



PPGCTA
Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

ROSELY CARVALHO DO ROSÁRIO

CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DE PUPUNHA ALBINA (*Bactris gasipaes* Kunth)

BELÉM – PA, BRASIL

2024

ROSELY CARVALHO DO ROSÁRIO

CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DE PUPUNHA ALBINA (*Bactris gasipaes* Kunth)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA) da Universidade Federal do Pará (UFPA) como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador(a): ORQUÍDEA VASCONCELOS DOS SANTOS

Coorientador(a): MÁRLIA BARBOSA PIRES

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À
VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO
DEFENDIDA.

BELÉM – PA, BRASIL

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D631c do Rosário, Rosely Carvalho.
Caracterização do amido de pupunha albina (*Bactris gasipaes* Kunth) / Rosely Carvalho do Rosário. — 2024.
79 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Orquídea Vasconcelos dos Santos
Coorientação: Prof^a. Dra. Márlia Barbosa Pires
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belém, 2024.

1. amidos não convencionais. 2. baixo teor de amilose. 3.
pupunha albina. I. Título.

CDD 664.8009811

Data da defesa:

COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **ORQUÍDEA VASCONCELOS DOS SANTOS**
Data: 28/03/2024 20:13:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Orquídea Vasconcelos dos Santos
Universidade Federal do Pará – PPGCTA/ITEC
Orientadora – Presidente da comissão

Documento assinado digitalmente
 **MARLIA BARBOSA PIRES**
Data: 03/04/2024 06:53:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Márlia Barbosa Pires
Escola Superior da Amazônia– ESAMAZ
Coorientadora – Membro externo

Documento assinado digitalmente
 **Rosinelson da Silva Pena**
Data: 04/04/2024 13:55:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Rosinelson da Silva Pena
Universidade Federal do Pará – PPGCTA/ITEC
Membro titular

Documento assinado digitalmente
 **SUZANA CAETANO DA SILVA LANNES**
Data: 28/03/2024 14:23:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Suzana Caetano da Silve Lannes
Universidade de São Paulo – FCF/USP
Membro externo

A ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros também encontra-se registrada no SIGAA e disponível na Secretaria do PPGCTA-UFGA.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela vida, por mais essa encarnação, possibilitando a reforma íntima, mais um passo na mudança interior e proporciona uma posição de aceitação frente às dificuldades. Aos amigos espirituais pelo apoio na caminhada em busca da sonhada felicidade, paz e equilíbrio.

As minhas guerreiras, Rosa de Carvalho e Ignês do Rosário, pelo apoio incondicional e exemplo de perseverança. Ao meu pai, José Edmundo do Rosário, pela motivação ao retorno aos estudos.

À minha namoramiga, Ana Jhenyfer Moreira, pelo seu acolhimento nos dias difíceis, pelas comemorações de momentos felizes, pela escuta ativa, pelo amor que acalma. “Tudo fica mais bonito quando você está por perto”.

À minha orientadora Prof^a. Dra. Orquídea Vasconcelos pelo aprendizado repassado, pela dedicação, mas principalmente por me permiti vivenciar as Ciências dos alimentos, um desejo de muitos anos.

À Prof^a. Dra. Márlia Pires, pela co-orientação, pelo apoio e atenção durante o meu trabalho.

Aos meus queridos amigos de laboratório, Luana Silveira, Yasmin Lemos, Samanta Duarte, Mayara, Rafaela Valente, Gustavo Alcântara, Helen Palheta, Beatriz Souza, Thielly Martins, Jade Carvalho e Juliana Guimarães. Auxiliaram muito além dos procedimentos laboratoriais, ajudaram a deixar tudo mais leve e divertido.

Obrigada as instituições e laboratórios que possibilitaram o uso de equipamentos imprescindíveis para algumas análises. E todos que participaram de mais essa etapa da minha vida, pois direta ou indiretamente me fizeram evoluir, principalmente profissionalmente.

Agradecimentos às agências de fomento à pesquisa
(Acknowledgement to the research funding agencies)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 88887.695903/2022-00.

RESUMO

Uma nova variedade de fruto de pupunheira da região amazônica produz frutos albinos possivelmente resultantes de sucessivas hibridizações que provocam diferenças consideráveis de cor e composição, exibiu um alto conteúdo energético para o carboidrato e um teor de amido que merece ser investigado. Portanto, o objetivo deste estudo foi caracterizar o amido de pupunha albina (APA), analisando sua composição nutricional, morfológica, bem como suas propriedades funcionais tecnológicas, térmicas e de pasta. As metodologias aplicadas seguiram orientações internacionalmente aceitas e recomendadas. O amido de pupunha albina por isolamento aquoso resultou em um rendimento de 67,91%, e um pó branco levemente amarelado, com qualidade dentro do preconizado pela legislação nacional vigente, com teor de umidade em 8,64%. O isolamento deste amido proporcionou características físico-químicas eficazes na conservação ($a_w = 0,255$, $pH = 5,75$) e uma boa qualidade (cinzas = 0,12g/100g, proteínas = 0,80g/100g, lipídios = 1,0g/100g e teor total de amido = 89,01 g/100g). O APA possui grânulos de pequeno tamanho com cristalino tipo A e valor regular de cristalinidade (24,40%) confirmando o alto conteúdo de amilopectina (86,70%) e baixo teor de amilose (13,30%), sendo classificado como amido com baixo teor de amilose. Os grânulos de APA foram mais resistentes e menos suscetíveis à quebra com aquecimento prolongado e o aumento de temperatura. As características tecnológicas e funcionais do amido de pupunha albina apresentaram elevada temperatura de gelatinização (93,1°C), valores baixos de viscosidades máxima (921,33 cP) e final (1014 cP), valor de capacidade de absorção de água e óleo (2,19 e 1,79 g/g) equivalentes, uma boa capacidade gelificante e pouca perda de água na refrigeração e congelamento do gel. Concluiu-se que o aproveitamento do fruto da pupunha albina para isolar amido apontou em seus resultados potencialmente aplicáveis às indústrias alimentícia, têxtil, farmacêutica e cosmética, além de promover a valorização local dos alimentos e pequenas comunidades agrícolas amazônicas.

Palavras-chave: amidos não convencionais; baixo teor de amilose; pupunha albina.

ABSTRACT

A new variety of peach palm fruit from the Amazon region produces albino fruits possibly resulting from successive hybridizations that cause considerable differences in color and composition, exhibiting a high energy content for carbohydrates and a starch content that deserves to be investigated. Therefore, the objective of this study was to characterize albino peach palm starch, analyzing its nutritional and morphological composition, as well as its technological, thermal and pasting functional properties. The methodologies applied followed internationally accepted and recommended guidelines. Albino peach palm starch by aqueous isolation resulted in a yield of 17.34%, and a slightly yellowish white powder, with quality within that recommended by current national legislation, with its moisture content at 8.64%. The isolation of this starch provided effective physical and chemical characteristics for conservation ($a_w=0.255$, $pH=5.75$) and good quality (ash = 0.12g/100g, proteins = 0.80g/100g, lipids = 1.0g/100g and total starch content = 89.01 g/100g). APA has small granules with type A crystalline and regular crystallinity value (24.40%), confirming the high content of amylopectin (86.70%) and very low content of amylose (13.30%), being classified as low amylose starch. APA granules were more resistant and less susceptible to breakage with prolonged heating and temperature increase. The technological and functional characteristics of albino peach palm starch showed a high gelatinization temperature (93.1°C), low maximum (921.33 cP) and final (1014 cP) viscosities, water and oil absorption capacity values (2.19 and 1.79 g/g) equivalents, a good gelling capacity and little loss of water when cooling and freezing the gel. It was concluded that the use of the fruit of the albino peach palm to isolate starch showed potentially applicable results to the food, textile, pharmaceutical and cosmetic industries, in addition to promoting the local appreciation of food and small Amazonian agricultural communities.

Keywords: non-conventional starches; low amylose; albino peach palm.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fruto da pupunha albina (<i>Bactris gasipaes</i> Kunth)	16
Figura 2 - Fontes, grânulo no amiloplasto e estrutura química do amido	19
Figura 3 - Fontes não convencionais de amido	21
Figura 4 - Processo para extração do amido da pupunha albina	32
Figura 5 - Rendimento do amido nativo da polpa de pupunha albina.....	40
Figura 6 - Eletromicrografias do amido da pupunha albina. (A) resolução 5.0 kx, (B) resolução 23.0 kx, (C) resolução 5.0 kx com	46
Figura 7 - Espectroscopia de Infravermelho do amido de pupunha albina	48
Figura 8 - Difração de raios x do amido de pupunha albina	50
Figura 9- Comportamento termogravimétrico diferencial do amido da pupunha albina	51
Figura 10 - Comportamento viscoamilográfico do amido de pupunha albina.	52
Figura 11 - Perfil de solubilidade para amido nativo da pupunha albina.....	55
Figura 12 - Perfil de intumescimento para amido nativo da pupunha albina.....	55
Figura 13 - Estudo da capacidade de geleificação do amido nativo de pupunha albina	57
Figura 14 - Gráfico de sinérese do amido nativo de pupunha albina em refrigeração (4°C)	58
Figura 15 - Gráfico de sinérese do amido nativo de pupunha albina em congelamento (-18°C) e ciclos de descongelamento.....	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frutas e seus subprodutos como fontes não convencionais de amido.....	23
Tabela 2 - Parâmetros de cor instrumental para a polpa e a amido da pupunha albina.....	42
Tabela 3 - Cracterísticas físico-química da polpa e amido da pupunha albina	42
Tabela 4 - Conteúdo mineral em amido de pupunha albina.....	45
Tabela 5 - Propriedade de pasta do amido nativo da pupunha albina	54
Tabela 6 - Valores de CAA e CAO do amido da pupunha albina.....	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
	2.1. Objetivo geral.....	15
	2.2. Objetivos específicos.....	15
3	REVISÃO DE LITERATURA	16
	3.1 Pupunha.....	16
	3.2 Amido.....	16
	3.1.1 Características gerais.....	19
	3.1.2 Novas fontes de amido e potencial de aplicação	20
	3.1.3 Extração de amido	24
	3.1.4 Propriedades funcionais tecnológicas do amido	26
	3.1.5 Propriedades térmicas	29
4	MATERIAL E MÉTODOS	32
	4.1 Obtenção da matéria prima	32
	4.2 Extração do amido de pupunha	32
	4.3 Características físicas	32
	4.4 Características físico-químicas.....	32
	4.5 Determinação de minerais.....	35
	4.6 Caracterização morfológicas e estruturais.....	35
	4.7 Propriedades térmicas	36
	4.8 Propriedades de pasta.....	36
	4.9 Propriedades tecnológicas	37
	4.10 Análise estatística.....	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
	5.1 Características físicas do amido da pupunha albina	40
	5.1.1 Rendimento	40
	5.1.2 Cor.....	41
	5.2 Características físico-químicas do amido da pupunha albina	42
	5.3 Composição mineral.....	44
	5.4 Caracterização morfológicas e estruturais.....	46
	5.4.1 Morfologia do amido da pupunha albina	46
	5.4.2 Espectroscopia de Absorção na Região do Infravermelho.....	48
	5.4.3 Difractometria de raios X (DRX).....	49
	5.5 Propriedades térmicas	51

5.6 Propriedades de pasta do amido	52
5.7 Propriedades tecnológicas do amido	54
5.7.1 Capacidade de absorção de água (CAA) e óleo (CAO)	54
5.7.2 Solubilidade e poder de intumescimento em função da temperatura	55
5.7.3 Estudo de gelificação	57
5.7.4 Sinérese	58
6 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	62
APÊNDICES E ANEXOS	78

1 INTRODUÇÃO

A pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) é nativa do bioma Amazônico, pertence à família *Arecaceae* e, apesar de ser um fruto típico da região Norte do Brasil e estar inserida nos hábitos alimentares, essa palmeira oferece duas culturas alimentares com potencial comercial: palmito e os frutos, mas é reconhecida mundialmente como matéria-prima para a fabricação de palmito (Felisberto *et al.*, 2020; Pires *et al.*, 2019, 2021; Ribeiro *et al.*, 2021). Os frutos da pupunha ocorrem como variedades silvestres ou domesticadas, apresentando alta variabilidade de espécies influenciadas pela origem, clima, condições do solo e tempo de colheita, levando a variação na composição química (teor de lipídios, proteínas, açúcares, fibras, amidos), físicas (formatos, tamanhos e presença ou ausência de sementes) e sensoriais (sabor e cores da casca e polpa) (Pires *et al.*, 2019, 2021; Santos *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2021).

Pesquisas com frutos da pupunheira de espécies vermelha, laranja, amarela e verde têm mostrado a presença de alto valor energético, compostos antioxidantes (carotenoides e polifenóis) e macronutrientes, com destaque aos carboidratos, proteínas, fibras, lipídios e amido, sendo este último um dos principais componentes do fruto da pupunheira, e sua extração vem alcançando relevância nas pesquisas (Giombelli *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2020; Pires *et al.*, 2021; Stevanato *et al.*, 2020). Entretanto, estes estudos foram realizados principalmente com as variedades vermelhas e amarelas.

Santos *et al.* (2022) e Soares *et al.* (2023) reportaram uma nova variedade de pupunheira da região amazônica que produz frutos brancos possivelmente resultantes de sucessivas hibridizações que provocam diferenças consideráveis de cor e composição. Os autores demonstraram com avaliações dos produtos e subprodutos dos frutos da pupunha albina: coloração, constituição nutricional-funcional e tecnológica diferenciadas. O destaque nas pesquisas de Santos *et al.* (2022) demonstra a grande relevância nutricional dos frutos *in natura* e de sua constituição na proporção lipídica, com alta funcionalidade cardiovascular de seus compostos a saúde humana, dada ao consumo desta fruta. E em Soares *et al.* (2023) o potencial de aplicação nutricional e tecnológico de farinhas cruas e cozidas foram adequadas para aplicações industriais.

Santos *et al.* (2022) mostraram que os frutos da pupunheira branca apresentam alto valor energético principalmente devido ao seu teor de carboidratos e lipídios (principalmente ácidos graxos ômega 6 e 3), assim como presença de importantes conteúdos minerais (cálcio, potássio, fósforo, cobre e selênio). Além disso, está variedade de pupunheira, diferentemente das

variedades mais comuns, exibiram teor elevado de carboidrato e um teor de amido visível nas micrografias que merece ser investigado.

A pesquisa de Soares *et al.* (2023) caracterizou a polpa crua da pupunha albina além de submeter este fruto em processos de cozimento e secagem: polpa cozida, farinha de polpa crua e farinha de polpa cozida. O estudo demonstrou que o processo de cozimento diminuiu o teor de lipídios, fibra alimentar e açúcar total, bem como, diminuiu na polpa o teor de compostos fenólicos totais, carotenóides e ácido ascórbico. Ainda assim, a farinha de pupunha albina se mostrou um subproduto pertinente para enriquecimento de alimentos, especialmente em fibras alimentares, cálcio, magnésio e fósforo. Além de exibir grânulos pequenos de amido envolto do amiloplastos na polpa crua e grânulos de amido gelatinizado na polpa cozida e na farinha de polpa cozida.

Embora o amido seja comumente extraído principalmente de quatro fontes convencionais (milho, batata, trigo e mandioca) (Agama-Acevedo *et al.*, 2019) há o aumento da demanda por amido na indústria, associado à busca de novas fontes de amido. Corroborando com as pesquisas de Kringel *et al.* (2019) com exemplares de frutas com quantidades significativas de amido, as pesquisas de Felisberto *et al.* (2020) e Pires *et al.* (2021) apresentaram os amidos de pupunha como fontes não convencionais de amido com alta potencialidade de aplicações.

Compreender as relações entre características físico-químicas, estrutura e propriedades funcionais de novos amidos é primordial para maior agregação de valor a produtos e subprodutos amazônicos com aplicações na indústria alimentícia.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Caracterizar o amido de pupunha albina, analisando sua composição nutricional, mineral, morfológica, bem como suas propriedades funcionais tecnológicas, térmicas e de pasta.

2.2. Objetivos específicos

Os seguintes objetivos específicos foram definidos para atingir o objetivo geral da pesquisa:

- Isolar o amido da pupunha albina pelo método aquoso;
- Avaliar a composição de mineral do amido da pupunha albina;
- Avaliar as características físico-químicas do amido da pupunha albina;
- Avaliar a estrutura morfológica dos grânulos do amido da pupunha albina;
- Determinar as propriedades tecnológicas funcionais, térmicas e de pasta do amido da pupunha albina.

3 REVISÃO DE LITERATURA

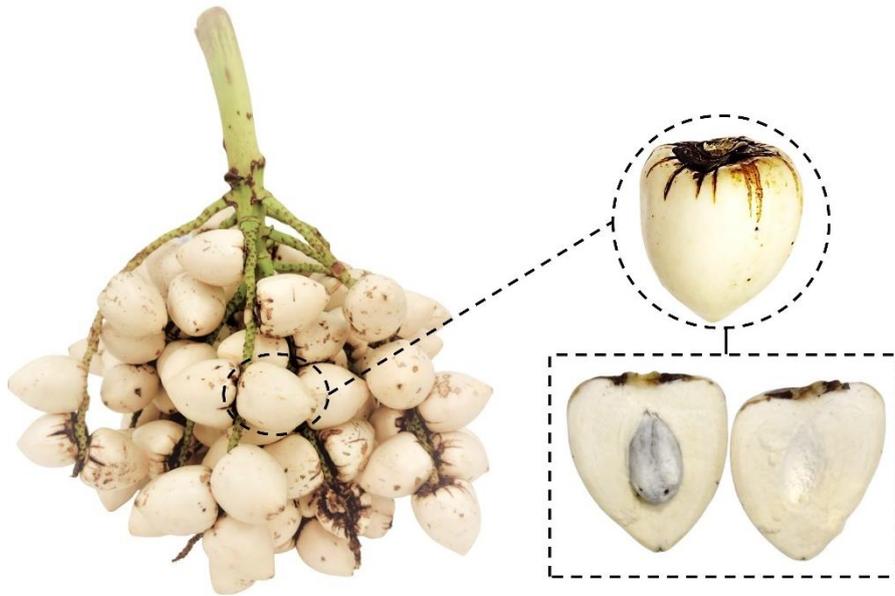
3.1 Pupunha

A pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) é uma espécie de palmeira da família Arecaceae, nativa do bioma Amazônico. Principalmente em áreas de mata úmida próximos de cursos d'água perene, com índices pluviométricos diferenciados (variando de 2.000 a 6.000 mm), e com umidade relativa do ar superior a 80%. A palmeira pupunha (ou pupunheira) pode atingir até 20 m de altura, e seus frutos estão distribuídos em cacho podendo conter entre 50 – 1000 unidades (Valencia *et al.*, 2015). A pupunheira se destaca por conter duas partes comestíveis com potencial comercial: frutos da pupunha (parte da alimentação das populações da região Norte do Brasil) e palmito (conhecido nacionalmente como “palmito de pupunha”) (Pires *et al.*, 2021; Felisberto *et al.*, 2020).

Os frutos da pupunha apresentam-se em variadas formas (cônica, ovoide ou elipsoide), com ampla faixa de comprimento (4–6 cm), largura (3–5 cm) e peso (20 a 205 g), e é composto por uma polpa comestível em torno de uma única semente rígida e fibrosa (Neri-Numa *et al.*, 2018). As pupunhas podem ser classificadas em: microcarpa (fruto <20 g); mesocarpa (fruta entre 21 e 70 g) e macrocarpa (fruta >70 g) (Yuyama *et al.*, 2003). Além disso, dependendo da variedade e do estágio de maturação deste fruto apresenta uma casca fina aderida à polpa com coloração diversificada (vermelha, laranja, amarela e verde), bem como podendo ocorrer com ou sem sementes (Chisté *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2019). A polpa é carnosa e amilácea/oleosa, de sabor agridoce suave e representa cerca de 72% do peso do fruto, seguida das sementes (21%) e da casca (6%) (Neri-Numa *et al.*, 2018; Costa *et al.*, 2019; Chisté; Fernandes, 2016).

Cornelius *et al.* (2010) relatou pela primeira vez a presença de frutos de pupunheira com casca amarela e polpa branca no Peru. Recentemente nas pesquisas de Santos *et al.* (2022) e Soares *et al.* (2023) apresentaram uma variedade albina de pupunheira (casca e polpa) da Amazônia brasileira, possivelmente resultantes de sucessivas hibridizações que provocam diferenças consideráveis de cor e composição. Os autores demonstraram com avaliações dos produtos e subprodutos dos frutos da pupunha albina diferenças de coloração, constituição nutricional-funcional e tecnológica. O aspecto diferenciado dessa variedade é apresentado na Figura 1, dos frutos da pupunha albina no cacho.

Figura 1 - Fruto da pupunha albina (*Bactris gasipaes* Kunth).



Santos *et al.* (2022) mostraram que os frutos da pupunheira albina apresentam alto valor energético principalmente devido ao seu teor de carboidratos e lipídios (principalmente ácidos graxos ômega 6 e 3), assim como presença de importantes conteúdos minerais (cálcio, potássio, fósforo cobre e o selênio). Além disso, esta variedade de pupunheira mostrou um alto conteúdo energético para o carboidrato e grânulos de amido visível nas micrografias que merece ser investigado.

