the Antioxidant Perspective of Sorghum and Millet. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 1089–1097, 1 dez. 2015.
- PELISSARI, F. M., ANDRADE-MAHECHA, M. M., SOBRAL, P. J. DO A., & MENEGALLI, F. C. Isolation and characterization of the flour and starch of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). **Starch - Stärke**, v. 64, n. 5, p. 382–391, maio 2012
- PETRIKOSKI, A. P. Elaboração de biofilmes de fécula de mandioca e avaliação do seu uso na imobilização de caulinita intercalada com ureia. Dissertação. **Universidade Tecnológica do Paraná**. Pato Branco. 2013
- RONDÁN-SANABRIA, G. G.; FINARDI-FILHO, F. Physical–chemical and functional properties of maca root starch (*Lepidium meyenii* Walpers). *Food Chemistry*, vol. 114, n. 2, p. 492–498, 2009. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.076>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814608011679>.
- ROONEY, L.W. (1996). Sorghum and millets. In: Henry, R.J., Kettlewell, P.S. (eds) **Cereal Grain Quality**. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1513-8_5

RUFINO, M. S. M. et al. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH. **Comunicado Técnico 127**. Embrapa Agroindústria Tropical. 2007.

SANDHU, K. S.; SIROHA, A. K.; PUNIA, S.; SANGWAN, L.; NEHRA, M.; PUREWAL, S. S. (2021) Effect of degree of cross linking on physicochemical, rheological and morphological properties of Sorghum starch. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, vol. 2, p. 100073, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100073>.

SILVA, M. C., THIRÉ, R. M. S. M., PITA, V. J. R. R., CARVALHO, C. W. P., & ANDRADE, C. T. (2004). Processamento de amido de milho em câmara de mistura. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, 24(2), 303–310.

SINGH, H.; SODHI, N. S.; SINGH, N. Characterisation of starches separated from sorghum cultivars grown in India. **Food Chemistry**, v. 119, n. 1, p. 95–100, 1 mar. 2010.

SIRA, E. E. P., & AMAIZ, M. L. (2004). A laboratory-scale method for isolation of starch from pigmented sorghum. **Journal of Food Engineering**, 64(4), 515–519. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.11.019>

UFRGS. **Farinha de Trigo. Preparação do Trigo para Moagem**. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/alimentus1/feira/prcerea/farinha_tr/umidifica%C3%A7%C3%A3o-base.htm>. Acesso em: 19 nov. 2021.

VAMADEVAN, V.; BERTOFT, E. **Structure-function relationships of starch components**. **Starch/Staerke**Wiley-VCH Verlag, , 1 jan. 2015.

VIEIRA, A. L. S. et al. 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.

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

WANG, Y., ZHANG, L., LI, X., & GAO, W. (2011). Physicochemical properties of starches from two different yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) residues. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 54(Braz. arch. biol. technol., 2011 54(2)). <https://doi.org/10.1590/S1516-89132011000200004>

YE, F. et al. Structure and physicochemical properties for modified starch-based nanoparticle from different maize varieties. **Food Hydrocolloids**, v. 67, p. 37–44, 1 jun. 2017.

YONEMOTO, P. G.; CALORI-DOMINGUES, M. A.; FRANCO, C. M. L. Efeito do tamanho dos grânulos nas características estruturais e físico-químicas do amido de trigo. **Ciênc. Tecnol. Aliment**. 2007

ZAVAREZE, E. D. R., & DIAS, A. R. G. (2011). Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. In **Carbohydrate Polymers** (Vol. 83, Issue 2, pp. 317–328). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.08.064>

ZHANG, L. et al. Characterization and comparative study of starches from seven purple sweet potatoes. **Food Hydrocolloids**, v. 80, p. 168–176, 1 jul. 2018.

ZHU, F. Structure, physicochemical properties, modifications, and uses of sorghum starch. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. Blackwell Publishing Inc, 2014.