O estudo de Soares *et al.* (2023) relatou a composição físico-química, compostos bioativos e propriedades funcional-tecnológicas dos frutos da pupunha albina antes e depois dos processos de cozimento e secagem. Os autores mostraram que na farinha de pupunheira albina concentrou o teor de lipídios, fibra alimentar total e açúcares, enquanto tratamento hidrotérmico diminuiu o teor desses nutrientes. O cozimento também impactou negativamente os conteúdos de compostos fenólicos, flavonoides, ácido ascórbico e carotenóides. No entanto, a farinha de pupunha albina pode ser um subproduto pertinente para enriquecimento de alimentos, especialmente pela presença de fibras alimentares e minerais (cálcio, magnésio e fósforo) contribuindo para as necessidades da saúde humana. Os aspectos morfológicos comprovaram a existência de grânulos pequenos de amido na polpa de pupunheira albina, e evidências da gelatinização do amido causada pelo cozimento.

O cozimento do fruto em água com sal além de melhorar o sabor, é suficiente para eliminar os cristais de oxalato de cálcio da casca da pupunha (Matos, 2019). Normalmente, essa fruta é consumida no café da manhã e lanche da tarde, mas há outras preparações possíveis como: macarrão, cookies, mistura para bolo, casquinha de sorvete, e até biofilmes comestíveis

(Martínez-Girón; Figueroa-Molano; Ordóñez-Santos, 2017; Sakurai *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2019; Pires *et al.*, 2021; Costa; Rodrigues; Silva, 2022).

A composição do mesocarpo dos frutos da pupunheira da variedade vermelha e amarela apresentam macronutrientes (lipídios, proteínas e carboidratos) que tornam o alimento com altas propriedades nutricionais e sensoriais (Giombelli *et al.*, 2020; Martins *et al.*, 2020; Pires *et al.*, 2021; Stevanato *et al.*, 2020). Quanto aos minerais, são encontrados manganês, potássio, ferro e zinco e vitaminas como niacina (0,81 mg/100 g, vitamina C (18,7 mg/100 g), B1 (tiamina) (0,045 mg/100 g), B2 (0,135 mg/100 g) e A (1,1 mg/100 g) fontes importantes para consumo diário recomendado (Yuyama *et al.*, 2003; Felisberto *et al.*, 2020). Além disso, pode ser considerado uma fonte promissora de compostos bioativos principalmente carotenoides (provitamina A, três vezes mais que a dose diária recomendada) e as di-C-glicosil flavonas (schaftosídeo e vicenina-2) são os principais compostos fenólicos (compostos que exibem várias atividades biológicas relevantes) (Rojas-Garbanzo *et al.*, 2011; Neri-Numa *et al.*, 2018; Matos *et al.*, 2019; Chisté *et al.*, 2021).

De acordo com a literatura, a ingestão frequente desses compostos tem sido associada à diminuição da incidência de doenças crônico-degenerativas (Luna-Guevara *et al.*, 2018; Britton, 2020). Isso porque a vitamina A desempenha papéis fisiológicos importantes (por exemplo, modulação das funções ópticas, reprodutivas, imunológicas, desenvolvimento de osso/tecido e queratinização da pele (Hu *et al.*, 2020; Neri-Numa *et al.*, 2018; Matos *et al.*, 2019; Chisté *et al.*, 2021).

Estudos com as variedades vermelha e amarela mostraram o potencial tecnológico dos frutos da pupunheira para a produção de farinha, tanto de suas polpas (Pires *et al.*, 2019) ou cascas (Ordóñez-Santos *et al.*, 2016; Martínez-Girón *et al.*, 2017), para serem utilizados em produtos extrusados (Carvalho *et al.*, 2010) e assados (Pires *et al.*, 2021). Bem como o uso do amido, um dos principais componentes do fruto da pupunheira vermelha, nas pesquisas como fontes não convencionais de amido com alta potencialidade de aplicações (Felisberto *et al.*; 2020; Pires *et al.*, 2021). Algumas propriedades químicas e funcionais do amido de frutos de pupunheira, como viscosidade, índice de absorção de água e índice de solubilidade em água fria e quente foram investigados por Melo Neto *et al.* (2015; 2017) e Valencia *et al.* (2015).

Recentemente, Pires *et al.* (2021) extraíram por dois métodos (aquoso e alcalino) os amidos de frutos de pupunha de genótipos distintos (microcarpa, mesocarpa e macrocarpa) com intuito de avaliar a influência dessas variedades genéticas na qualidade do amido. Neste trabalho, os autores observaram que apesar dos três genótipos representarem fontes importantes de amido, o macrocarpa apresentou melhores resultados de rendimento em relação aos outros,

pelos dois métodos de extração, apresentando propriedades gerais semelhantes às fontes comuns de amido. Além disso, Pires *et al.* (2021) afirmaram que os métodos de extração interferem nas propriedades dos amidos e, por conseguinte, nas possíveis aplicações, pois enquanto o amido de processo aquoso pode ser indicado como material para a indústria de panificação, por sua vez, a extração alcalina, resulta em amido com possível aplicação na indústria química e farmacêutica.

Felisberto *et al.* (2020) ao utilizarem uma extração aquosa do amido de pupunha vermelha e sem nenhum reagente químico, encontraram características semelhantes ao amido de tubérculo, mas com menor viscosidade e retrogradação da massa, durante resfriamento. A metodologia de extração utilizada por esses autores para pupunha é semelhante à extração do amido de batata, com as seguintes etapas envolvidas: moagem, decantação, centrifugação, lavagens sucessivas do amido com água destilada e secagem (Kringel *et al.*, 2020). Seguindo esta metodologia Felisberto *et al.* (2020) teve por objetivo obter um amido purificado sem usar reagentes químicos e que não comprometa a análise de caracterizações morfológicas e instrumentais. Portanto, a escolha do método de extração pode interferir no rendimento e purificação da matéria-prima utilizada e das propriedades desejadas para a aplicação do amido (Pires *et al.* 2021).

Assim, conforme Melo Neto *et al.* (2017) o amido extraído da pupunha pode ser uma alternativa para a produção de bioplásticos, por suas propriedades (químicas e funcionais) e suas características (térmicas e morfológicas), e na sua pesquisa obteve um termoplástico eficiente, com resistência à tração e à degradação térmica, semelhante aos tradicionais amidos plastificados de milho e mandioca.

3.2 Amido

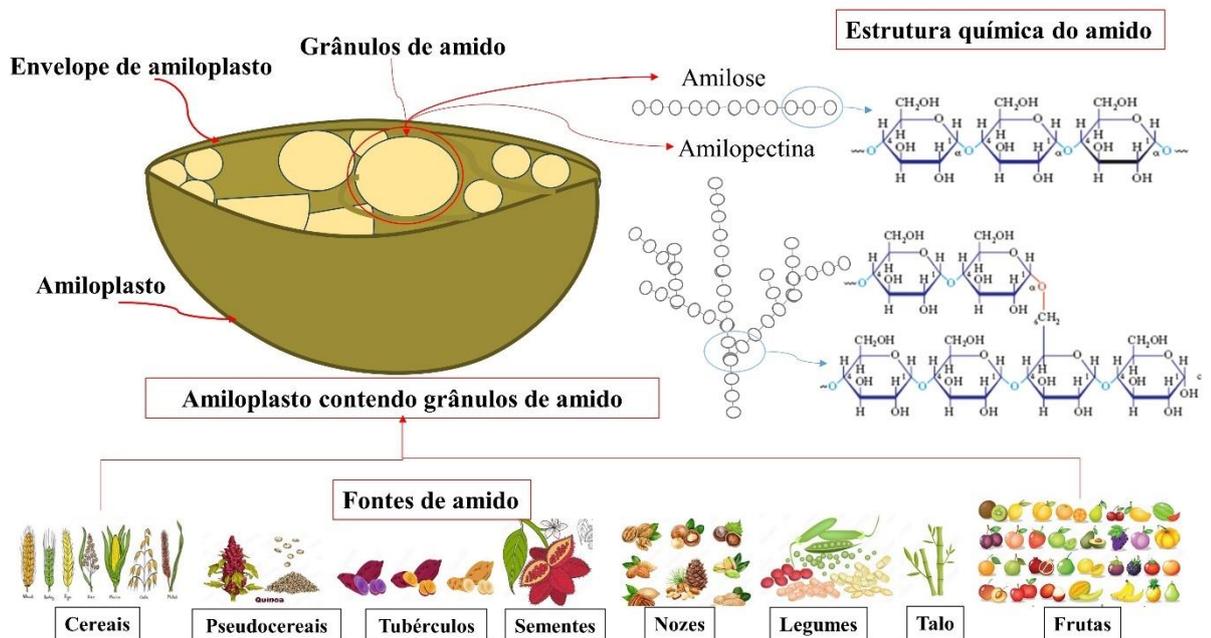
3.2.1 Características gerais

O amido é uma substância de reserva energética dos vegetais superiores, sintetizado dentro das organelas celulares chamadas de amiloplastos formando uma estrutura semicristalina conhecida como grânulo (Lloyd; Kossmann, 2019). Esse carboidrato pode ser extraído das plantas nas partes comestíveis de cereais, legumes, tubérculos, raízes e rizomas, além de ser o macronutriente mais consumido na dieta humana, responsável por 70 a 80% das calorias (Leonel *et al.*, 2003; Karmakar; Ban; Ghosh, 2014). Além disso, possui distintas aplicações na indústria alimentícia, farmacêutica, cosmética e têxtil (Li; Wei, 2020).

Quimicamente, o amido tem como fórmula geral $(C_6H_{10}O_5)_n$, pode-se afirmar que é um polímero natural (polissacarídeos) formado pela ligação de unidades de glicose por meio de ligações glicosídicas com eliminação de água (Cozzolino, 2020). O grânulo de amido é constituído por dois polímeros, amilose e a amilopectina, que estão associadas entre si por ligações de hidrogênio e na maioria dos amidos estão presentes nas seguintes proporções: 20-30% (amilose) e 70-80% (amilopectina) (Cozzolino, 2020).

As proporções diferentes de amilose e amilopectina no amido, proporcionam distintas propriedades: físicas, químicas e funcionais, que diversificam sua aplicação (Barbosa, *et al.*, 2019; Fan; Picchioni, 2020; Qin *et al.*, 2016). Estruturalmente, a amilose é um polímero linear de cadeia longa de unidades de α -D-glicose ligadas por ligação glicosídica α -(1 \rightarrow 4), enquanto a amilopectina é um polímero altamente ramificado de unidades de α -D-glicose com inúmeras cadeias curtas que estão ligadas por α -(1 \rightarrow 6) ligação glicosídica às partes lineares da macromolécula (Fan; Picchioni, 2020; Majzoobi; Farahnaky, 2021; Fuentes *et al.*, 2019). A Figura 2 mostra diversas fontes de amidos e a representação do grânulo no amiloplasto e estrutura química do amido.

Figura 2 – Fontes, grânulo no amiloplasto e estrutura química do amido



Fonte: Elaborada pela Autora, 2024.

Em seu estado nativo, sem modificações, o amido se compacta na forma de grânulos com uma estrutura interna (intracelular) organizada e com formato e tamanho dependentes da espécie vegetal. As moléculas de amilose e amilopectina estão dispostas no grânulo formando uma estrutura de camadas, que se superpõem ao redor de um ponto designado hilo, o qual pode estar no centro do grânulo ou deslocado lateralmente (Fennema, 2010). As camadas que circundam o hilo são resultantes da deposição de amido de diferentes graus de hidratação, resultantes da presença de amilose ou da amilopectina.

Os grânulos de amido possuem regiões amorfas e cristalinas. As regiões cristalinas do grânulo de amido são formadas por cadeias ramificadas da molécula de amilopectina e são alternadas com camadas amorfas. A amilopectina é responsável pela cristalinidade, por ação de ligações de hidrogênio formadas pelas moléculas de amilose e amilopectina, além deste fato a amilopectina possui estrutura em forma de dupla hélice (Gonçalves, 2010; Cozzolino, 2020). Enquanto as regiões amorfas são formadas de amilose, que pode desenvolver um complexo helicoidal com lipídios (Soykeabkaew; Thanomsilp; Suwantong, 2015).

A organização das cadeias de amilopectina é baseada na identificação das cadeias A, B e C. As cadeias A são ligadas nas outras (B ou C) pelo grupo terminal redutor por ligações α (1,6), mas delas não saem ramificações. As cadeias B são ligadas em outra cadeia B ou C, mas delas ramificam outras cadeias A ou B. Cada molécula de amilopectina tem apenas uma cadeia C, que possui o único grupo terminal redutor da molécula (Vandeputte; Delcour, 2004; Denardin; Silva, 2009; Jane, 2009).

Morfologicamente, os grânulos de amido podem ser lisos ou amassados ou podem ter diferentes formas e tamanhos devido à sua fonte de origem. De modo geral, os grânulos de amido possuem diâmetro em torno de 1 a 100 μm , apresentando formas: oval, esféricas, poligonais e formas irregulares. Cada espécie apresenta diferença nas características estruturais, morfológicas e funcionais do amido isolado de fontes distintas, e isso tem efeito considerável em suas propriedades funcionais e uso (Makroo *et al.*, 2021). A técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) aplicada no amido permite diferenciar tamanho e formato dos grânulos.

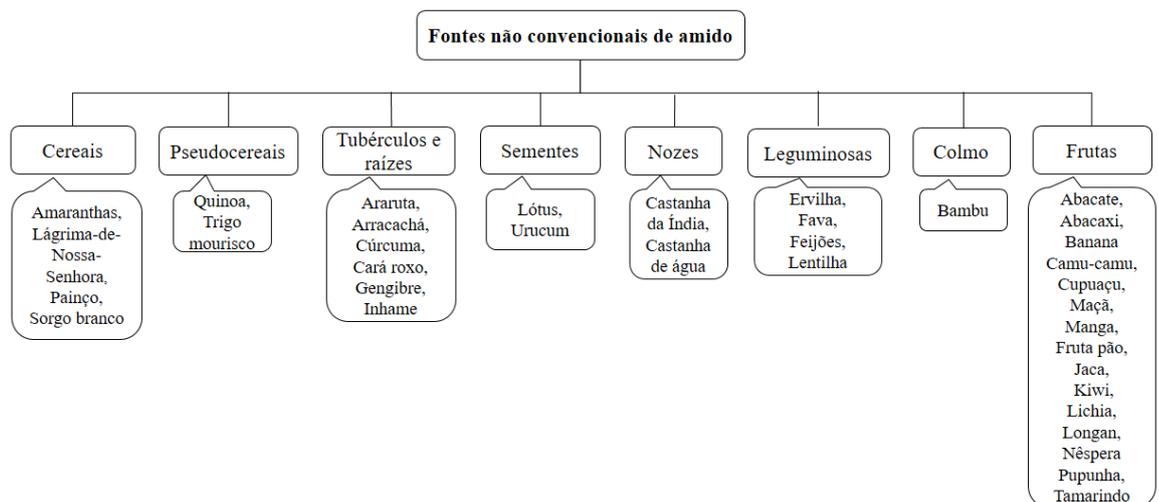
3.2.2 Novas fontes de amido e potencial de aplicação

Há uma grande diversidade de espécie vegetais produtoras de amido, no entanto, os amidos comerciais são normalmente extraídos de culturas como milho, batata, mandioca. Mas com a ampla utilização dos amidos convencionais, principalmente nas industriais alimentícia

(novas aplicações), farmacêutica, biomédica e de embalagens (Maniglia; Tapia-Blácido, 2016; Jiang *et al.*, 2020; Makroo *et al.*, 2021; Zhu, 2020), motivou a busca de fontes não convencionais. Assim como o aumento das pesquisas com amidos não convencionais pode estar relacionada à disponibilidade regional, valor cultural e social, produção sustentável, aproveitamento de resíduos e subprodutos, e até às vantagens tecnológicas sobre os amidos comuns (Zhu, 2020).

Os amidos de culturas não convencionais estão sendo atrativos e apresentando potencial para serem utilizados em diferentes aplicações (Makroo *et al.*, 2021). As fontes não convencionais de amido incluem desde frutas, tubérculos, raízes, cereais, pseudocereais, leguminosas, nozes, colmo até sementes (Kringel *et al.*, 2019; Santana; Meireles, 2017; Troncoso; Torres, 2020; Tagliapietra *et al.*, 2020). A Figura 3 apresenta algumas fontes identificadas para cada grupo alimentar. É perceptível que estudos estão sendo desenvolvidos para a descoberta e aplicação desses produtos amiláceos, mas ainda assim as fontes não convencionais de amido são caracterizadas pela pouca aplicação, principalmente para usos tecnológicos (Zhu, 2020).

Figura 3 - Fontes não convencionais de amido



Fonte: Kringel *et al.* (2019); Santana; Meireles (2017), Troncoso; Torres (2020); Tagliapietra *et al.* (2020)

No mundo há uma grande diversidade de frutas ricas em amido que ainda não foram completamente estudados e que possuem características essenciais para suprir necessidades particulares de processos industriais. Assim, explorar o método de obtenção, rendimento, propriedades físico-químicas, estruturais, morfológicas e térmicas são fundamentais para avaliar a possível aplicação de cada amido (Tabela 1) (Kringel *et al.*, 2019; Maniglia; Tapia-Blácido, 2016; Pires *et al.*, 2021). Portanto, a descoberta de novos materiais proporciona uma

alternativa potencial para obter características diferentes que possam ser agregadas a um produto (Makroo *et al.*, 2021).

Tabela 1 – Frutas e seus subprodutos como fontes não convencionais de amido

Nome popular e científico	Parte utilizada	Método de extração	Rendimento (%)	Diâmetro (µm)	Forma do grânulo	Referências
Abacate (<i>Persea americana</i> Mill)	Semente	Solução de metabissulfito de sódio a 0,2% (v/v), filtrado, decantado, centrifugado e seco 45 °C/12hs.	19,54	24,59	Ovalado e superfície lisa	Martins <i>et al.</i> (2022)
Ameixa amarela (<i>Eriobotrya japonica</i> Thunb)	Semente	Metabissulfito de sódio, etanol anidro e centrifugação, e seco a 40°C	NI	5,55	Mistura de grânulos irregulares, truncados e esféricos	Guo <i>et al.</i> (2018)
Babaçu (<i>Orbignya</i> sp.)	Mesocarpo	Solução de NaOH a 0,25% (p/v), na proporção de 1:2 (pH 10,0), moída (2 min em um processador), filtrado (peneiras de 80 mesh), neutralizado (HCl 1 M até pH 7,0), centrifugado e seco	92,9	13 - 92	Oval	Maniglia; Tapia-Blacido (2016)
		Água destilada (1:2 e armazenada a 5 C por 18 h), moída (2 min em um processador), filtrado (peneiras de 80 mesh), centrifugado e seco	65	13-33		
Banana (<i>Mysore</i> Musa AAB)	Polpa do fruto verde	Bissulfito de sódio, decantação, seco a 45°C/3h	13,57	10 a 100	Elipsoidal	Fontes <i>et al.</i> (2017)
	Polpa do fruto verde	Lavado com água, decantado, centrifugado e seco a 40°C/12h	17,8	2,0 a 8,5	Redondo e poligonal	Noorfarahzilah <i>et al.</i> (2020)
Jaca (<i>Artocarpus</i> <i>adoratissimu</i>)	Caroço	Metabissulfito de sódio, etanol anidro e centrifugação, e seco a 40°C	NI	4,34	Mistura de grânulos irregulares, truncados e esféricos	Guo <i>et al.</i> (2018)
Juçara (<i>Euterpe</i> <i>edulis</i> Mart.)	Semente seca	Solução de bissulfito de sódio (0,2% p/v), filtrou, decantou, centrifugou e secou a 40°C/24 horas.	NI	14,30	Elipsoidal	Carpiné <i>et al.</i> (2020)
Fruta-de-lobo	Polpa do fruto verde	Solução de ácido cítrico (0,8% p/v), filtrado (peneira de 32	51	10–14	Esférico	

<i>(Solanum lycocarpum)</i>		mesh) e lavado (NaOH 0,05 mol L ⁻¹ e etanol), e seco a 45 °C.				Di-Medeiros <i>et al.</i> (2014)
Fruta Pão Africana (<i>Treculia africana</i>)	Semente	NaOH, centrifugação e seco a 30°C/48h	69,6	10	Oblongo e oval	Oderinde <i>et al.</i> (2020)
Graviola (<i>Annona muricata</i> L.)	Fruto integral (polpa, casca e semente)	Processo de moagem úmida, filtrada, decantada, centrifugada e seco a 50°C por 24h	1,15	Tamanhos irregulares	Circular e elíptica	Ramírez-Balboa <i>et al.</i> (2021)
Huaya (<i>Melicoccus bijugatus</i>)	Semente	Solução bissulfito de sódio e hidróxido de sódio, filtrada, lavada, centrifugada e seco em forno a vácuo por 12 h usando 1,33 Pa a 40 °C	39,38	4 -28	Oval e superfície lisa	Moo-Huchin <i>et al.</i> (2020)
Lichia (<i>Litchi chinensis</i> Sonn)	Semente	Metabissulfito de sódio, etanol anidro e centrifugação, e seco a 40°C	NI	5,47	Esférico	Guo <i>et al.</i> 2018
Longana (<i>Dimocarpus longan</i>)	Semente	Metabissulfito de sódio, etanol anidro e centrifugação, e seco a 40°C	NI	4,42	Mistura de grânulos irregulares, truncados e esféricos	Guo <i>et al.</i> 2018
Manga (<i>Mangifera indica</i> L.)	Semente	Metabissulfito de sódio, etanol anidro e centrifugação, e seco a 40°C	NI	7,10	Elíptico	Guo <i>et al.</i> 2018
Pitomba (<i>Talisia esculenta</i>)	Semente	Utilizou a solução metabissulfito de sódio 0,2% (1:2 m/v por 72 h, à temperatura de 4°C). A mistura foi moída, filtrado (pano de musselina), centrifugado, lavado com álcool absoluto (95%), seco a 50 °C por 12 hs.	44,20	8,85	Semi-elíptica	Castro <i>et al.</i> (2019)
<i>Pupunha (Bactris gasipaes)</i>	Polpa	Método aquoso, seco a 40°C	NI	06,96 a 10,44	Mistura de oval, cônico e esférico	Felisberto <i>et al.</i> (2020)
	Polpa (Microcarpa; Mesocarpa; Macrocarpa)	Método aquoso	28,25	2-10	Arredondados, ovais e convexos, com tamanhos não homogêneos	Pires <i>et al.</i> 2021
			34,64			
			61,70			
			36,03			
Método alcalino	48,32	71				

As fontes de amido listadas (Tabela 1) foram extraídas pelos três principais métodos: alcalino, ácido e aquoso. Na maioria das vezes por extração alcalinas (NaOH, bissulfito de sódio

e metabissulfito de sódio) seguida, as etapas sequenciais de filtração, lavagem, centrifugação e secagem em temperatura de até 50°C. O amido extraído pode apresentar pequenas modificações nas propriedades dependendo dos processos aplicados de reagentes químicos e moagem, por exemplo podem resultar em amido danificado afetando, por conseguinte as propriedades de pasta (Tagliapietra *et al.*, 2020).

As frutas que apresentaram maiores rendimentos foram respectivamente: babaçu (*Orbignya sp.*) (92,9% por extração alcalina e aquoso de 65%) (Maniglia; Tapia-Blacido, 2017), pupunhas macrocarpas (71 e 61,7%, por extração alcalina e aquosa) (Pires *et al.*, 2021) e fruta pão africana (*Treculia africana*) (69,6 % extração alcalina) (Oderinde *et al.*, 2020). Estes rendimentos são muito altos em comparação com os obtidos de outras fontes tradicionais, ainda assim os rendimentos dependem diretamente do tamanho e da cultivar ou variedade utilizada, como também tem influência das condições climáticas em que se desenvolvem e, influenciando também o tamanho e a forma dos grânulos dos amidos (Espín *et al.*, 2001).

De acordo com Lindeboom *et al.* (2004), os grânulos de amido são classificados em três grupos: grandes (>25 µm), médios (10–25 µm) e muito pequenos (<5 µm). O tamanho e a forma dos grânulos de amido dependem diretamente da estrutura da amilopectina, isso porque, grânulos alongados possuem amilopectina com poucas ramificações de cadeia longa, enquanto grânulos pequenos e esféricos possuem um número superior de ramificações, mas cadeias curtas (Jane *et al.*, 1999; Ramírez-Balboa *et al.*, 2021). Determinar o tamanho e distribuição dos grânulos de amido é saber que podem afetar as propriedades físico-químicas (solubilidade, suscetibilidade enzimática e cristalinidade) (Kaur; Sandhu; Lim, 2010; Moo-Huchin *et al.*, 2020; Ramírez-Balboa *et al.*, 2021).

Enquanto os rendimentos dos amidos de pupunhas foram diferentes devido aos genótipos distintos e ao método de extração escolhido (Felisberto *et al.* 2020; Pires *et al.* 2021). Desta maneira, a matéria-prima vegetal, o método de extração e a composição do solo são fatores que influenciam diretamente no rendimento do processo de extração do amido (Nunes; Santos; Cruz, 2009). Por esta razão, a identificação botânica é importante para fins comparativos.

3.2.3 Extração de amido

O objetivo da extração do amido é obter um bom rendimento assim como sua alta pureza. O processo de extração deve conservar ao máximo a sua estrutura, evitar a modificação do amido e possíveis danos mecânicos, assim como obter um amido com menores quantidades

de proteínas, lipídios, cinzas e fibras (Vilpoux; Brito; Cereda, 2019). O controle desses parâmetros no processo de extração depende da origem vegetal. Alguns métodos de extração já são bem consolidados, como a extração comercial de amido de raízes e tubérculos que consistem em ralar sob água em peneiras rotativas para separar a pasta de amido da massa residual (farelo), e assim quebrar as células vegetais e liberar o amido (Kringel *et al.*, 2019; Vilpoux; Brito; Cereda, 2019).

Geralmente, a extração de amido nativo sofre processos de moagem em uma solução ácida, alcalina e/ou aquosa, com intuito de separar as fibras, em seguida são realizados a suspensão, centrifugação, purificação e secagem a temperaturas inferiores a 50°C (Agama-Acevedo *et al.*, 2012; Kringel *et al.*, 2019; Vilpoux; Brito; Cereda, 2019). Os métodos de extração de amido apresentam modificações em relação aos métodos de extração originalmente relatados, indicando que novas metodologias devem ser otimizadas para amidos não convencionais. Quando se estuda amido nativo, o processo de extração pode ser feito com água e sucessivas lavagens, permitindo que o amido decante atingindo um alto grau de pureza (menos de 2% dos demais nutrientes) (Tagliapietra *et al.* 2021).

Além da extração com água destilada há método de extração utilizando tratamento químico (ácido e alcalino). Considerado um método de purificação, na maioria das vezes, para tornar o isolamento do amido mais fácil de outros componentes que podem influenciar na composição química e as propriedades físicas do amido (Correia; Beirão-Da-Costa, 2012; Ji; Seetharaman; White, 2004). Uma diferença entre esses métodos de extração percebido para o amido de inhame está no grau de pureza e o tempo que é processado, isso porque na extração por via alcalina o grau de pureza é menor, porém o rendimento é maior, enquanto ao utilizar um ácido consequentemente o grau de pureza aumenta (Liporacci; Mali; Grossmann, 2005).

Nas indústrias alimentícias é muito utilizada a extração por meio ácido. Neste método ocorre a hidrólise do amido através do ataque dos íons hidrônio (H_3O^+) aos átomos de oxigênio, quebrando as ligações glicosídicas. Além disso, o ácido utilizado age primeiramente na região amorfa por ser mais susceptível à degradação, especificamente da amilose, posteriormente atacando a região cristalina. A ação desse reagente no amido impõe a baixa viscosidade quando aquecido, porém, a forma dos grânulos não é afetada, promovendo melhorias nas propriedades funcionais: gelatinização, estabilidade e retrogradação (Jayakody; Hoover, 2002).

A extração alcalina também atua primeiramente na região amorfa, porém não é afeta a parte cristalina. Maniglia *et al.*, (2017) explicaram que o uso de um pH alcalino não é capaz de remover compostos fenólicos, mantendo a atividade antioxidante do material, além de produzir

amidos de baixo teor de proteínas e gorduras. Para tanto, utiliza-se o NaOH quando se quer obter maior rendimento de amido. A extração aquosa não é capaz de fazer grandes alterações na fonte vegetal utilizada, mantendo o teor alto de proteínas e gorduras (John *et al.*, 2002).

O controle de qualidade da extração do amido pode ser avaliado em função de seu conteúdo de proteínas, lipídios, fibras e cinzas, pois quanto menor o valor destes componentes, maior a qualidade do processo extrativo (Li *et al.*, 2021; Agama-Acevedo *et al.*, 2012).

3.2.4 Propriedades funcionais do amido

a) Poder de inchamento e solubilidade

O poder de inchamento e solubilidade do amido estão relacionados com as interações não covalentes dentro das suas moléculas, por conseguinte é uma função do tamanho e da presença dos grupos hidroxilas (-OH) que podem interagir com as moléculas de água. As hidroxilas presentes na molécula de amido conferem-lhe um caráter altamente hidrofílico, em contrapartida têm-se as fortes ligações de hidrogênio que sustentam a ligação entre as cadeias de amilose e amilopectina, reduzindo a superfície disponível para as ligações entre a água e os grânulos de amido (Gonzalez -Soto *et al.*, 2006; Ratnayake; Otani; Jackson, 2009; Balet *et al.*, 2019; Cozzolino, 2020).

Outrossim, a temperatura é um parâmetro essencial para a determinação do poder de inchamento e da solubilidade dos grânulos de amido, isso porque a água quando aquecida a uma determinada temperatura, causa uma vibração intensa nas moléculas de amido fazendo com que as ligações intermoleculares quebrem (estrutura cristalina é rompida), e as moléculas de água começam a se unir por ligações de hidrogênio com os grupos hidroxilas da amilose e amilopectina, causando um aumento do tamanho do grânulo (sem romper a estrutura) pelas moléculas de amilopectina que retêm água, denominado inchamento, e solubilização das frações granulares (Hoover, 2001; Marcon; Avancini; Amante, 2007; Rickard; Asaoka; Blanshard, 1991; Balet *et al.*, 2019).

Assim, o poder de inchamento é um parâmetro que mede a disposição de hidratação dos grânulos de amido e pode ser calculado pelo peso do sedimento inchado (g) dividido pelo peso inicial de amido. A solubilidade do amido é expressa como a porcentagem (em massa) da amostra de amido que é dissolvida molecularmente após o aquecimento, podendo ser determinada na mesma suspensão (Leach; Mccowen; Schoch, 1959).

b) Gelatinização

O conceito de “gelatinização” é destruir a estrutura cristalina nos grânulos de amido, que é um processo irreversível (Chen; Yu; Chen, 2006). A gelatinização do amido é um mecanismo de inchaço dos grânulos, ruptura dos grânulos, perda de birrefringência e lixiviação de amilose e amilopectina devido ao efeito da temperatura e agitação (Zaidul *et al.*, 2007; Juhász; Salgó, 2008; Balet *et al.*, 2019; Chipón *et al.*, 2022). O processamento de gelatinização envolve inchamento granular, fusão cristalina nativa e solubilização molecular (Lelievre, 1974; Egharevba, 2020). Assim, a gelatinização é uma transição irreversível causada pelo aquecimento de suspensões de amido em excesso de água (maior que 60%), transformando o amido em uma pasta viscoelástica, homogênea, com certa resistência à ruptura e ao alongamento (Matsui *et al.*, 2003; Balet *et al.*, 2019).

A gelatinização do amido se inicia no hilum e se expande para a periferia, quando as moléculas de água energizadas cineticamente rompem as ligações mais fracas de pontes de hidrogênio entre as moléculas de amilose e amilopectina (nas regiões amorfas), possibilitando a hidratação e conseqüentemente o inchaço do grânulo (Singh *et al.*, 2003). Ao acontecer a dissolução da amilose para a fase aquosa com a perda de cristalinidade irreversível, causa um aumento no inchamento e na solubilidade do grânulo, iniciando a gelatinização (Soykeabkaew; Thanomsilp; Suwantong, 2015; Jiménez *et al.*, 2012; Peng *et al.*, 2007). Assim, este fenômeno está ligado à cristalinidade, pois quanto maior a cristalinidade maior é a temperatura de transição e conseqüentemente os grânulos são mais resistentes à gelatinização. Isso porque, a amilose que é composta em maior parte de regiões amorfas, diminui o ponto de fusão das regiões cristalinas e a energia necessária para o início da gelatinização (menor temperatura) (Singh *et al.*, 2003).

A temperatura na qual ocorre essa transformação é denominada temperatura de gelatinização. O intervalo de temperatura depende de cada fonte de amido, dentre outros fatores como: estrutura molecular da amilopectina, composição do amido e estrutura granular. Sendo a água o principal parâmetro que influencia a temperatura de gelatinização, pois ela funciona como agente plastificante nos cristais de amido, além de exercer efeito na condução de energia (Peng *et al.*, 2007; Singh *et al.*, 2003), por isso a importância de saber as faixas de temperatura de gelatinização para o amido.

O processo de gelatinização em vários estágios pode ser detectado por várias técnicas, porém a mais reconhecida é a calorimetria de varredura diferencial (DSC) (Jiang *et al.*, 2019). Essa técnica térmica mede a quebra das ligações no interior do grânulo de amido quantificando

a temperatura e a entalpia na mudança da estrutura semicristalina para gel. O DSC independe da birrefringência, quando se trata de detectar as fases de transição vítrea, observando o desaparecimento da cristalinidade comprovada pela difração de raios X (Cereda, 2001; Yu; Christie, 2001).

c) Retrogradação

Os amidos gelatinizados podem sofrer retrogradação ou recristalização durante o armazenamento ou recozimento, pois com a diminuição da temperatura as moléculas de amido podem se aproximar através das ligações de hidrogênio formando novas zonas cristalinas (Jiang *et al.*, 2019). A amilose é a principal responsável por esse processo, em razão de sua estrutura linear, porém a retrogradação também acontece na amilopectina (apesar da fração ramificada) de modo mais lento e na periferia de sua estrutura. Assim, a retrogradação é um fenômeno que está relacionado com o tamanho da cadeia (Zieba; Szumny; Kapelko, 2011; Egharevba, 2020).

A estrutura cristalina dos grânulos de amido é destruída durante o aquecimento em água. Durante a gelatinização a amilose e a amilopectina são parcialmente separadas, sendo que tanto a água quanto a tensão de cisalhamento podem aumentar essa separação (Jiang *et al.*, 2019). No entanto, durante o processamento de extrusão com menor teor de água, a maior parte da amilose ainda permanece na amilopectina (Yu; Christie, 2005; Jiang *et al.*, 2019). Embora a estrutura cristalina de dupla hélice formada pelas cadeias curtas da amilopectina possa ser dilacerada durante gelatinização, as cadeias permanecem em um padrão regular e guardam uma certa “memória”. Mas, após a parte cristalina ser destruída durante a gelatinização, as cadeias de ramificação curta podem formar bolas de gel no final das cadeias, e essas bolas de gel contêm principalmente as cadeias da mesma sub-cadeia principal (Biliaderis *et al.*, 1985; Jiang *et al.*, 2019).

O amido gelatinizado pode retrogradar, pois os cristais de hélice simples do tipo V se formam a partir de amilose, enquanto a amilopectina gelatinizada inicialmente permanece em um estado amorfo, mas com o aumento do tempo a cristalinidade dos cristais do tipo V (contribuído principalmente pela amilopectina) aumentam (Jiang *et al.*, 2019).

No processo de retrogradação, podem ocorrer a reassociação das moléculas de amilose e amilopectina, formando estruturas unidas intensamente e altamente estabilizadas pelas ligações de hidrogênio, favorecendo a formação de estruturas mais ordenadas (Koksel *et al.*, 2008). Sendo um processo difícil, e podendo mudar de acordo com diferentes parâmetros, como: fonte botânica, concentração de amilose, tamanho das moléculas, presença de

componentes (lipídios, eletrólitos e açúcares), condições de processo, temperatura e tempo de armazenamento (Cozzolino; Roumeliotis; Eglinton, 2013).

O amido retrogradado é insolúvel em água fria e torna-se mais resistente ao ataque enzimático. Por isso, retrogradaçãõ do amido é um fenômeno que deve ser minimizado por se tratar da reconstrução de uma estrutura mais rígida, devido às cadeias de amilose ficarem mais disponíveis para se rearranjarem durante o armazenamento do produto alimentício, resultando em maior perda de água do sistema e endurecimento do produto final, além das mudanças na claridade da pasta (Balet *et al.*, 2019; Jaillais *et al.*, 2006; Munhoz *et al.*, 2004).

Durante o processo de retrogradaçãõ o amido começa a se tornar opaco e, com o tempo, o gel passa para o estado gomoso e tende a perder água, o que em alguns produtos causa a perda da qualidade sensorial (Arocas; Sanz; Fizman, 2009). A liberaçãõ da água neste processo é conhecida como sinérese e é facilmente encontrada em alguns produtos, como molhos em geral (Franco *et al.*, 2001). Para Eliasson (2004) a principal influência da retrogradaçãõ é observada na textura, na aceitabilidade e na digestibilidade dos alimentos que contém amido. A influência do processo de retrogradaçãõ pode se destacar no envelhecimento de pães e produtos de panificação, bem como, na perda de água (sinérese) de algumas sobremesas que utilizam o amido como espessante (Denardin; Silva, 2009). Quanto à digestibilidade esse evento torna a digestãõ e a absorçãõ, especialmente do amido, menor e/ou mais lenta, resultando em menor resposta glicêmica, situaçãõ desejável para diversos indivíduos, como aqueles com sobrepeso ou problemas de glicemia (Björck *et al.*, 1994).

Os equipamentos como viscoamilógrafo Brabender e o analisador rápido de viscosidade (RVA) podem ser usados para medir principalmente as variações de viscosidade durante o aquecimento e o resfriamento de dispersões de amido, ocasionadas pelas modificações que acontecem nos grânulos de amido durante a gelatinizaçãõ e retrogradaçãõ (Thomas; Atwell, 1999; Balet *et al.*, 2019).

d) Propriedades térmicas

As propriedades térmicas dos amidos podem contribuir para a determinaçãõ de sua funcionalidade específica, isso porque, ao armazenar e resfriar o comportamento dos amidos gelatinizados, geralmente expresso como retrogradaçãõ, é de grande interesse para indústria de alimentos, por afetar profundamente a qualidade, aceitabilidade e vida útil de muitos alimentos constituídos de amido (Karim; Norziah; Seow, 2000).

Para tanto, o comportamento térmico de amidos, incluindo temperaturas de gelatinização, retrogradação, temperatura de transição vítrea e cristalização, pode ser determinado utilizando-se o calorímetro diferencial de varredura (DSC) (Yu; Christie, 2001). O DSC mede a quebra de ligações (principalmente ligações de hidrogênio que estabilizam as duplas hélices) dentro dos grânulos de amido quando eles são aquecidos em água, além de quantificar a temperatura e energia envolvidas (entalpia) na transição de um grânulo semicristalino para um gel amorfo (Peroni, 2003).

Cada amido tem suas temperaturas características de gelatinização, obtidas pelo DSC, como: temperatura inicial (T_i), temperatura de pico (T_p), temperatura de conclusão (T_c) e sua variação de entalpia de gelatinização (ΔH) (Tester, 1997). Depois de atingida a T_c , toda dupla hélice da amilopectina está dissociada, embora a expansão da estrutura granular possa ser conservada até que temperaturas mais altas sejam aplicadas. O intervalo de temperatura T_c - T_i representa o período de gelatinização. Outrossim, T_i e T_p podem ser usadas como medidas da estabilidade ou perfeição das regiões cristalinas, e a largura do pico endotérmico como estimativa da heterogeneidade da estrutura cristalina (Blennow *et al.*, 2000).

As variações de entalpia possuem pequenas diferenças entre os amidos, que podem ser atribuídas ao grau de cristalinidade e ao teor de amilose. Como é o caso dos amidos com baixo teor de amilose que possuem menos regiões amorfas e mais regiões cristalinas, conseqüentemente, maior energia é necessária para a fusão dos cristais (Singh *et al.*, 2003). Além disso, amilose pode existir sob a forma de complexos com lipídios (LAM- lipids-amylose) ou de forma livre (FAM- free amylose). A LAM é mais estável ao longo de toda a variação de temperatura de gelatinização do DSC, aumentando a T_p , enquanto a FAM amorfa diminuiria a T_p (Morrison, 1995). Esses resultados sugerem que a FAM pode diminuir a temperatura de gelatinização de amidos normais (Denardin; Silva, 2009). Por outro lado, a maior proporção de cadeias longas na amilopectina contribui para aumentar a temperatura de gelatinização, devido a essas cadeias longas formarem duplas hélices resultando em regiões cristalinas mais longas, e assim mais energia térmica é necessária para romper a barreira cinética, para que ocorra completa dissociação (Franco *et al.*, 2002).