ANEXO I – IMAGENS MEV

Figura 1 - Amido de Sorgo – Variedade: Comercial Vermelho. Tipo A

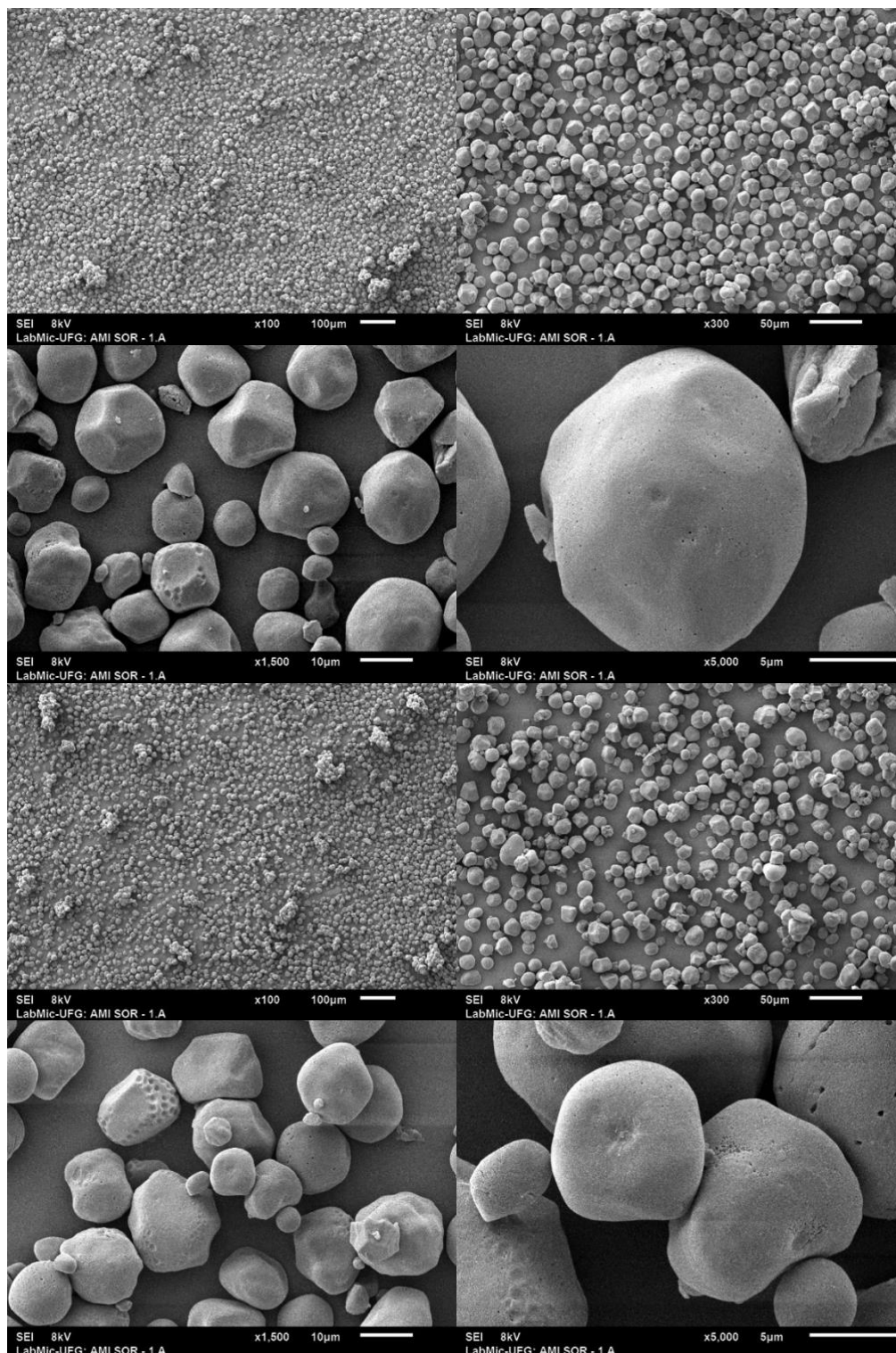