4 MATERIAL E MÉTODOS

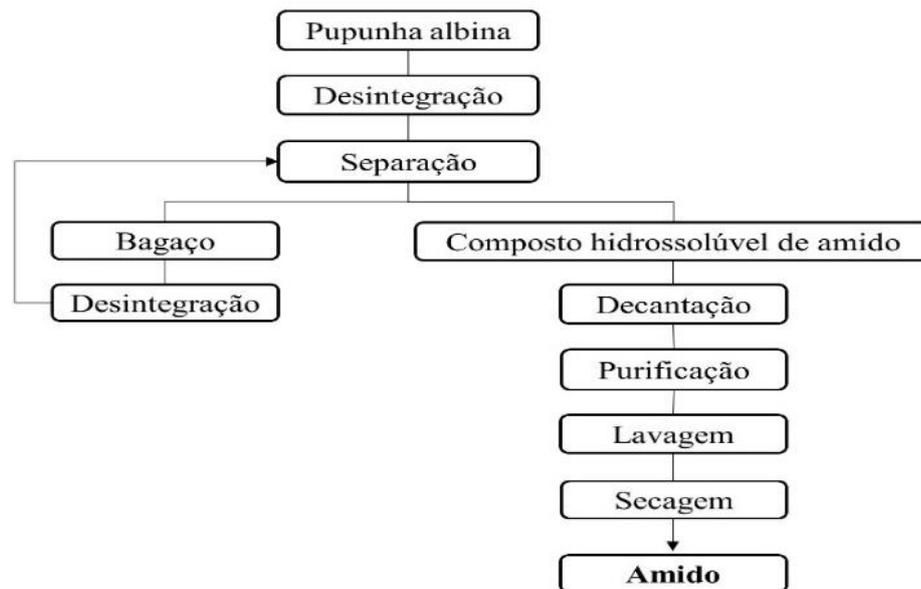
4.1 Obtenção da matéria prima

Foram adquiridos cachos de pupunha albina em uma feira livre localizada na região metropolitana de Belém, Estado do Pará (Latitude: -1.45502, Longitude: -48.5024, 1° 27' 18" Sul, 48° 30' 9" Oeste), referente a safra de setembro a dezembro de 2022. Os cachos foram transportados em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade ao Laboratório de Ciências dos Alimentos, da Faculdade de Nutrição, da Universidade Federal do Pará (UFPA). Após a recepção, os frutos foram retirados dos cachos, selecionados quanto a integridade, higienizados com hipoclorito de sódio a 150 ppm por 5 minutos, posteriormente, foram lavados em água corrente, descascados e cortados em pedaços, com auxílio de uma faca de aço inoxidável. Imediatamente, a polpa fresca foi utilizada para a extração do amido.

4.2 Extração do amido de pupunha albina

O amido nativo foi extraído da polpa do fruto *in natura* da pupunheira por extração aquosa, segundo proposto por Felisberto et al (2020) adaptado de Melo Neto et al (2015). Após sucessivas lavagens e centrifugações refrigeradas, em seguida a separação de fases. O material sobrenadante foi descartado e o precipitado ressuspenso em água fria e centrifugado a 3500 rpm por 5 min (Celm, modelo LS-3 Plus). O amido extraído foi então seco em circulação de ar, a 45 °C (marca Thoth, modelo 520 São Paulo, Brasil), por 12h, e desaglomerado em pistilo, em seguida foi peneirado em peneira de 200 mesh e embalado à vácuo (Cetro, modelo DZ-280 São Paulo, Brasil) até os procedimentos de análises. A Figura 4 apresenta o fluxograma do processo utilizado para extração do amido da pupunha albina.

Figura 4 – Processo para extração do amido da pupunha albina



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

4.3 Características físicas

4.3.1 Rendimento

O rendimento do amido foi determinado por método gravimétrico na diferença entre a amostra fresca (polpa) e a amostra desidratada (amido isolado). Foi utilizada balança semi-analíticas (marca Bel e modelo L303i) nesta determinação. O cálculo do rendimento do amido foi realizado pela seguinte Equação 1:

$$\text{Rendimento do amido (\%)} = \frac{\text{Peso do amido isolado (g)}}{\text{Peso da polpa da pupunha albina (g)}} \times 100 \quad (1)$$

4.3.2 Análise de cor

A cor instrumental foi realizada por colorimetria tristimulus e medida direta em colorímetro digital (Minolta CE modelo: cr-310). Sendo utilizadas as seguintes condições operacionais: iluminação difusa/ângulo de visualização de 0° e fonte de iluminação D65. Com parâmetros de calibração do equipamento: $L_1=97,5$; $A_1=+0,34$; $B_1=+1,73$. Foram obtidos os parâmetros L^* , a^* , b^* , em que L^* está relacionado com a luminosidade (preto = 0 e branco = 100) e os índices a^* e b^* são os parâmetros de cromaticidade ($+a$ = vermelho e $-a$ = verde, $+b$ = amarelo e $-b$ = azul). Foram obtidos ainda a cromaticidade (C^*) é o ângulo de tonalidade ou ângulo Hue (h°) (0°, vermelho; 90°, amarelo; 180°, verde; 270°, azul), conforme as Equações 4 e 5 (HUNTER LAB, 2003). A diferença de cor (ΔE^*), e o índice de brancura (IB), que indica

o quão próximo uma amostra está de um branco ideal ($IB = 100$), foram calculados a partir da Equação 4 e 5 (HSU *et al.*, 2003).

$$H = \tan^{-1} b^*/a^* \quad (2)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} \quad (4)$$

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (5)$$

4.4 Características físico-químicas

As seguintes análises físico-químicas foram realizadas, em triplicata, na polpa (PPA) e amido (APA) da pupunha albina:

- Atividade de água (aw): determinada por medida direta em analisador de atividade de água (Novasina, modelo Labmaster-aw neo, São Paulo, Brasil).
- Potencial hidrogeniônico (pH): realizado de acordo com a metodologia 981.12 (AOAC, 2016), por leitura direta do extrato aquoso (1:10, m:v) em medidor de pH de bancada (MS technopon, modelo Mpa 210), previamente calibrado com soluções tampão pH 4 e 7.
- Acidez total titulável: determinada pelo método titulométrico, sendo o valor expresso em g/g de acidez total (AOAC, 2016) para polpa. Para o amido determinou a acidez em álcool solúvel segundo a técnica 415/IV do IAL (2008).
- Umidade: determinada por secagem em estufa com circulação forçada de ar (Thoth, modelo 510.150) a 105°C, até peso constante (AOAC, 2016).
- Resíduo mineral fixo: pelo método gravimétrico de incineração em forno mufla (Lucadema, modelo LUCA-2000F/DI, São Paulo, Brasil) a 550°C (AOAC, 2016).
- Proteína total: pelo método de Kjeldahl nº 950.48 da AOAC (2016), utilizando o fator de conversão nitrogênio-proteína de 6,25 (BRASIL, 2020).
- Lipídios totais: realizado por extração sólido-líquido, em extrator do tipo Soxhlet, utilizando éter de petróleo como solvente, de acordo com o método nº 948.22 da AOAC (2016).
- Carboidratos totais (CHOt): calculado pela diferença dos outros componentes da amostra (umidade, cinzas, proteínas, lipídios e fibras) (BRASIL, 2020), utilizando a Equação 6.

$$CHOt = 100 - (\text{proteínas} + \text{lipídios} + \text{umidade} + \text{cinzas}) \quad (6)$$

- Valor Energético Total (VET) (kcal/100g): calculado pela Equação 7, utilizando os coeficientes de Atwater (BRASIL, 2020).

$$VET = (\%proteína \times 4) + (\%carboidrato \times 4) + (\%lipídios \times 9) \quad (7)$$

4.4.1 Teor total de amido

O teor de amido da pupunha albina foi determinado em triplicata utilizando-se a metodologia de digestão ácida em micro-ondas, descrita por Cereda et al. (2004). Cerca de 1,0 g de amido e 50 ml de ácido clorídrico (HCl) á 1M foram homogeneizados em um elenmeyer. Os elenmeyers tampados foram então colocados em um recipientes plástico com água em microondas por 20 minutos na potencia máxima. Após este período o amido foi hidrolisado em açúcares e 1 mL foi retirado para realização do teste com Lugol (Iodo em iodeto de potássio). A seguir a solução foi transferida para béquer e neutralizada com hidróxido de sódio (NaOH) (10% m/v). Após neutralização o volume foi transferido para balão volumétrico de 250 mL e o volume foi completado com água destilada, em seguida foi realizada a titulação de açúcares por Lane-Eynon utilizando solução de Felhing A e B. Para determinação do teor de amido utilizou-se a Equação 8.

$$\%Amido = 250 * TL * 0,9 * 100 / Leitura\ média * PA \quad (8)$$

Onde: 250 é o volume total da diluição da amostra de amido em mL; TL é o fator de correção para as soluções A e B; 0,9 é o fator que transforma açúcares redutores em amido; Leitura média é a leitura da titulação da amostra de amido; PA é o peso da amostra de amido usada, seca.

4.4.2 Amilose e Amilopectina

O conteúdo de amilose no amido da pupunha albina foi determinado por método colorimétrico, conforme descrito por método de Williams, Kuzina e Hlynka (1970), com adaptações. Para retirada da amilose dos grânulos de amido, foi pesado 25 g de amido e misturado em 45 mL de água destilada fria. Em seguida adicionou água destilada na temperatura de 80 °C, até completar 150 mL. Em seguida adicionado nesta pasta de amido homogênea 1000 mL de água a 60 °C, agitado em banho maria nesta temperatura por 4 horas. Após o rompimento dos grânulos resfriou e centrifugou a 3000 rpm por 20 minutos obtendo: sedimentado (amilopectina bruta) e o sobrenadante (amilose solúvel). Misturou o sedimentado em almofariz com etanol 95% e o sólido foi seco em temperatura ambiente. Enquanto o

sobrenadante foi filtrado a vácuo e ao filtrado foi adicionado metanol para que a solução alcoólica alcance 20%, e em seguida o sedimentado em etanol 95% foi filtrado em papel filtro Whatman e seco em temperatura ambiente.

A curva padrão foi construída com amilose e amilopectina extraída do amido de pupunha albina, descrito anteriormente. Preparando concentrações de amilose contendo amilopectina respectivamente nas proporções (0:20; 2:18; 4:16; 6:14; 8:12 e 10:10; 12:08) e adicionando 10 mL de solução de KOH 0,5 N sob agitação até a completa gelatinização química dos padrões. Em seguida, as concentrações foram transferidos para balões volumétrico de 100 mL e aferidos com água destilada. Foi transferido uma alíquota de 10 mL para balão de 50 mL e adicionado 5 mL de ácido clorídrico 0,1 N e 0,5 mL de solução de iodo 2% (pesou-se 0,2 g de iodo metálico e 2,0 g de iodeto de potássio (KI) em 100 mL de água), preparada no mesmo dia da análise, e aferido o balão com água destilada. A leitura de absorbância foi realizada 5 min após adição da solução de iodo a 625 nm, em três repetições, e construído uma curva padrão da absorbância versus a concentração de amilose. A equação da reta obtida ($y = 0,0296x + 0,0734$; $R^2=0,9968$) relaciona a absorbância lida (y) com a concentração dos padrões (x). Calculou-se a concentração de amilose da amostra pelo valor de absorbância lido. A porcentagem de amilopectina no amido foi calculada por diferença baseada em Juan; Luis; David (2006) usando a seguinte equação:

$$\% \text{ Amilopectina} = 100\% - \% \text{ amilose} \quad (9)$$

4.5 Determinação de minerais

A determinação de minerais foi por espectroscopia de emissão ótica com plasma induzido acoplado, onde foram avaliados macro e microminerais: Na, K, P, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn. O processo de digestão da amostra foi realizado no Laboratório de Geoquímica e Saúde (LGS) da Seção de Meio Ambiente do Instituto Evandro Chagas (SAAMB/IEC). Para controle do método, pesou-se, aproximadamente, 0,1 grama das amostras certificadas do *National Institute of Standards and Technology* (NIST), sob numeração SRM 1515, SRM 1547 e SRM 1573, folha de maçã, folha de pêra e folha de tomate, respectivamente. Para amostra de amido, foram pesadas entre 0,20 a 0,25 gramas de amostra em tubos de fluoropolímero sintético do tetrafluoroetileno (PTFE) e em seguida foram adicionados 3 mL de ácido nítrico concentrado (HNO_3) e 1 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) 30% v/v. Logo após, as amostras foram submetidas ao processo de digestão, através do sistema de radiação por microondas, no digestor de amostra (marca CEM, modelo MARSXpress). A mistura resultante (após resfriamento) foi

transferida quantitativamente para frascos de polipropileno e aferidos para o volume final de 50 mL. Para a quantificação dos metais foi utilizada a técnica de Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP OES), modelo Vista- MPX CCD simultâneo (Varian, Mulgrave, Austrália), configuração axial e equipado com um sistema de amostragem automático (SPS - 5). O controle das condições operacionais do ICP OES foi realizado com o software ICPExpert Vista.

4.6 Caracterização morfológicas e estruturais

4.6.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A morfologia do amido de pupunha albina foi obtida no Laboratório Institucional de Microscopia Eletrônica de Varredura do Museu Paraense Emílio Goeldi, utilizando um microscópio eletrônico TESCAN, modelo Mira 3, com canhão de elétrons tipo FEG (field emission gun). As amostras foram metalizadas com Au por 2,5 min, com película de espessura média de 10 a 15 nm. As imagens foram geradas por detecção de elétrons secundários, utilizando aceleração de voltagem entre 5 e 10 kV e distâncias de trabalho de 10 a 15 mm.

O diâmetro médio dos grânulos de amido foi obtido por medida direta de 30 grânulos de amido, em micrografias SEM (1000, 2000 e 5000X) usando Software ImageJ, segundo Abramoff, Magalhães e Ram (2004).

4.6.2 Espectroscopia no infravermelho

As análises de Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) foram realizadas no amido em espectrômetro Perkin Elmer, modelo Frontier 98737 (Waltham, MA, EUA) a 25 °C na região do infravermelho, com registros na faixa de frequência espectral de absorção de 4000-400 cm^{-1} . A incorporação da amostra foi realizada em pastilhas de brometo de potássio (KBr), com Scan 100 e resolução 4 cm^{-1} . As imagens foram plotadas no programa Origin 8.0.

4.6.3 Difração de raios X (DRX)

O padrão de difração de raios X foi determinado usando um aparelho de raios X de bancada, difratômetro (Ultima IV, Rigaku Corporation, Tóquio, Japão) em modo de varredura

contínua com radiação monocromática Cu-K α gerada a 40 kv e 20 mA. Os dados coletados na região angular de 2° a 50° (2 θ) a 0,05° por segundo (2 θ).

Grau de cristalinidade

A cristalinidade relativa (CrD) de APA foi analisado com um difratômetro de raios X (Ultima IV, Rigaku Corporation, Tóquio, Japão) na região angular 2° a 50° (2 θ) a 0,05° por segundo (2 θ) em modo de varredura contínua com radiação Cu-K α gerada a 40 kV e 20 mA. A de cristalinidade do amido foi calculado conforme descrito por Bendaoud et al. (2017). Os picos cristalinos estão apresentados na região angulares e o grau de cristalinidade foi calculado pela razão entre a área de difração cristalina e a área de difração total (as desconvoluções dos picos foram executadas com software Origin 8.0). Os resultados foram expressos em porcentagem de cristalinidade.

4.7 Propriedades térmicas

4.7.1 Análises termogravimétrica - diferencial (TG-DTA)

A análise termogravimétrica - diferencial foi realizada usando 4,5 mg de amidos inserido no cadinho de alumina sob fluxo de gás nitrogênio de 50 mL min⁻¹ em um analisador termogravimétrico Shimadzu TGA 50-Japan. As amostras foram aquecidas de 10 a 600 °C com taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹ (LIMA *et al.*, 2012).

4.8 Propriedades de pasta do amido

As propriedades de pasta foram analisadas usando um Rapid Visco-Analyzer (RVA-4500), da marca PERTEN, série RVA 4500, com o método standard-2, de acordo com AACC (2010). Com auxílio do programa Termoclines para Windows foi usado para processar os resultados. Todas as determinações foram realizadas em duplicata e os parâmetros avaliados foram: Pico de viscosidade (cP), Viscosidade mínima (cP), Viscosidade de Quebra (cP), Viscosidade final (cP), Retrogradação (cP) e Temperatura de pasta (°C).

4.9 Propriedades tecnológicas

4.9.1 Solubilidade e poder de intumescimento em função da temperatura

A metodologia para determinar a solubilidade e o poder de inchamento em função da temperatura do amido foi aplicada de acordo com Leach, McCowen e Schoch (1959) e Torre-

Gutiérrez *et al.* (2008), com algumas modificações, na qual foi pesado em triplicata 0,1 g do amido, em tubo de centrífuga e adicionou-se 10 mL de água destilada. As suspensões foram homogeneizadas por 5 min agitada em vortex e aquecidas em banho-maria nas temperaturas de 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C e 90 °C durante 30 min. Em seguida, as suspensões foram resfriadas e centrifugadas por 15 min a 3000 rpm.

Para a determinação da solubilidade (%) das amostras os sobrenadantes foram colocados em cadinhos previamente tarados e o volume foi seco em estufa de secagem a 105 °C, por aproximadamente 8 h, até atingir massa constante.

O poder de intumescimento (g água/g amostra seca) foi determinado através do precipitado (gel) que permanece no fundo dos tubos de centrífuga. Esses foram pesados, obtendo a massa do precipitado. Os cálculos para as determinações de solubilidade e poder de intumescimentos foram realizados a partir das Equações 10 e 11, respectivamente:

$$\text{Solubilidade} = \frac{\text{Massa do sobrenadante seco} \times 100}{\text{Massa do amido (peso seco)}} \quad (10)$$

$$\text{Poder de Intumescimento} = \frac{\text{Massa do precipitado}}{\text{Massa do amido}} \quad (11)$$

4.9.2 Capacidade de absorção de água (CAA) e óleo (CAO)

Para a determinação da capacidade de absorção de água CAA (g água/g amostra seca) e óleo CAO (g óleo/g amostra seca) do amido de pupunha albina foi utilizado o método proposto por Beuchat (1977) com algumas modificações. Foi utilizado 1 g de amostras de amido e 10 mL de água destilada ou de óleo de soja comercial em tubos de centrífuga. As suspensões foram homogeneizadas durante 30 seg em vortex e deixadas em repouso por 30 min. Posteriormente os tubos foram centrifugados por 15 min a 15000 g e em seguida os tubos foram invertidos e deixados em repouso por 10 min à temperatura ambiente. Os cálculos para as determinações de CAA e CAO foram realizados a partir da Equação 12, respectivamente:

$$\text{CAA e CAO} \left(\frac{\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{\text{Massa do centrifugado}}{\text{Massa seca da amostra}} \quad (12)$$

4.9.3 Estudo de gelificação

O estudo da capacidade de geleificação dos amidos foi adaptado do método descrito por Lawal e Adebawale (2005), no qual as suspensões de amido foram preparadas em diferentes concentrações (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26%) (m/v) em 5 mL de água e colocados

em tubos de ensaio. As suspensões foram agitadas em vortex e submetida ao aquecimento a temperatura de 93,1 °C por 30 min em banho-maria. Após esse tempo, foram resfriadas a 4 °C por 2 h e caracterizadas como “viscoso”, “pouco gel”, “gel”, “gel firme”, “gel muito firme” por avaliação visual, para assim, identificar a concentração mínima de geleificação (formação de gel).

4.9.4 Sinérese

A sinérese foi verificada como a porcentagem (Equação 13) de massa de água liberada sobre a massa inicial do amido, nas concentrações em que a amostra não escorregou pelo tubo previamente na análise de geleificação e armazenados a 4 °C por 1, 2, 3, 5, 15 dias. Após cada período as amostras foram centrifugadas a 3000 rpm por 15 min, com a centrífuga Celm e modelo LS-3 Plus (SINGH; SANDHU; KAUR, 2004).

$$\text{Sinérese (\%)} = \frac{\text{Massa água liberada} \times 100}{\text{Massa inicial do amido}} \quad (13)$$

4.10 Análise estatística

Os resultados das determinações foram submetidos à análise de valores médios de três repetições e desvio padrão em base seca., utilizando o Software Statistica® versão 8.0 (EUA).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características físicas do amido da pupunha albina

5.1.1 Rendimento

Para a indústria, rendimento de amido é importante porque está diretamente associado ao custo do produto (Streck *et al.*, 2014). A Figura 5 apresenta o processo de extração com rendimento alcançado.



O rendimento do amido nativo isolado da polpa da pupunha albina foi de 67,91% em base seca, para mandioca o rendimento pode chegar até 80% do peso seco (Kringel *et al.*, 2020). Ao comparar com amido de pupunha de diferentes genótipos (microcarpa, mesocarpa e macrocarpa), por extração aquosa, estudado por Pires *et al.* (2021), a APA foi superior até mesmo ao amido da pupunha macrocarpa (61,70%) que teve maior rendimento. Além disso, com base no peso médio (53,45 g), os frutos da pupunha albina são classificados como pertencentes a variedade mesocarpa (fruta entre 21 e 70 g) (Yuyama, 2011). Assim, o APA teve maior rendimento mesmo sendo isolado de frutos menores, podendo ser explicados devido às características morfológicas distinta desta variedade. Além disso, o rendimento do amido é influenciado por fatores como a matéria-prima vegetal, o método de extração e a composição

do solo (Nunes; Santos; Cruz, 2009), bem como diferença genética e o estágio de maturação da fonte vegetal (Lawal, 2004).

5.1.2 Cor

Os resultados de cor instrumental obtidos para o amido da pupunha albina estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros de cor instrumental para amido da pupunha albina.

Parâmetro	APA
L*	89,53 ± 0,35
a*	- 1,4 ± 0, 00
b*	4,13 ± 0,11
h°	71,27 ± 0,64
C*	4,36 ± 0,14
ΔE	8,50 ± 0,50
IB	83,93 ± 0,34

Valores médios de triplicatas ± desvio padrão. h°: Ângulo Hue; C:cromaticidade; ΔE: diferença de cor; IB: índice de brancura.

Análises colorimétricas do amido da pupunha albina mostraram um pó branco (L), entre esverdeado (a) a amarelado (b). Esses resultados concordam com os relatados por Valencia *et al.* (2014) para amido de pupunha colombiana. De acordo com os resultados de diferença de cor (8,50) e índice de brancura (83,93) menor que 100, indicam que o amido não é completamente branco. Enquanto o croma indicou a tonalidade amarela do amido de pupunha albina, que pode ser devido a alguns pigmentos carotenoides (lipofílicos) ainda presentes nos resíduos de lipídios, não removidos durante a extração (Rodrigues *et al.*, 2020).

A cor é um dos fatores predominantes na escolha do produto alimentício, desse modo o amido de pupunha albina pode ser indicado para aplicação em produtos alimentícios com cor uniforme, cor branca ou neutras uma vez que não irá alterar a cor dos produtos de panificação, massas, molhos (Lima *et al.*, 2019).

5.2 Características físico-química do amido da pupunha albina

A Tabela 3 mostra a caracterização química e propriedade físico-químicas do amido nativo da pupunha albina.

Tabela 3 – Características físico-química do amido da pupunha albina.

Características Físico-Química	APA
Umidade (g/100 g)	8,64 ± 0,02
Cinzas (g/100 g)	0,12 ± 0,07

Proteínas (g/100 g)	0,80 ± 0,05
Lipídios (g/100 g)	1,00 ± 0,36
Carboidratos (g/100 g)	89,44 ± 0,44
VET (kcal/100 g)	357,76 ± 1,77
Teor total de amido* (g/100 g)	89,01 ± 0,22
Amilose (g/100 g de amido)	13,30 ± 0,09
Amilopectina (g/100 g de amido)	86,70 ± 0,07
a _w	0,255 ± <0,00
pH	5,75 ± 0,07

Valores médios de três replicatas ± desvio padrão em base seca. VET: valor energético total; pH: potencial hidrogeniônico; aw: atividade de água. *relacionado a pureza do amido.

O amido nativo da polpa de pupunha albina apresentou umidade e atividade de água (8,64% e 0,255). Segundo a Resolução RDC nº 711, de 01 de julho de 2022 o limite máximo de umidade é de 15% para amidos de cereais, 21% para amido de batata e 18% para amido de mandioca, mesmo não sendo uma fonte convencional, o APA está dentro dos padrões estabelecidos (Brasil, 2022). O valor encontrado de atividade de água garante a estabilidade do produto ao impedir o crescimento de microrganismos (especificamente fungos e leveduras), perda de qualidade e limitar suas aplicações potenciais (Gutkoski *et al.*, 2007; Souza *et al.*, 2019; Melo Neto *et al.*, 2015). Pesquisadores que extraíram amido de pupunhas apresentaram valores maiores de umidade entre 10,76, 11,64 e 14% (Felisberto *et al.*, 2020; Pires *et al.*, 2021; Melo Neto *et al.*, 2015), variações no teor de umidade de amidos extraído de fonte semelhante podem ser afetadas pelo tipo de tecnologia de secagem e condições ambientais (Mweta *et al.*, 2010; Sandoval *et al.*, 2021).

O amido da pupunha albina apresenta um pH fracamente ácido (5,75). Segundo Woolfe (1992) os amidos nativos comerciais devem estar na faixa de pH entre 5,0 e 7,0; portanto, o amido de pupunha albina atende a este critério de qualidade. Em amidos, o pH é uma propriedade de qualidade que pode demonstrar o uso de aditivos, modificações ou processos de fermentação para estabelecer se o produto está alterado (Bou Rached *et al.*, 2006).

O amido de pupunha albina apresenta traços de cinzas (0,12 g/100 g), e está conforme a legislação brasileira (máximo de 0,5% de cinzas) (Brasil, 1978). O teor de cinzas do APA foi semelhante ao amido de pupunhas mesocarpas (0,12 g/100 g) (Pires *et al.* 2021), mas inferior ao amido de pupunhas vermelhas (0,19 g/100 g) (Felisberto *et al.*, 2020). O teor de cinzas da pupunha albina pode indicar a presença de sais associados às moléculas de amilose e amilopectina, influenciando o comportamento da pasta de amido (Zhou *et al.*, 1998). Por outro lado, o teor de cinzas está relacionado com a presença de minerais totais, melhorando as propriedades nutricionais do amido (Souza *et al.*, 2019).

O valor de proteína no amido da pupunha albina foi de 0,80 g/100g, sendo superior aos amidos dos frutos das pupunheiras relatados por Pires *et al.* (2021) (0,44; 0,46 e 0,49 g/100g, respectivamente, microcarpa, mesocarpa e macrocarpa) e Felisberto *et al.* (2020) (0,54 g/100g). O teor de proteína do amido da pupunha albina pode comprometer suas propriedades tecnológicas e aplicações (Bae *et al.*, 2021).

O teor lipídico do APA foi de 1,0 g/100g. No entanto, os valores obtidos de lipídios em amido de pupunheira por extração aquosa de outros estudos como de Pires *et al.* (2021) com valores de 0,47 a 1,04 g 100 g⁻¹ em genótipos distintos, e de 0,93 g 100 g⁻¹ (Melo Netto *et al.*, 2015) e 2,69 g 100 g⁻¹ (Felisberto *et al.*, 2020). O valor de lipídios encontrado indicou teor de compostos apolares próximo a 1%, o que pode influenciar nas propriedades tecnológicas do amido, podendo afetar a gelificação, modificar o comportamento reológico de pastas e inibir a cristalização de moléculas, reduzindo assim a retrogradação (Felisberto *et al.*, 2020; Vilpoux *et al.*, 2019).

O teor de carboidratos totais do amido da pupunha albina foi de 89,44 g/100 g. Resultados semelhantes também foram observados para o amido do fruto da pupunheira, por Valencia *et al.* (2015) ao avaliar a variedade “citronela” de Choco, e por Felisberto *et al.* (2020), provavelmente pelo teor de lipídios, que pode ser explicado pelo uso de técnica semelhante da utilizada neste artigo, sem uso solvente orgânico nas etapas finais da extração do amido para evitar a geração de efluentes. Esses resultados indicam que o amido, a partir de um processo de extração simples com uso de água e decantação foi possível obter amido com teores (< 3%) de proteínas, lipídios, cinzas. Apesar da fonte botânica e métodos de extração utilizados para obtenção de amidos interferirem em menores conteúdos de componentes químicos e minerais (Felisberto *et al.*, 2020; Sandoval *et al.*, 2021).

O teor total de amido indica a pureza da amostra após o isolamento. O teor total de amido de pupunha albina por extração aquosa foi de 89,01%, próximo ao valor do amido convencional de mandioca (89,26 g/100 g) (Rodrigues *et al.*, 2020), mas superior as outras pesquisas realizadas com amido de pupunha pelo mesmo método, como de Pires *et al.* (2021) (87,27g/100 g microcarpa), Valencia *et al.* (2015) (84.5%) e Melo-Neto *et al.* (2015) (79%). Apesar de impurezas (lipídios, proteínas e polissacarídeos não amiláceos) não completamente removidos presentes no APA, ainda sim atende as especificações mínimo exigidas pela legislação brasileira para amidos comerciais para utilização na indústria alimentícia (Brasil, 1978), que é um mínimo de 70% de amido total.

O teor de amilose e amilopectina do APA foram de 13,30 e 86,70%, respectivamente; a amilose está próxima dos valores relatados por Melo Netto *et al.* (2015), Felisberto *et al.* (2020)

e Valencia et al. (2015) (12,40; 18,92 e 19,3%, respectivamente), mas superior ao trabalho de Pires et al. (2021), entre 1,07 e 3,99%. O teor de amilose nos grânulos de amido varia de acordo com a fonte vegetal, sendo classificado conforme Biliaderis e Juliano (1993) em: ricos em amilose (acima de 25 g/100 g⁻¹), intermediários (entre 20 e 25 g/100 g), baixo (entre 12 e 20 g/100 g), amilose muito baixa (entre 5 e 12 g/100g), e amido ceroso (abaixo de 5 g/100 g, próximo de zero). Assim, o amido extraído dos frutos da pupunha albina pode ser classificado como de baixo teor de amilose.

Amidos com baixo teor de amilose, especialmente amidos cerosos, têm diferentes aplicações nas indústrias alimentícia, têxtil, farmacêutica e cosmética. A concentração de amilose influencia o rearranjo molecular e a concentração inversamente proporcional de amilopectina induz reações hidrolíticas, portanto o amido avaliado pode ser utilizado como estabilizante, texturizante e espessante no processamento de alimentos (Singh *et al.*, 2003; Melo Neto *et al.*, 2018; Hsieh *et al.*, 2019).

5.3 Composição mineral

Amidos contêm pequena quantidade de minerais e sais inorgânicos, o qual varia de acordo com a fonte de obtenção e região do mundo onde foram produzidos. A Tabela 4 apresenta o conteúdo mineral (macro e microminerais) do amido de pupunha albina.

Tabela 4 - Conteúdo mineral em amido de pupunha albina.

		Macrominerais (mg/Kg)				
		Mg	K	Na	P	Ca
		16,99 ± 0,27	11,89 ± 0,08	171,18 ± 0,01	38,34 ± 0,01	76,36 ± 0,01
		Microminerais (mg/Kg)				
APA		Mn	Al	Ba	Fe	Zn
		0,6 ± 0,11	1,96 ± 0,01	0,09 ± 0,01	4,25 ± 0,43	2,79 ± 0,66
		Metais pesados (mg/Kg)				
		Cd	Cu	Cr	Ni	Pb
		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ

Valores médios de três replicatas ± desvio padrão em base seca. <LQ: Limite de Quantificação.

A Tabela 4 mostra que o amido de pupunha albina bioacumula alguns minerais. Sódio (Na), cálcio (Ca), fósforo (P) e Magnésio (Mg) são os principais macrominerais encontrados no APA, bem como ferro (Fe), zinco (Zn) e alumínio (Al) são os microminerais mais expressivos, enquanto os metais pesados estavam abaixo do limite de detecção. Não existem relatos sobre o conteúdo mineral em amido de pupunha. Entretanto, os valores de minerais do amido de banana são muito superiores ao APA (Na: 20 mg/100g; Fe: 1,54 mg/100g, Ca: 20,32 mg/100g; Mg:20,34 mg/100g; K:180,23 mg/100g e F:20,23 mg/100g) (González; Gómez;

García, 2019). A bioacumulação desses metais nos frutos da pupunheira albina depende de sua biodisponibilidade no solo, tipo de solo, pH e época de colheita (Hu *et al.*, 2017), além disso o isolamento deste amido diminuiu a quantidade de todos os minerais avaliados.

A maioria desses minerais (Tabela 4) são essenciais para o metabolismo e a homeostase do corpo humano. Neste estudo, os macrominerais do amido da pupunha albina foram Na, Ca, Mg e K, representando um percentual médio de 7,13; 7,64, 4,25 e 0,34%, respectivamente, das recomendações diárias definidas pela FAO (2002). Microminerais como Fe e Zn foram encontrados em maior proporção no amido estudado, sendo 2,33 e 1,86% para recomendação diária estipulado pela FAO (2002). A menor abundância desses oligoelementos não diminui a importância, uma vez que são essenciais em vários sistemas enzimáticos. Os resultados encontrados destacam o potencial do amido de pupunha albina para fortificar produtos alimentícios para crianças, idosos ou lactantes.

Apesar de valores máximos permitidos de alumínio e bário não ser definido para o consumo em alimentos, as quantidades existentes no APA, pode ser encontrada em alimentos de fontes vegetais ou como aditivos em massas prontas (alumínio). Mas, o bário em alimentos contém menos de 0,002 mg/g, exceto castanhas do Brasil que podem conter altas concentrações do metal (até 4 mg/g) (CETESB, 2017; 2022).

A quantidade de fósforo (P) verificada no APA (0,038%) pode afetar as propriedades funcionais deste amido. O teor de fósforo varia de 0,003% no amido de milho ceroso a 0,09% no amido de batata (Singh *et al.*, 2003). Enquanto, os teores residuais de fósforo em amido modificado pela adição de tripolifosfato são de 0,1% de fósforo ou 0,5% de P₂ O₅ (Pentóxido de difósforo), conforme a legislação brasileira (Brasil, 2002). Provavelmente, o teor de P do APA se encontra na forma de fosfolipídios, sendo proporcional ao teor de amilose do amido (Morrison *et al.*, 1993), com tendência a formar um complexo com a amilose e longas cadeias ramificadas de amilopectina, podendo resultar em inchaço limitado (Singh *et al.*, 2003), e pastas opacas e de baixa viscosidade (Craig *et al.*, 1989; Schoch, 1942).

O teor de Mg e K do amido de pupunha albina, pode influenciar as propriedades térmicas, de pasta e funcionais. González, Gómez e García (2019) exploraram o efeito da adição de K e Mg ao amido de banana em suas propriedades térmicas, de colagem e funcionais. Ambos os íons quando em maior quantidade tendem à índices mais elevados de solubilidade e intumescimento, aumento da temperatura de gelatinização e recuperação de viscosidade devido a maior capacidade de atrair elétrons, o que facilita a origem de novas ligações químicas.

Observou-se na Tabela 4 que os metais pesados como cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni) e chumbo (Pb) estavam abaixo do limite de quantificação. Assim, o solo, as

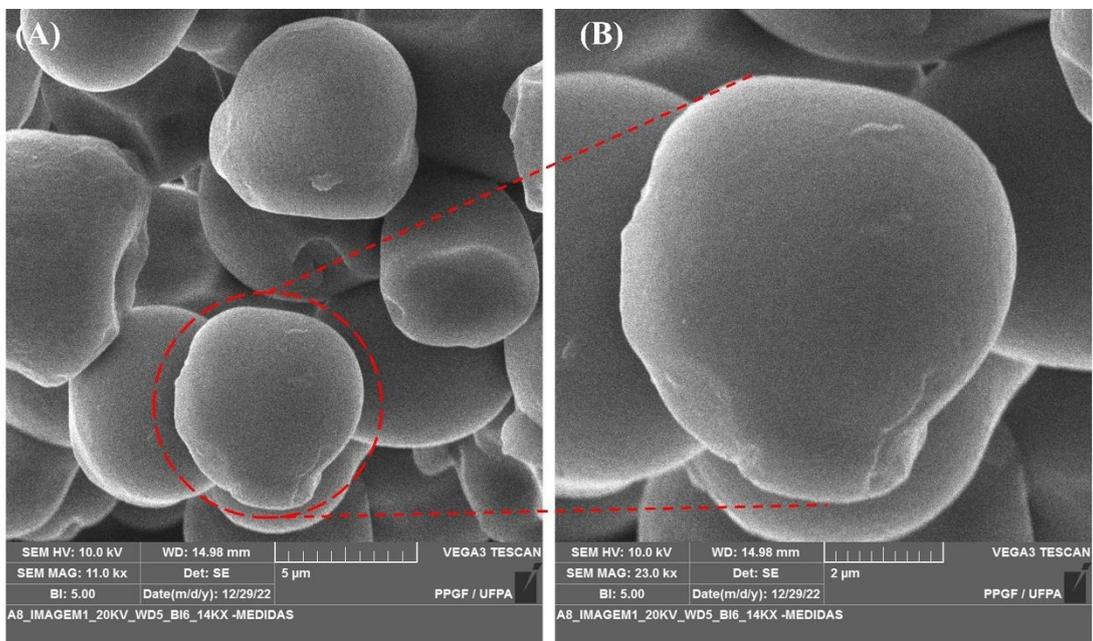
condições de armazenamento após colheita e os métodos de processamento utilizados durante a extração do amido de pupunha albina estavam desprovidos de contaminação por metais pesados, não causando toxicidade e riscos indesejados para a saúde dos possíveis consumidores.

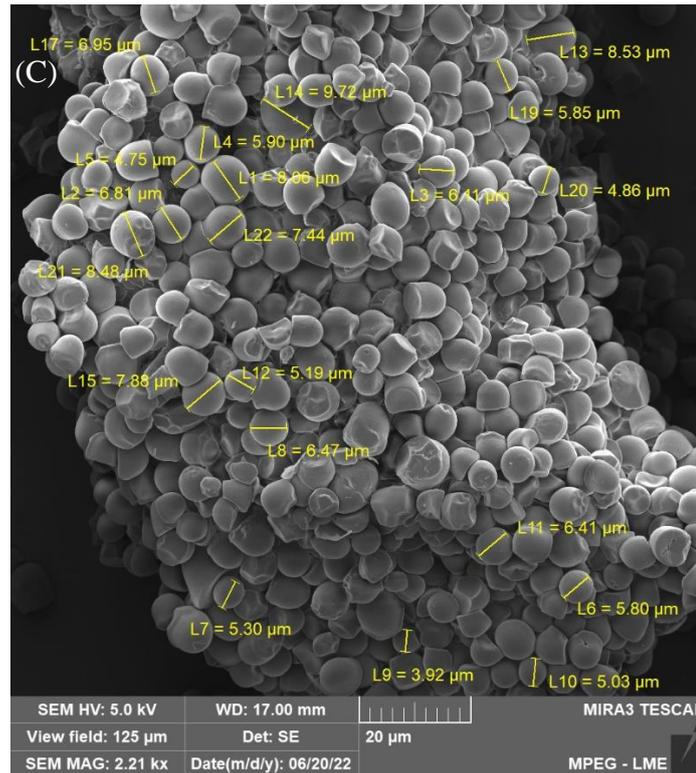
5.4 Caracterização morfológicas e estruturais

5.4.1 Morfologia do amido da pupunha albina

As micrografias do grânulo de amido da pupunha albina são ilustradas na Figura 6.

Figura 6 – Eletromicrografias do amido da pupunha albina. (A) resolução 11.0 kx, (B) resolução 23.0 kx, (C) resolução 2.21 kx.





Conforme observado na Figura 6 (A), (B) e (C) os grânulos são predominantemente arredondados, ovais e convexos, com tamanhos não homogêneos, com partículas regulares, superfícies lisas e algumas fissuras. Em relação ao tamanho, diâmetro do grânulo variou de 3,92–9,72 μm , Figura 6 (C), podendo ser classificados como pequenos. De acordo com Lindeboom *et al.* (2004), os grânulos de amido são classificados em três grupos: grandes (>25 μm), médios (10 - 25 μm), pequenos (9 - 5 μm) e muito pequenos (<5 μm).

A mesma morfologia de amido foi encontrada por outros autores sem considerar genótipos de frutos de pupunheira, mas encontraram grânulos de amido que podem ser classificados como bimodais, pois apresentam grânulos acima e abaixo de 10 μm (Melo Neto *et al.*, 2017; Felisberto *et al.*, 2020; Pires *et al.*, 2021). Outras frutas apresentaram amidos com grânulos pequenos como: a polpa da jaca verde (2,0 a 8,5 μm) (Noorfarahzilah *et al.*, 20019), semente de longana (4,42 μm), semente de lichia (5,47 μm), semente de ameixa amarela (5,55 μm), e semente de Manga (7,10 μm) (Guo *et al.*, 2018).

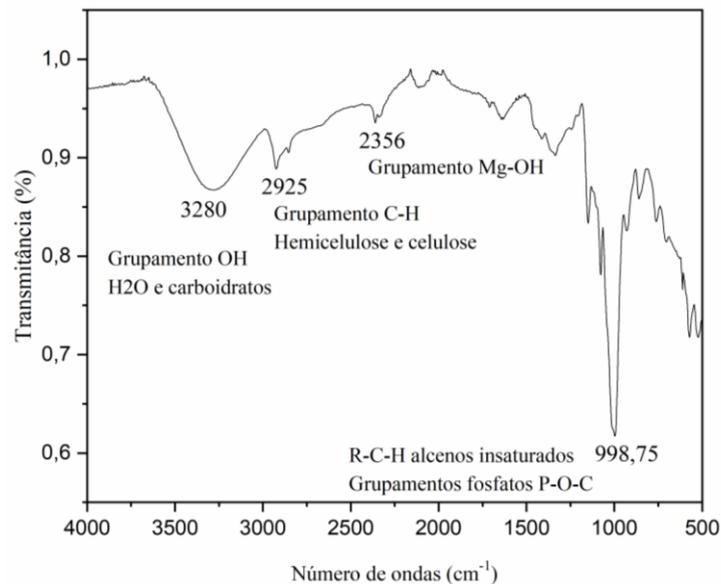
O tamanho e a forma dos grânulos de amido dependem diretamente da estrutura da amilopectina, isso porque, grânulos alongados possuem amilopectina com poucas ramificações de cadeia longa, enquanto grânulos pequenos e esféricos possuem um número superior de ramificações, mas cadeias curtas (Jane *et al.*, 1999; Ramírez- Balboa *et al.*, 2021). O amido com grânulos pequenos tem melhor digestibilidade após o cozimento devido à maior área superficial em relação ao volume e podendo ser importante para diversas aplicações

(encapsulamento e produtos com alta retenção de água) (Salgado *et al.*, 2005; Aldana *et al.*, 2011).

5.3.2 Espectroscopia de Absorção na Região do Infravermelho

A Figura 7 mostra a Espectroscopia de Infravermelho com Transformação de Fourier (FTIR) para o amido de pupunha albina.

Figura 7 – Espectroscopia de Infravermelho do amido de pupunha albina.