Figura 2 - Amido de Sorgo – Variedade: Comercial Vermelho. Tipo B

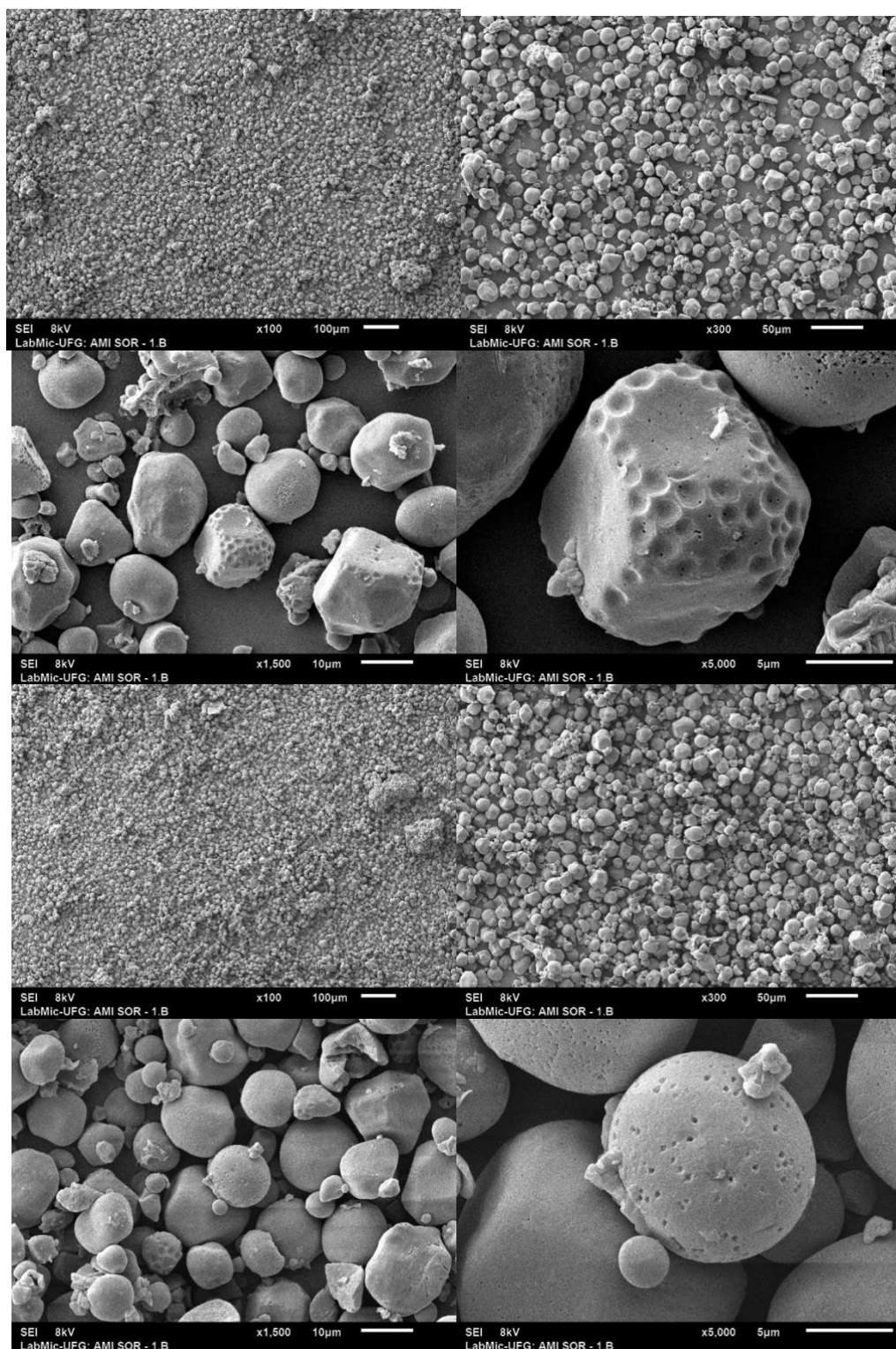


Figura 3 - Amido de Sorgo – Variedade: SSG150T.