Os padrões espectrais apresentados no intervalo de frequência e os principais grupos de compostos orgânicos mostram um comportamento que evidenciam a presença de bandas com estiramento entre 3285 cm^{-1} a 998.75 cm^{-1} , características da presença de compostos orgânicos como hidroxilas, álcoois, celulose, hemiceluloses, alcanos, ésteres, éteres, ácidos carboxílicos, dentre outros (Elzey; Pollard; Leonardi, 2016; Santos *et al.*, 2020).

Foi observado uma banda larga e arredondada na faixa de absorção de 3285 cm^{-1} . Esta banda é característica de ligações de hidrogênio, com a presença de grupos hidroxilas (O-H) frequentes nas unidades de D-glicose e suas ligações glicosídicas, sendo estes grupos exatamente as unidades formadoras das estruturas de amidos como se apresenta no isolamento desta pesquisa (Elzey; Pollard; Leonardi, 2016).

O segundo pico, de menor intensidade, em destaque de 2925 cm^{-1} é atribuído aos grupos funcionais -CH, que são características da constituição da celulose e hemicelulose com alongamento das ligações glicosídicas, relacionados às ligações das unidades formadoras de amidos (Rai; Bikash; Ravindra, 2016; Santos *et al.*, 2020a). Este pico pode estar relacionado a rupturas dos amiloplastos que são estruturas que mantém a integridade dos glóbulos de amido

e consequente, a perda dos padrões estruturais dos grânulos de amido (Valencia *et al.*, 2015; Melo Neto *et al.*, 2015; Melo Neto *et al.*, 2017)

Pesquisas com farinhas de pupunha também apresentaram picos nestas faixas de frequências detectadas nos espectros de FTIR das pupunhas classificadas nas raças microcarpa, mesocarpa e macrocarpa; das variedades vermelha e amarela (Pires *et al.*, 2019) e para amidos nativos de pupunha (Melo Neto *et al.*, 2017).

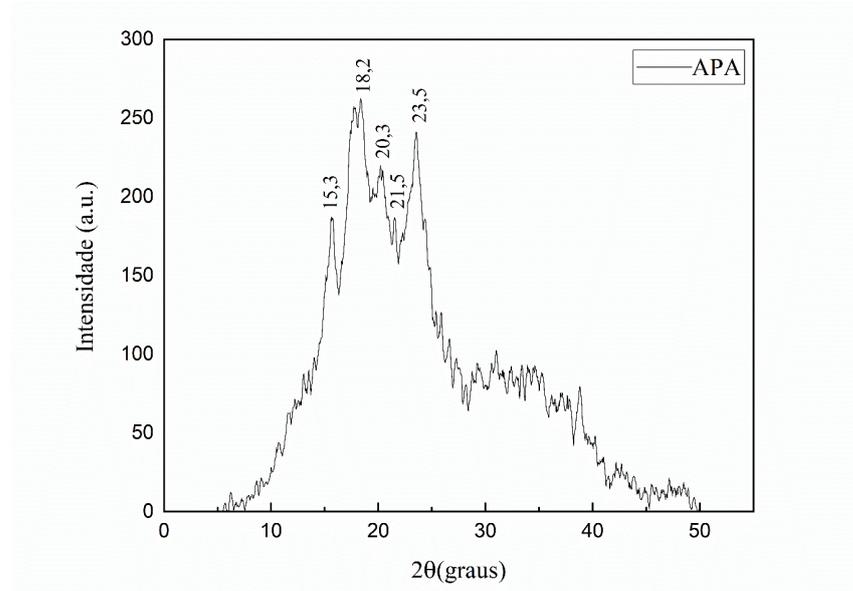
A ocorrência de uma pequena banda em 2356 cm^{-1} pode expressar a presença de Mg em junção a outros grupos como os hidróxidos ou carbonatos (-OH, -COOH ou C-OH) ratificando a importante presença de compostos minerais, ocupando sítios de ligações com as hidroxilas nas frações das cadeias de amido, contraindo ou torcendo as configurações, podendo gerar alterações nas propriedades tecnológicas dos amidos (Tang, Niu, Wen, 2024).

As bandas na frequência de $998,75\text{ cm}^{-1}$ são os de maior destaque, sendo característico do grupamento alcanos e alcenos (R-C-H), e grupamentos fosfatos (P-O-C) ratificando a presença de resíduos de fosfato, além da presença de sequências de cadeias alifáticas e de anéis aromáticos de ácidos graxos residuais que podem estar presente na amostra, além de grupos funcionais como de álcoois, ésteres, éteres, ácidos carboxílicos, entre outros grupos funcionais que são frequentemente encontrados em amido (Rai; Bikash; Ravindra, 2016; Elzey; Pollard; Leonardi, 2016; Santos *et al.*, 2020). Estas faixas foram também observadas por Pires *et al.* (2019) para farinhas e por Melo Neto *et al.* (2017) para amidos nativos, de outras variedades de pupunha como a pupunha vermelha e amarela. Também observada essa faixa na pesquisa de Tessema; Admassu (2021) em amidos convencionais de batata ($993,12\text{ cm}^{-1}$) e amido de mandioca ($995,12\text{ cm}^{-1}$).

5.3.3 Difractometria de raios X (DRX)

A aplicação de difratometria de raios X (DRX) teve o intuito de investigar o tipo de estrutura e arranjo em dupla hélice do amido, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Difração de raios x do amido de pupunha albina



O difratograma do amido de pupunha albina apresentou intensidades de reflexão mais destacadas nos picos em $2\theta = 15,3^\circ, 18,2^\circ, 20,3^\circ, 21,5^\circ$ e $23,5^\circ$, sendo compatível com um amido de características do padrão cristalino tipo A, comuns entre amido de milho e trigo (Van Soest; Vliegthart, 1997), embora não haja um padrão de cristalinidade atribuído aos amidos oriundos de frutos, a pupunha vermelha da Colombia apresentou padrão cristalino tipo A (Valencia *et al.*, 2015), enquanto amidos de pupunha vermelha de Felisberto *et al.* (2020) e Melo Neto *et al.* (2017) apresentaram padrão tipo C, podendo ser explicado pela diferença de hibridação da espécie (pupunha albina), particularidades do cultivo da fruta, época de colheita, grau de maturação, entre outras.

Observando a cristalinidade relativa (RC) do APA seu valor estimado foi de 24,40% superior aos observados com amido de pupunha vermelha (23,56%) (Felisberto *et al.*, 2020), mas inferior ao amido da semente de huaya (*Melicoccus bijugatus*) (31,22%) (Moo-Huchin *et al.*, 2020) e de amido do mesocarpo de babaçu (35,45%) (Maniglia; Tapia-Blacido, 2016). O grau de cristalinidade dos amidos é proporcional à sua composição, os amidos regulares são compostos de 70% a 80% por amilopectina e de 20 a 30% por amilose (Lima; Andrade, 2010; Morrison; Laignelet, 1983). O valor de cristalinidade identificado no amido de pupunha albina pode corresponder aos amidos regulares, deve estar compreendido entre 20% e 45% (Van Soest; Vliegthart, 1997).

Outro fato, apresentado no difratograma, é a existência de estrutura em formato de V entre as regiões $21,5^\circ$ e $23,5^\circ$, relacionada possivelmente a presença de pequenos cristais, típicos de materiais semicristalinos, e da junção entre o teor residual de lipídios encontrados nesta pesquisa (1%), formando o complexo amilose-lipídios. Os resíduos de grupos lipídicos podem alterar os padrões de difração de raios X dos amidos e levar a danos na estrutura dos cristais,

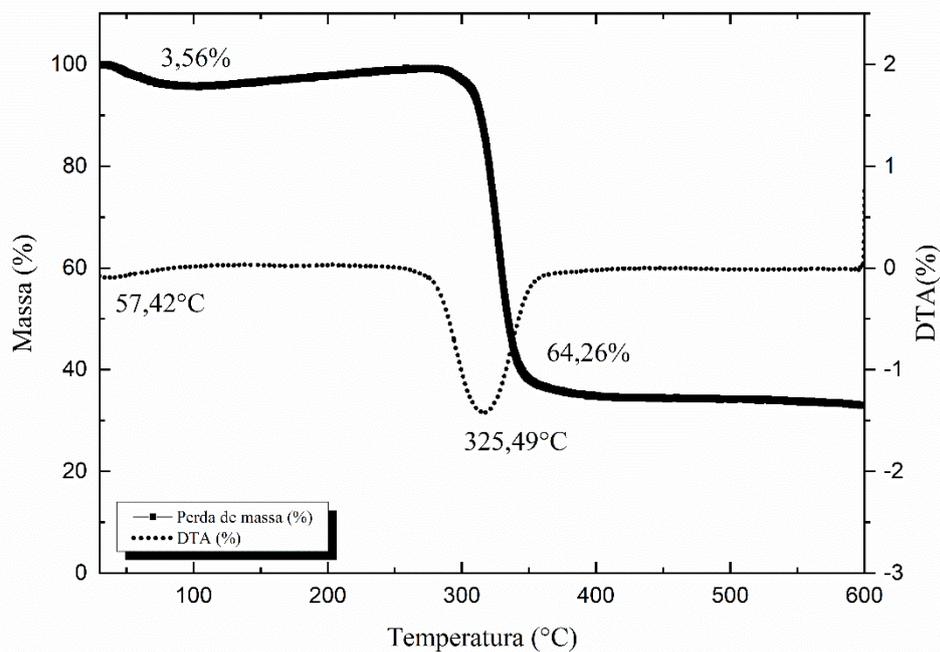
com uma redução parcial ou total na intensidade dos picos difratados (Felisberto *et al.*, 2020; Pinto; Campelo; Souza, 2020). O processo de obtenção do amido, a gelatinização parcial ou total, a trituração também pode interferir nos formatos dos picos, pois alteram a integridade de alguns grânulos de amido, o que pode ser confirmado pelas imagens de MEV mostradas na Figura 10.

5.5 Propriedades térmicas

5.4.1 Análise Termogravimétrica e Diferencial TG/DTG

A análise termogravimétrica permite determinar a temperatura média de degradação inicial e a porcentagem de materiais inorgânicos na amostra. O comportamento termogravimétrico apresentado no amido de pupunha albina é apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Comportamento termogravimétrico diferencial do amido da pupunha albina.



O gráfico mostra os termogramas TGA e DTG do APA, que revelam dois eventos térmicos principais. O primeiro evento é representado por um pico discreto em 57,42°C, onde 3,56% da massa inicial é perdida, superior ao encontrado por Pires *et al.* (2021) (41,6 °C) com amido de pupunha vermelha mesocarpa. A perda nessa temperatura pode ser atribuída à evaporação de voláteis (principalmente água contida e/ou absorvida) presente nos grânulos de amido.

O segundo evento de pico (perda máxima) é representado por um pico acentuado, onde 64,26% da massa é perdida na faixa de temperatura de 325,49° C. Ao comparar o resultado desta pesquisa ao comportamento observado para o amido nativo de pupunha vermelha por extração aquosa, constata-se similaridade em temperatura mas menor degradação máxima de massa tanto para genótipo mesocarpo de Pires et al. (2021) (321,53 °C e 98.05% de perda de massa), como de Melo Neto et al. (2017) (320 °C e 76,6% da massa perdida). Este estágio de degradação de massa pode ser atribuído à perda das ligações O-H glicosídicas das moléculas de glicose, unidade formadora dos polímeros de amido, compostos de frações de amilose e amilopectina, além da degradação térmica de outros resíduos de macronutrientes como proteínas, lipídios, fibras (Felisberto *et al.*, 2020; Melo Neto *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2022).

5.6 Propriedades de pasta do amido

O perfil de viscosidade é um fenômeno complexo que se refere às várias mudanças no amido após ser aquecido em excesso de água com agitação constante e subsequente gelatinização (Sjöö; Nilsson, 2018). O perfil geral de gelatinização do amido nativo da pupunha albina é mostrado na Figura 10 e Tabela 5.

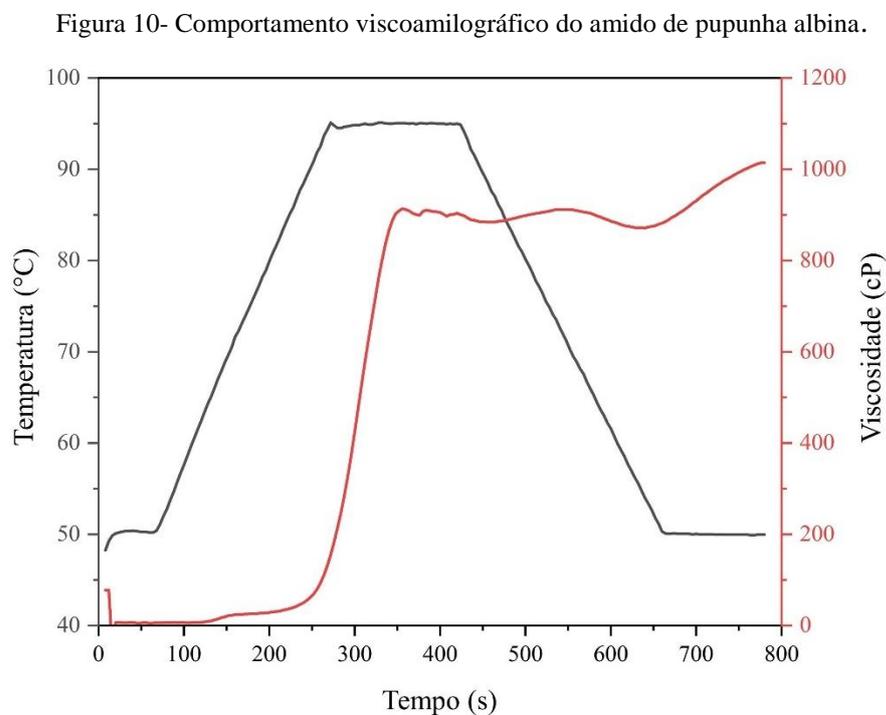


Tabela 5 – Propriedade de pasta do amido nativo da pupunha albina.

Propriedade	
Pico de viscosidade (cP)	921,33 ± 1,11

Viscosidade mínima (cP)	870.66 ± 4.72
Viscosidade de Quebra (cP)	50,66 ± 4,44
Viscosidade final (cP)	1014 ± 5,33
Retrogradação (cP)	143,33 ± 5,77
Temperatura de pasta (°C)	93,1 ± 0,74

O pico de viscosidade (PV) do amido nativo de pupunha albina foi de 921,33 cP, com temperatura de pasta (TP) de 93,1°C, o PV é caracterizado pelo aumento da viscosidade da suspensão, que determina a TP do amido. Esses dois fenômenos estão relacionados à capacidade de retenção de água e à facilidade de desintegração dos grânulos de amido em suspensão aquosa. Outros estudos com amido de pupunha por extração aquosa também obtiveram valores altos de TP e PV: 92.33°C e 1393 cP em pupunha vermelha (Felisberto *et al.*, 2020); 93.75 °C e 861.96 cP em pupunha microcarpa (Pires *et al.*, 2021). O APA precisa de uma temperatura relativamente alta para ser gelatinizado, exigindo um maior gasto energético e maior tempo de cozimento, podendo ser utilizado em molhos ou preparações de sopas que precisam ser cozidos por mais tempo (Hasmadi *et al.*, 2021; Pires *et al.*, 2021).

Os amidos de pupunha, inclusive de APA, possuem baixo teor de amilose, e por conseguinte poucas regiões amorfas, demandando mais energia para iniciar a gelatinização do amido, justificando a alta temperatura inicial da pasta (Pires *et al.*, 2021). O valor mais alto de temperatura de pico também é influenciado por fatores como: a distribuição do comprimento da cadeia ramificada da amilopectina, o grau de polimerização da amilopectina, e a presença de derivados monoéster de fosfato e lipídios (Klein *et al.*, 2013).

A quebra de viscosidade (VQ) e viscosidade final (VF) do amido de pupunha albina foram 50,66 e 1014 cP, respectivamente. Esses resultados foram inferiores ao publicado para amido de pupunha vermelha (VQ:103.50 cP; VF: 1364.5 cP) (Felisberto *et al.*, 2020), e banana verde (VQ: 2.421,3 e VF: 3.985 cP) (Fontes *et al.*, 2017). A viscosidade de quebra ocorre durante a fase de resfriamento, onde há uma diminuição da viscosidade com dissociação molecular e efeitos de cisalhamento. Ao continuar o resfriamento, a viscosidade aumenta novamente até um valor máximo, devido à reassociação molecular (Corke *et al.*, 1997). Valores de VQ mais baixos indicam viscosidade mais estável ou maior estabilidade térmica da pasta. O amido de pupunha albina apresenta valores baixos de viscosidades máxima e final, podendo ser aplicado na indústria de alimentos (formulação de produtos de panificação) e de matérias (enchimento em polímeros naturais, têxteis e papel) (Pires *et al.*, 2021).

O valor de retrogradação (R) surge do reposicionamento de moléculas de amilose que percolaram dos grânulos de amido inchados durante o resfriamento (Remya; Jyothi; Sreekumar,

2018). A retrogradação do amido de pupunha albina (143,33 cP) é superior ao relatado por Felisberto *et al.* (2020) (75 cp) e Pires *et al.* (2021) (zero). O APA pode ter apresentado valor superior influenciado pelo teor alto de proteína e de íons (como Mg). Conforme Lian *et al.* (2014) nem todas as proteínas podem diminuir a retrogradação do amido, mas a presença de frações de albumina, globulina e gliadina podem aumentar esse fenômeno do amido. Enquanto Chang *et al.* (2021) explica que alguns íons quando adicionados poderiam facilitar o rearranjo das moléculas de amido, levando a uma taxa mais rápida do processo de retrogradação. Ainda assim, o amido estudado possui maior concentração de amilopectina e lipídios, permitindo produzir géis macios e filmes fracos pertinente à indústria de alimentos (Maia *et al.*, 1999; Felisberto *et al.*, 2020).

5.7 Propriedades tecnológicas do amido

5.6.1 Capacidade de absorção de água (CAA) e óleo (CAO)

A capacidade de absorção de água corresponde à quantidade de água que o grânulo de amido é capaz de absorver, enquanto a capacidade de absorção de óleo está relacionada principalmente ao aprisionamento físico do óleo dentro da estrutura do amido. A Tabela 6 apresenta CAA e CAO do amido da pupunha albina em temperatura ambiente (25°C).

Tabela 6 - Valores de CAA e CAO do amido da pupunha albina

Propriedades	APA
CAA (g/g)	2,19 ± 0,57
CAO (g/g)	1,79 ± 0,49

O amido da pupunha albina obteve capacidade de absorção de água superior à de óleo. As capacidades observadas no APA, foram superiores ao amido convencional de milho proteico (CAA: 1,85 g/g e CAO:1,45 g/g) (Awolu *et al.*, 2020) e amidos não convencionais de banana (CAA:1,19 g/g e CAO:1,18 g/g) (Fontes *et al.*, 2017) e castanha (*Castanea mollissima*) (CAA: 1,05 g/g e CAO: 1.23g/g) (Wang *et al.*, 2020). O APA possui menos região amorfa nos grânulos, por ser rico em amilopectina, que reduz o número de locais de ligação disponíveis para água e óleo no grânulo de amido (Lawal, 2004). No entanto, possui maior teor de proteínas (aminoácidos polares e aminoácidos hidrofóbicos) que têm afinidade pelas moléculas de água e lipídios (Ghavidel; Prakash, 2006). A amilopectina quando tem dupla hélice deformada também pode se combinar com moléculas de óleo (trilinolenina) (Chen *et al.*, 2020).

Um alto CAA e CAO, como percebido no APA é uma característica desejável em um amido para ser usado como espessante e estabilizador em fluidos e emulsões (Rosicka-

Kaczmarek *et al.*, 2018). Além disso, carboidratos com alto índice de absorção de água pode ser utilizados para retardar o endurecimento e controlar a umidade, bem como a formação de cristais de gelo, aumentando a estabilidade dos alimentos (Andrade-Mahecha; Tapia-Blácido; Menegalli, 2012). Por esta razão, o amido de pupunha albina pode representar uma alternativa para esta aplicação.

5.6.2 Solubilidade e poder de intumescimento em função da temperatura

O poder de intumescimento e a solubilidade do amido estão associados à quebra de ligações químicas e lixiviação do amido nativo quando aquecido a temperaturas acima da gelatinização dos grânulos, e essas medidas são relevantes em diversas aplicações. As Figuras 11 e 12 apresentam os gráficos de solubilidade e intumescimento em aplicação de diferentes temperaturas no amido da pupunha albina.

Figura 11- Perfil de solubilidade para amido nativo da pupunha albina

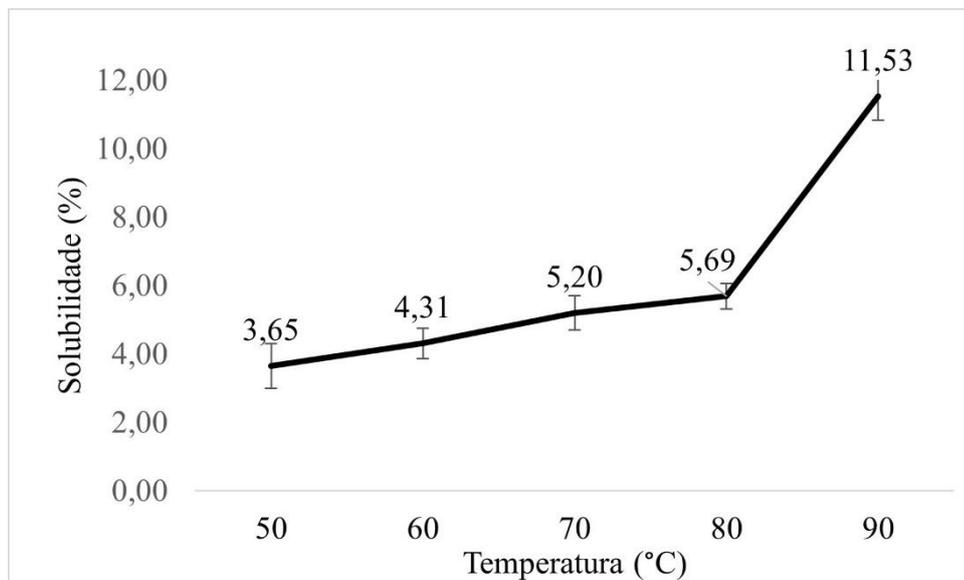
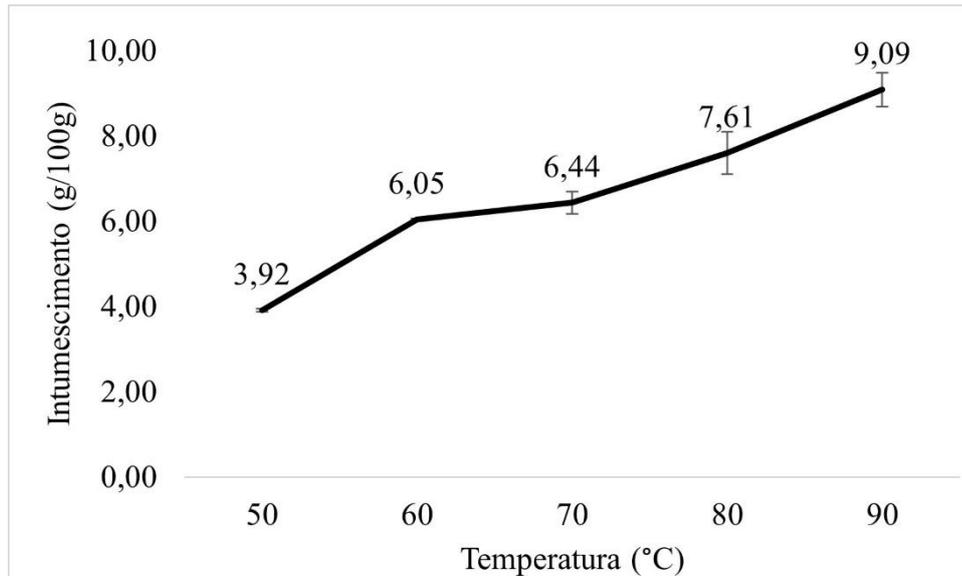


Figura 12 - Perfil de intumescimento para amido nativo da pupunha albina



A solubilidade e o poder de intumescimento do amido estudado estão diretamente relacionados com o aumento da temperatura. A solubilidade do amido de pupunha albina foi aumentando gradativamente no intervalo de 50 a 80°C; e ao chegar a 90 °C ocorreu um pico de solubilidade, sendo importante destacar que grande parte dos grânulos já está gelatinizada ou inchado nesta faixa de temperatura, já que sugere o início da formação da pasta (93,1 °C). O amido da pupunha albina apresentou maior solubilidade pois quando aquecido acima da temperatura de gelatinização a estrutura cristalina é rompida devido ao relaxamento das pontes de hidrogênio e assim, as moléculas de água interagem com os grupos hidroxila de amilose e amilopectina causando um aumento do tamanho dos grânulos devido ao inchaço, com uma consequente solubilização parcial (Hoover, 2001).

Além disso, esse amido estudado é constituído principalmente de amilopectina e tem alto grau de cristalinidade, enquanto Tessema e Admassu (2021) apresentaram um valor mais elevado de solubilidade do amido de batata entre 95°C (22,5%). O amido de pupunha macrocarpa, extração aquosa, apresentados por Pires *et al.* (2021) teve menores índices de solubilização em todas as temperaturas, pois contêm menor teor de amilose, assim como o APA, e esse comportamento se deve à diferença na proporção de amilose e amilopectina no grânulo de amido.

No gráfico de intumescimento (Figura 12) do amido da pupunha albina percebe-se que durante o intervalo de 50 a 60 °C, os grânulos de amido incharam o dobro, mantendo próxima até 80°C; e o efeito intensificou à medida que a temperatura continuou subindo para 90 °C. O amido estudado apresentou menor poder de intumescimento em relação ao amido de mesocarpa de pupunha (Pires *et al.*, 2021), amido de sementes de abacate (19-20% a 90 °C) (CHEL

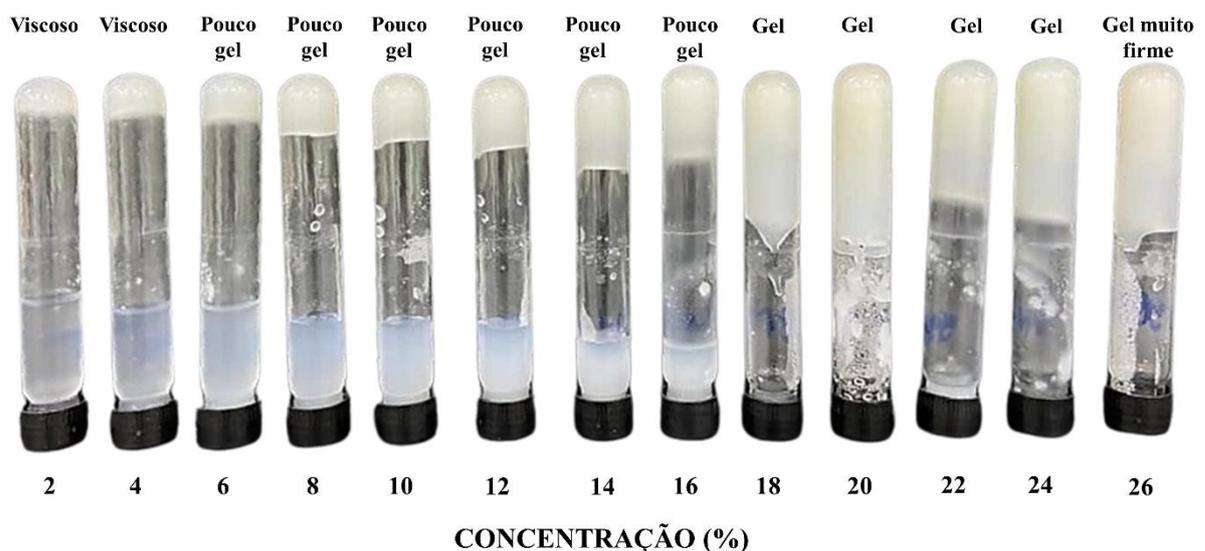
Guerrero *et al.*, 2016) e amido convencional de milho (20,30% a 95 °C) (Lin *et al.*, 2016). Assim, o APA é da variedade de pupunha que apresentou os grânulos do amido menores, com maior valor de cristalinidade e teor alto de amilopectina que são menos rígidos, o que reduz a solubilidade e indica comportamento de lixiviação durante a gelatinização (KUMAR *et al.*, 2018; Sandhya Rani; Bhattacharaya, 1989; Rodrigues *et al.*, 2020).

Para produtos alimentícios, isso significa que o amido nativo de pupunha albina deve ser utilizado em processos que requerem temperaturas mais elevadas, acima de 90°C, para que absorva mais água e fique mais inchado, já que é uma das condições para que ocorra a gelatinização (Alcázar-Alay; Meireles, 2015; Sjöo; Nilsson, 2018).

5.6.3 Estudo de gelificação

Saber a concentração mínima de formação de gel é essencial para controlar adequadamente a aplicação do amido, quanto menor concentração de formação de gel melhor a capacidade de gelificação. Assim, pode ser viável para indústrias que necessitem dessa característica, uma vez que seria utilizado menos amido para obtenção do gel (Silva *et al.*, 2021). A Figura 13 mostra os resultados obtidos no estudo da capacidade de gelificação do amido de pupunha albina.

Figura 13 - Estudo da capacidade de geleificação do amido nativo de pupunha albina



Os resultados mostraram que o APA apresentou característica líquido-viscosa na menor concentração (2%). Na concentração de 4%, a viscosidade tornou-se mais intensa. Na proporção de 6 a 16 %, iniciou a formação de um gel fino e opaco. Já na concentração de 18% o amido apresenta formação de estado gelificante, o que determina esse percentual como a

concentração mínima de gelificação. Na concentração de 24% o amido mostrou-se totalmente estável, formando um gel muito firme.

A concentração mínima da formação de gel entre 4% (inhame branco), 6% (banana) e 10% (semente de alpiste) podem ser encontrados em estudos com os amidos extraídos de fontes não convencionais (Silva *et al.*, 2021; Fontes *et al.*, 2017; Batista *et al.*, 2020). O teor alto de amilopectina nos grânulos do APA explicaria a geleificação somente em concentrações maiores, visto que, para formação de gel é necessário inchar e hidratar os grânulos de amido, e isso acontece predominantemente na região amorfa dos amidos, ou seja, em grânulos contendo altos teores de amilose (Adebowale; Afolabi; Olu-Owolabi, 2005; Azevêdo *et al.*, 2018).

5.6.4 Sinérese

A avaliação da estabilidade da refrigeração e congelamento-descongelamento consiste em verificar a expulsão da água (sinérese) contida nos géis como consequência da reorganização das moléculas de amido (Ovando-Martínez *et al.*, 2011). Os resultados de estabilidade no amido estudado nas condições de refrigeração e congelamento são apresentados nas Figuras 14 e 15.

Figura 14 – Gráfico de sinérese do amido nativo de pupunha albina em refrigeração (4°C)

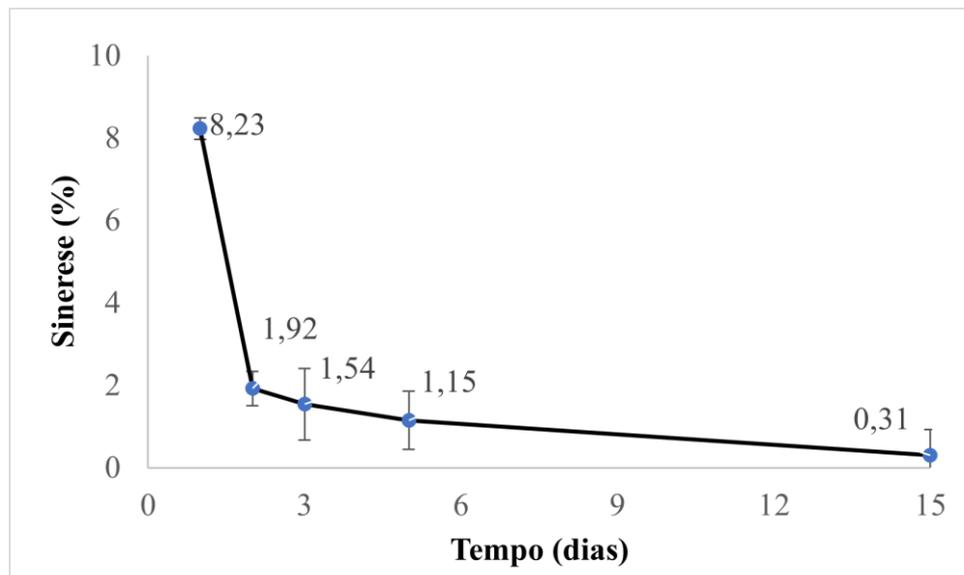
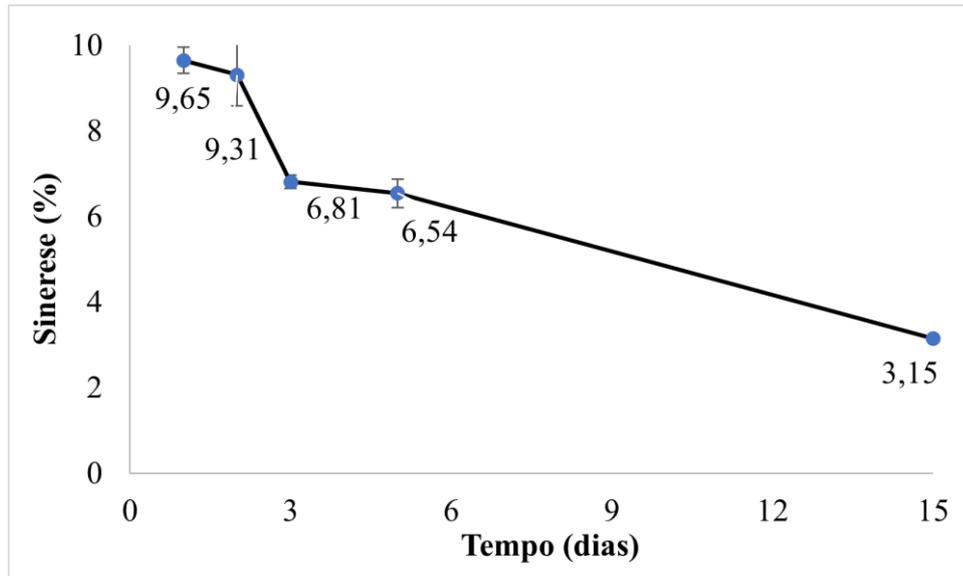


Figura 15 – Gráfico de sinérese do amido nativo de pupunha albina em congelamento (-18°C) e ciclos de descongelamento.



Observou-se que o gel de amido apresentou sinérese após 1 dia (primeiro ciclo) de armazenamento refrigerado de 8,23% (Figura 14). Entretanto, após o segundo ciclo, o percentual de sinérese diminuiu consideravelmente (1,92%), e estabilizando a perda de água até o quinto ciclo (15 dias), totalizando a sinérese em 13,15%. Os amidos de outras fontes apresentaram valores de sinérese superiores ao deste estudo, como: amido de aveia (15,76% no quinto dia), amido de milho (13,6% no decimo dia) e fécula de batata (cerca de 7% no decimo dia) (Kumar *et al.*, 2018; Przetaczek-Roznowska, 2017).

O APA seria adequado para uso em alimentos refrigerados, pois baixos resultados de sinérese após certo tempo de estocagem podem indicar que o amido é menos sujeito à degradação, visto que, uma baixa tendência à retrogradar é típica de amidos ricos em amilopectina devido à menor facilidade dessa molécula em se reassociar com o resfriamento da pasta (Macena *et al.*, 2020; Muccillo, 2009; Zhang; Tong; Ren, 2012).

No primeiro ciclo de degelo (primeiro dia), o amido de pupunha albina teve valor de sinérese de 9,65%, no terceiro e quinto ciclo de degelo (3 e 15 dias) houve um decréscimo em sinérese de 6,81 e 3,15%, respectivamente (Figura 15). Após cinco ciclos houve uma perda de água total de 35,46%. O APA apresentou valor inferior de sinérese em comparação aos amidos de outras fontes, ao final do quinto ciclo (8 dias), como: amido de caroço de manga (68,6%) e amidos de mandioca, inhame e semente de jaca (inferior a 52 %) (Rodrigues *et al.*, 2020).

O APA com o avanço do período de armazenamento de congelamento (-20 °C) apresentou menor sinérese no decorrer do tempo, enquanto amidos com alto teor de amilose foram inversamente proporcionais. Os grânulos do amido de pupunha albina são ricos em

amilopectina podendo estar associado com o baixo poder de inchamento e crescimento de cristais de gelo, e por conseguinte a maior capacidade de resistir a ciclos de congelamento e descongelamento (Thoufeek Ahamed *et al.*, 1996; Doan *et al.*, 2019).

Essas características de sinérese (refrigeração e congelamento) podem estar relacionadas às diferenças na qualidade dos cristais de amilopectina que sofrem recristalização (Freschi *et al.*, 2014). A perda de água está associada à reorganização das moléculas após o resfriamento e armazenamento, o que pode afetar as propriedades funcionais do amido em termos de viscosidade e comportamento do gel (Charles *et al.*, 2016; Kumar *et al.*, 2018), e não é considerado benéfico para a indústria de alimentos, pois pode afetar a qualidade e a vida útil dos alimentos. Assim, os teores de água liberados pelo gel de amido obtidos neste estudo podem indicar a possibilidade de aplicação de amido em produtos refrigerados e congelados onde a sinérese é indesejável (molhos e caldos enlatados) (Fontes *et al.*, 2017).

6 CONCLUSÃO

O amido isolado da polpa de pupunha albina pelo método aquoso apresentou um bom rendimento, coloração branca levemente amarelada e com características físico-químicas que estipularam uma boa qualidade e conservação deste produto, conforme as legislações vigentes no Brasil. Além disso, evidenciou-se a bioacumulação de minerais essenciais (Na, Ca, K, Mn, Mg e Fe) para funcionalidade do corpo humano e que afetam as propriedades funcionais deste amido, como o fósforo. O teor total de amido indica a pureza da amostra após o isolamento e atende as especificações exigidas pela legislação brasileira para amidos comerciais. Além disso, o APA é classificado como amido de baixo teor de amilose, possuindo aplicações variadas nas indústrias alimentícia, têxtil, farmacêutica e cosmética.

O APA apresentou em sua morfologia grânulos classificados como pequenos, predominantemente arredondados, ovais e convexos, com partículas regulares, superfícies lisas e algumas fissuras. Os padrões espectrais do amido estudado apresentaram unidades formadoras das estruturas de amidos (glicose e ligações glicosídicas), rupturas dos amiloplastos e frações residuais de celulose, hemiceluloses e ácidos graxos. Amido de pupunha albina possuem grânulos de amido de pequeno tamanho com cristalino tipo A e valor regular de cristalinidade. Os grânulos de APA foram mais resistentes e menos suscetíveis à quebra com aquecimento prolongado e o aumento de temperatura.

As características tecnológicas e funcionais do amido de pupunha albina apresentaram elevada temperatura de gelatinização, sem a necessidade de se fazer alterações químicas ou físicas, valores baixos de viscosidades máxima e final, equivalente valor de CAA e CAO, uma boa capacidade gelificante e pouca perda de água na refrigeração e congelamento do gel. Podendo ser aplicado na indústria de alimentos como formulação de produtos de panificação e em produtos perecíveis que possuem necessidade de armazenamento sob refrigeração. Portanto, o aproveitamento do fruto da pupunha albina para elaboração de amido apontou em seus resultados potencialmente aplicáveis às indústrias alimentícia, têxtil, farmacêutica e cosmética, além de promover a valorização local dos alimentos e pequenas comunidades agrícolas amazônicas, incremento da produção industrial no design de novos produtos.

7 REFERÊNCIAS

AACCI. American Association of Cereal Chemists International. **Approved Methods of Analysis**. 11. ed. Saint Paul: AACC, 2010.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 20th ed. Maryland (DC): AOAC, 2016.

ABRAMOFF, M. D.; MAGALHÃES, P. J.; RAM, S. J. Image processing with Image J. **Biophotonics International**, v.11, n.7, p.36–42. 2004. Disponível em: <https://imagescience.org/meijering/publications/download/bio2004.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2022.

ADEBOWALE, K.O.; AFOLABI, T.A.; OLU-OWOLABI, B.I. Hydrothermal treatments of Finger millet (*Eleusine coracana*). **Starch**, v.19, n.6, p.974–983, 2005. Doi:10.1016/j.foodhyd.2004.12.007

AGAMA-ACEVEDO, E. *et al.* Starch digestibility and glycemic index of cookies partially substituted with unripe banana flour. **LWT-Food Science and Technology**, v. 46, n. 1, p. 177- 182, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.10.010>

AGAMA-ACEVEDO, E.; FLORES-SILVA, P. C.; BELLO-PEREZ, L. A. Cereal starch production for food applications. In: CLERICI, M. T. P. S.; SCHMIELE, M. **Starches for food application: Chemical, technological and health properties**. United States: Elsevier/Academic Press, cap. 3, p. 71–102, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809440-2.00003-4>

ALCÁZAR-ALAY, S.C.; MEIRELES, M.A.A. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. **Food Science and Technology**, v.35, p.215-236, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6749>.

ALDANA, M.D.L. *et al.* Isolation and Characterization of Mexican Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus* L) Seeds Starch in Two Mature Stages. **Starch-Stärke**, v. 63, p. 364–372, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1002/star.201100008>

ANDRADE-MAHECHA, M. M.; TAPIA-BLÁCIDO, D. R.; MENEGALLI, F.C. Physical-chemical, thermal, and functional properties of achira (*Canna indica* L.) flour and starch from different geographical origin. **Starch/Staerke**, v. 64, p. 348–358, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1002/star.201100149>.

AROCAS, A.; SANZ, T.; FISZMAN, S. M. Influence of corn starch type in the rheological properties of a white sauce after heating and freezing. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 3, p. 901-907, 2009. Doi:10.1016/j.foodhyd.2009.08.001.

AWOLU, O.O.; ODORO, J.W.; ADELOYE, J.B.; LAWAL, O.M. Physicochemical evaluation and Fourier transform infrared spectroscopy characterization of quality protein maize starch subjected to different modifications. **J. Food Sci.**, v. 85, p. 3052–3060, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15391>

AZEVEDO, L. C. *et al.* Properties of starch and its applications in biopolymers. **Cadernos de Prospecção**, v. 11, p. 351–358, 2018.