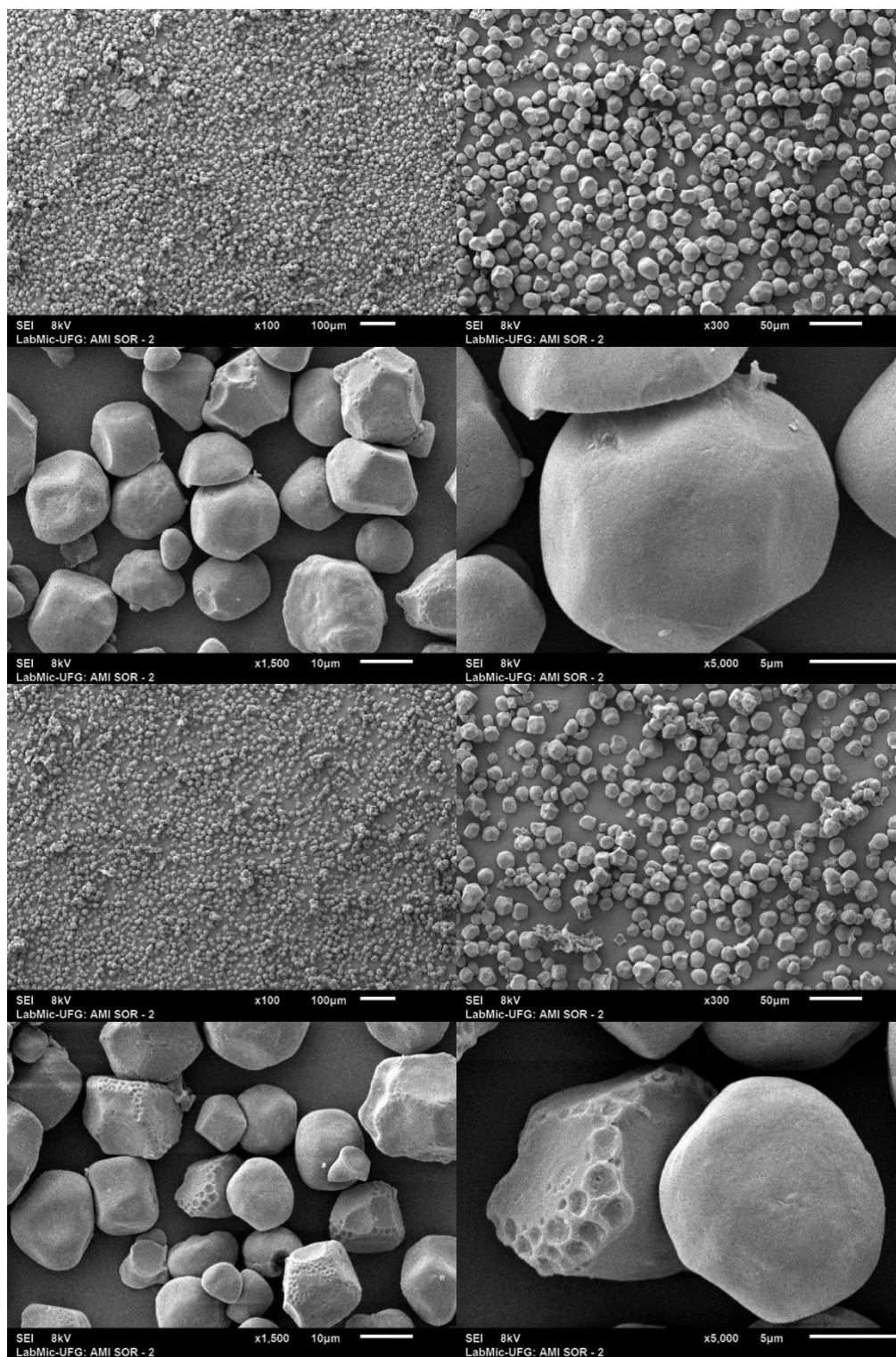


Figura 4 - Amido de Sorgo – Variedade: BRS Ponta Negra. Tipo A

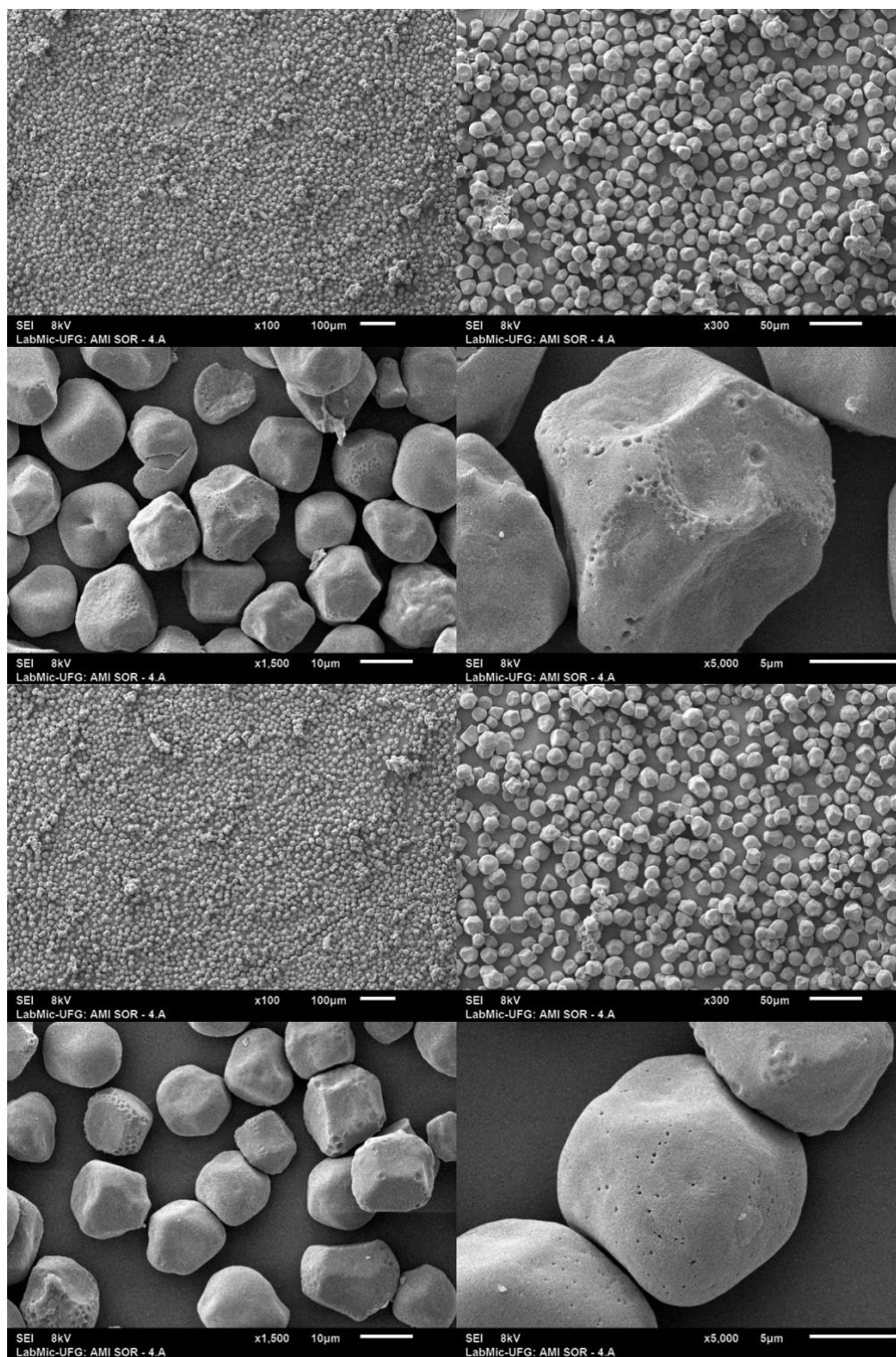


Figura 5 - Amido de Sorgo – Variedade: BRS Ponta Negra. Tipo B