BAE, J. E. *et al.* Impact of starch granule-associated channel protein on characteristic of and λ -carrageenan entrapment within wheat starch granules. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.174, p.440–448, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.204>

BALET, S. *et al.* Rapid Visco Analyser (RVA) as a tool for measuring starch-related physicochemical properties in cereals: A review. **Food Anal. Method**, v. 12, p. 2344–2360, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01581-w>

BARBOSA, J. V. *et al.* Effect of peroxide oxidation on the expansion of potato starch foam. **Industrial Crops and Products**, v. 137, p. 428–435, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.045>

BATISTA, R. D. *et al.* Physicochemical, functional and rheological properties of fermented and non-fermented starch from canary seed (*Phalaris canariensis*). **Food Hydrocolloids**, v. 99, 105346, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105346>

BEUCHAT, L. B. Functional and electro phonetic characteristics of succinylated peanut flour proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.25, n.2, p.258-261,1977. Doi: <https://doi.org/10.1021/jf60210a044>

BILIADERIS, C. G.; JULIANO, B. O. Thermal and mechanical properties of concentrated rice starch gels of varying composition. **Food Chemistry**, v. 48, v.3, p. 243–250, 1993. Doi:10.1016/0308-8146(93)90134-2

BILIADERIS, C. *et al.* Thermal behavior of amylose-lipid complexes. **Carbohydr. Polym.**, v. 5, n. 5, p. 367-389, 1985. Doi: [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(85\)90044-X](https://doi.org/10.1016/0144-8617(85)90044-X)

BJÖRCK, I. *et al.* Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 59 (suppl), p. 699S-705S, 1994. Doi: <https://doi.org/10.1093/ajcn/59.3.699s>

BLENNOW, A. *et al.* The distribution of covalently bound phosphate in the starch granule in relation to starch crystallinity. **International Journal of Biological Macromolecules**, Maryland Heights, v. 27, n. 3, p. 211-218. 2000. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0141-8130\(00\)00121-5](https://doi.org/10.1016/S0141-8130(00)00121-5)

BOU RACHED, L. *et al.* Evaluation of the flour and starch from white and purple varieties of mapuey (*Dioscorea trifida*). **Arch Latinoam Nutr**, v. 56, n. 4, p. 375–383, 2006. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17425184/>. Acesso em: 12 jul. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC n. 234, de 19 de agosto de 2002. Regulamento técnico sobre aditivos utilizados segundo as boas práticas de fabricação e suas funções.** Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 21 de agosto de 2002.

_____. **Instrução Normativa - IN nº 160, de 1º de julho de 2022: Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos.** Diário Oficial da União, Brasília, 04. jan. 2024. Seção I, p. 33

_____. Ministério da Saúde. **Instrução Normativa – IN nº 75, de 08 de outubro de 2020. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados.** Diário Oficial da União, 2020.

_____. **Resolução RDC nº711, de 01 de julho de 2022. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 01 de julho de 2022.

_____. **Resolução n.º 12/78 da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos.** Aprova as normas técnicas especiais do Estado de São Paulo, revistas pela CNNPA, relativas a alimentos (e bebidas). Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, jul. 1978. http://www.anvisa.gov.br/anvisa/legis/resol/12_78_amidos.htm

BRITTON, G. Carotenoid research: History and new perspectives for chemistry in biological systems. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Molecular and Cell Biology of Lipids**, v. 1865, n. 11, p.158-699, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2020.158699>

CARPINÉ, D. *et al.* Valorization of *Euterpe edulis* Mart. agroindustrial residues (pomace and seeds) as sources of unconventional starch and bioactive compounds. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 1, p. 96-104, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14978>

CARVALHO, A.V. *et al.* Technological characterization of third generation extruded from cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth.) flour. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 995–1003, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000400028>

CASTRO, D. S. de. *et al.* Isolation and characterization of starch from pitomba endocarp. **Food Research International**, v.124, p.181-187, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.032>

CEREDA, M. P. *et al.* Biotecnologia industrial. In: **Modificação de fécula por fermentação.** São Paulo: Edgard Blücher. 2001. p. 413-460, 2001.

CHANG, Q. *et al.* A comprehensive review of the factors influencing the formation of retrograded starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.186, p.163–173, 2021. Doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.07.050

CHARLES, A.L. *et al.* Functional properties of arrowroot starch in cassava and sweet potato composite starches. **Food Hydrocolloids**, v.53, p.187-191, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.024>.

CHAVAN, P.; *et al.* Impact on various properties of native starch after synthesis of starch nanoparticles: A review. **Food Chemistry** v.364, 2021, 130416. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130416>.

- CHEETHAM, N. W.; TAO, L. Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: An X-ray powder diffraction study. **Carbohydrate Polymers**, v. 36, n. 4, p. 277–284, 1998. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(98\)00007-1](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(98)00007-1)
- CHEN, L. P.; YU, L.; CHEN, X. L. Morphology and microstructure of maize starches with different amylose/amylopectin content. **Starch-Stärke**, v. 58, n. 12, p. 611-615, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1002/star.200500529>
- CHEN, Z. G.; HUANG, J. R.; PU, H. Y.; YANG, Q.; FANG, C. L.; SHU, G. W. Analysis of the complexation process between starch molecules and trilinolenin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.165, p.44–49, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.139>
- CHIPÓN, J. *et al.* Rheological and Thermal Study about the Gelatinization of Different Starches (Potato, Wheat and Waxy) in Blend with Cellulose Nanocrystals. **Polymers**, v.14 (1560), 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/polym14081560>
- CHISTÉ, R. C.; FERNANDES, E. Bioactive compounds from Amazonian fruits and their antioxidant properties. **Natural Bioactive Compounds from Fruits and Vegetables as Health Promoters–Part I**. Arab Emirates: Bentham Science Publishers, p. 244-264, 2016. Doi: <https://doi.org/10.2174/9781681082394116010011>
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental**: ficha de informação toxicológica - Alumínio. São Paulo: CETESB, 2017, p. 3. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/>
- _____. **Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental**: ficha de informação toxicológica - Bário. São Paulo: CETESB, 2022, p. 2. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/>
- CORKE, H.; WU, H.; YUE, S.; SUN, H. Developing specialty starches from new crops: a case study using grain amaranth. In: CAMPBELL, G. M.; WEBB, C.; MCKEE, S. L. (ed.). *Cereals: novel uses and processes*. New York: Plenum Press, p. 95-100, 1997. Doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2675-6_12
- CORNELIUS, J. P. *et al.* Phenotypic correlations and site effects in a peruvian landrace of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth). **Euphytica**, v. 173, p.173–183, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10681-009-0073-7>
- CORREIA, P. R.; BEIRÉ-DA-COSTA, M, L. Starch isolation from chestnut and acorn flours through alkaline and enzymatic methods. **Food and bioproducts processing**, v. 90, n. 2 p. 309- 316, apr, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.06.005>
- COSTA, R. D. S. da; *et al.* Development of dehydrated products from peach palm–tucupi blends with edible film characteristics using refractive window. **Journal of food science and technology**, v. 56, n. 2, p. 560-570, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3454-x>
- COSTA; R. D. S.; RODRIGUES; A. M. C.; SILVA, L. H. M. The fruit of peach palm (*Bactris gasipaes*) and its technological potential: an overview. **Food Sci. Technol**, v. 42, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1590/fst.82721>

COZZOLINO, S. M. F.; ROUMELIOTIS, D., S.; EGLINTON, J. Relationships between starch pasting properties, free fatty acids and amylose content in barley. **Food Research International**, v. 51, n. 2, p. 444–449, nov, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.030>

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. 6. ed., - Barueri [SP]: Manole, 2020.

CRAIG, S. A. S. *et al.* Starch paste clarity. **Cereal Chemistry**, v. 66, p. 173–182, 1989.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 945-954, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000003>

DI-MEDEIROS, M. C. B. *et al.* LIÃO, L. M., LELES, M. I. G.; FERNANDES, K. F. Rheological and biochemical properties of Solanum lycocarpum starch. **Carbohydrate Polymers**, v.104, p. 66–72, 2014. Doi:10.1016/j.carbpol.2014.01.023

DOAN, H. X. N. *et al.* Characterization of rice starch gels reinforced with enzymatically-produced resistant starch. **Food Hydrocolloids**, v. 91, p.76-82, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.014>

ELIASSON, A. C. **Starch in food - Structure, function and applications**. New York: Boca Raton, CRC, 2004. 605p.

ELZEY, B.; POLLARD, D.; FAKAYODE, S.O. Determination of adulterated neem and flaxseed oil compositions by FTIR spectroscopy and multivariate regression analysis. **Food Control**, v. 68, p. 303-309, 2016. Doi: 10.1016/j.foodcont.2016.04.008.

EGHAREVBA, H. O. Chemical Properties of Starch and Its Application in the Food Industry. **Chemical Properties of Starch**, 2020. Doi: 10.5772/intechopen.87777

ESPÍN, S. *et al.* Composición química, valor nutricional y usos potenciales de siete especies de raíces y tubérculos andinos. **Acta Científica Ecuatoriana**, v. 7, n. 1, 2001. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Composici%C3%B3n-qu%C3%ADmica%2C-valor-nutricional-y-usos-de-de-Esp%C3%ADn/c5fbde536d84c74beecd1f7a08461f1d53ca0df9>. Acesso em: 18 nov. 2022.

FAN, Y.; PICCHIONI, F. Modification of starch: A review on the application of “green” solvents and controlled functionalization. **Carbohydrate Polymers**, Article 116350, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116350>

FAO/WHO (2002). Human vitamin and mineral requirements. Rome, 2002. Report of a joint FAO/WHO expert consultation Bangkok.

FELISBERTO, M. H. F. *et al.* Characterization of young bamboo culm starch from *Dendrocalamus asper*. **Food Research International**, v.124, p.222-229, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.074>

- FELISBERTO, M. H. F. *et al.* Characterization and technological properties of peach palm (*Bactris gasipaes* var. *gasipaes*) fruit starch. **Food Research International**, v. 136 (109569), 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109569>
- FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. Química de Alimentos de Fennema – 4ª ed. - Editora Artmed, 2010.
- FONTES, S. de M. *et al.* Characterization and study of functional properties of banana starch green variety of Mysore (Musa AAB - Mysore). **Food Science and Technology**, v.37, n.2, p.224–231, 2017. Doi:10.1590/1678-457x.18916
- FRANCO, C. M. L. *et al.* Propriedades do Amido, In: Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, Propriedades Gerais do Amido. Campinas: **Fundação Cargill**, v. 1, 2001. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001255035>. Acesso em: 18 nov. 2022.
- FRANCO, C. M. L. *et al.* Structural and functional characteristics of selected soft wheat starches. **Cereal Chemistry**, v. 79, n. 2, p. 243-248, 2002. Doi: <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2002.79.2.243>
- FRESCHI, J. *et al.* Impact of freezing and thawing processes on wheat and potato starch gel syneresis. **Starch**, v.66, p.208-215, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1002/star.201200294>.
- FUENTES, C. *et al.* Characterization of molecular properties of wheat starch from three different types of breads using asymmetric flow field-flow fractionation (AF4). **Food Chemistry**, v. 298, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125090>
- GHAVIDEL, A.; PRAKASH, J. Effect of germination and dehulling on functional properties of legume flours. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.86, n.8, p.1189–1195, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2460>
- GIOMBELLI, C. *et al.* Valorization of peach palm by-product through subcritical water extraction of soluble sugars and phenolic compounds. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 165, p.1-9, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0896844620302369>. Acesso em: 9 ago. 2022.
- GONÇALVES, E. C. B. de A. **Análise de Alimentos: uma visão química da nutrição**. 2ed. São Paulo: Varela, 2010. 274 p.
- GONZÁLEZ, N. M.; GÓMEZ, P. P.; GARCÍA, M. E. R. Effect of the addition of potassium and magnesium ions on the thermal, pasting, and functional properties of plantain starch (*Musa paradisiaca*), **Int. J. Biol. Macromol.**, v. 124, p.41–49, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.051>.
- GUO, K.; *et al.* Comparison of structural and functional properties of starches from five fruit kernels. **Food Chemistry**, v. 257, p. 75–82, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.004>.
- HASMADI, M. *et al.* Extraction and characterisation of cassava starch cultivated in different locations in Sabah, Malaysia. **Food Research**, v. 5, n. 3, 44 – 52, 2021.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 45, n. 3, p. 253-267, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861700002605>. Acesso em: 8 jun. 2022.

HU, Y. *et al.* Effects of starch and gelatin encapsulated vitamin A on growth performance, immune status and antioxidant capacity in weaned piglets. **Animal Nutrition**, v. 6, n. 2, p. 130-133, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.01.005>

HUNTER LAB. Hunter Associates Laboratory, Reston, Virginia, 2003.

HSIEH, C. F. *et al.* Structure and functional properties of waxy starches. **Food Hydrocolloids**, v. 94, p.238–254, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.026>

HSU, C.; CHEN, W.; WENG, Y.; TSENG, C. **Food Chem.**, v. 83, p. 85-92, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00053-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00053-0)

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 2. ed. São Paulo: IAL, 2008.

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

JAILLAIS, B.; OTTENHOF, M. A.; FARHAT, I. A.; RUTLEDGE, D. N. Outer-product vanalysis (OPA) using PLS regression to study the retrogradation of starch. **Vibrational Spectroscopy**, v. 40, n. 1, p. 10-19, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2005.06.001>

JAYAKODY, L.; HOOVER, R. The effect of lintnerization on cereal starch granules. **Food Research International**, v.7, n. 35, p. 665-680, 2002. Doi: <https://doi.org/10.3390/foods8110558>

JIMÉNEZ, A. *et al.* Edible and Biodegradable Starch Films: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 6, p. 2058-2076, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0835-4>.

JOHN, J. K. Properties of arrowroot starch treated with aqueous HCl at ambient temperature. **Journal of Food Science**, v. 67, p. 10-14, 2002. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb11350.x>

JUAN, G; LUIS, A.; DAVID, B. Isolation and molecular characterization os Makal (*Xanthosoma yucatenensis*) starch. **Starch**, v. 58, p. 300-307, 2006.

JUHÁSZ, R.; SALGÓ, A. Pasting behavior of amylose, amylopectin and their mixtures as determined by RVA curves and first derivatives. **Starch**, v. 60, p. 70–78, 2008. Doi: <https://doi.org/10.1002/star.200700634>

KARMAKAR, R.; BAN, D. K.; GHOSH, U. Comparative study of native and modified starches isolated from conventional and nonconventional sources. **International Food**

Research Journal, v. 21, n. 2, 597, 2014. Disponível em:
[http://www.ifrj.upm.edu.my/21%20\(02\)%202014/24%20IFRJ%2021%20\(02\)%202014%20Karmakar%20614.pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/21%20(02)%202014/24%20IFRJ%2021%20(02)%202014%20Karmakar%20614.pdf). Acesso em: 8 jun. 2022.

KARIM, A. A.; NORZIAH, M. H.; SEOW, C. C. Methods for the study of starch retrogradation. **Food Chemistry**, v. 71, n. 1, p. 9-36, 2000. Doi:
[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00130-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00130-8)

KAUR, M.; SANDHU, S. K.; LIM, S-T. Microstructure, physicochemical properties and in vitro digestibility of starches from different Indian lentil (*Lens culinaris*) cultivars. **Carbohydr. Polym.**, v. 79, n. 2, p. 349-355, 2010. Doi:
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.08.017>

KLEIN, B. *et al.* Effect of single and dual heat–moisture treatments on properties of rice, cassava, and pinhao starches. **Carbohydrate Polymers**, v.98, n.2, p.1578–1584, 2013. doi:10.1016/j.carbpol.2013.07.036

KRINGEL, D. H. *et al.* Fruit wastes as promising sources of starch: extraction, properties, and applications. **Starch**, v. 72, n. 3-4, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1002/star.201900200>

KRINGEL, D. H. *et al.* Methods for the Extraction of Roots, Tubers, Pulses, Pseudocereals, and Other Unconventional Starches Sources: A Review. **Starch**, v. 72, n. 11-12, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1002/star.201900234>

KOKSEL, H. *et al.* Improving effect of lyophilization on functional properties of resistant starch preparations formed by acid hydrolysis and heat treatment. **Journal of Cereal Science**, v.47, p. 275-282, 2008. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.04.007>

KUMAR, L.; BRENNAN, M.; ZHENG, H.; BRENNAN, C. The effects of dairy ingredients on the pasting, textural, rheological, freeze-thaw properties and swelling behaviour of oat starch. **Food Chem.**, v. 245, p. 518-524, 2018. Doi: 10.1016/j.foodchem.2017.10.125.

LAWAL, O. S. Composition, physicochemical properties and retrogradation characteristics of native, oxidised, acetylated and acid-thinned new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*). **Starch.**, v. 87, n.2, p. 205–218, 2004. Doi:10.1016/j.foodchem.2003.11.013

LAWAL, O. S.; ADEBOWALE, K. O. Physicochemical characteristics and thermal properties of chemically modified jack bean (*Canavalia ensiformis*) starch. **Carbohydrate Polymers**, v.60, n.3, p.331-341, 2005. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.01.011>

LEACH, H. W.; McCOWEN, L. D.; SCHOCH, T. J. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, v. 36, n. 6, p. 534-544, 1959. Disponível em:
[https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1307461](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1307461). Acesso em: 15 dez. 2021.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, p. 65-69, 2002. Doi:
<https://doi.org/10.1590/S0101-20612002000100012>

LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; CEREDA, M. P. Processamento da araruta (*Maranta arundinacea*) para extração e caracterização da fração amilácea. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 93, p.151-155, 2002.

LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p. 579-588, 2007.

LELIEVRE, J. Starch gelatinization. **J. Appl. Polym. Sci.**, v. 18, n. 1, p. 293-296, 1974. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000300024>

LI, Z.; WEI, C. Morphology, structure, properties and applications of starch ghost: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 163, p. 2084–2096, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.077>

LIAN, X. *et al.* Effects of protein in wheat flour on retrogradation of wheat starch, **J. Food Sci.**, v.79, n.8, p. 1505-1511, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12525>

LIMA, F. F.; ANDRADE, C. T. Effect of melt-processing and ultrasonic treatment on physical properties of high-amylose maize starch. **Ultrason. Sonochem.**, v.17, n.4, p.637–641, 2010. Doi:10.1016/j.ultsonch.2010.01.001

LIMA, N. B. *et al.* Characterization of commercial edible starch flours. **Polímeros**, v. 22, p. 486–490, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282012005000062>

LIMA, N. B. F. *et al.* Caracterização do amido de araruta orgânica e potencial para aplicação tecnológica em alimentos. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 6, p. 118–126, 2019.

LIN, L. *et al.* Comparative structure of starches from high amylose maize inbred lines and their hybrids. **Food Hydrocolloids**, v. 52, p.19-28, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.06.008>

LINDEBOOM, N.; CHANG, P. R.; TYLER, R. T. Analytical, Biochemical and Physicochemical Aspects of Starch Granule Size, with Emphasis on Small Granule Starches: A Review. **Starch - Stärke**, 56(34), 89–99, 2004. Doi:10.1002/star.200300218

LIPORACCI, J. S. N.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Efeito do método de extração na composição química e nas propriedades funcionais do amido de inhame (*Dioscorea alata*). **Semina: Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 26, n. 3, p. 345, 2005. Doi: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2005v26n3p345>

LLOYD, J. R.; KOSSMANN, J. Starch trek: The search for yield. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1–8, 2019. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01930>

LUNA-GUEVARA, M. L. *et al.* Phenolic compounds: A good choice against chronic degenerative diseases. **In Studies in natural products chemistry**, v. 59, p.79 -108, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64179-3.00003-7>

- MACENA, J. F. F. *et al.* Physico-chemical, morphological and technological properties of the avocado (*Persea americana* Mill. cv. Hass) seed starch. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44:e001420, 2020. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054202044001420>.
- MAIA, L. H. *et al.* Viscosidade de pasta, absorção de água e índice de solubilidade em água dos mingaus desidratados de arroz e soja. **Food Science and Technology**, v. 19, p. 391–396. 1999. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0101-20611999000300017>
- MAKROO, H. A. *et al.* Recovery and characteristics of starches from unconventional sources and their potential applications: A review. **Applied Food Research**, v. 1, n. 1, p. 100001, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100001>
- MAJZOABI, M.; FARAHNAKY, A. Granular cold-water swelling starch; properties, preparation and applications, a review. **Food Hydrocolloids**, v. 111, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106393>
- MANIGLIA, B. C. *et al.* Bioactive films based on babassu mesocarp flour and starch. **Food Hydrocolloids**, v. 70, p. 383–391, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.04.022>
- MANIGLIA, B. C.; TAPIA-BLÁCIDO, D. R. Isolation and characterization of starch from babassu mesocarp. **Food Hydrocolloids**, 55, 47–55, 2016. Doi: [10.1016/j.foodhyd.2015.11.00](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.11.00)
- MARCON, M. J. A.; AVANCINI, S. R. P.; AMANTE, E. R. **Propriedades químicas e tecnológicas do amido de mandioca e do polvilho azedo**. 1. ed. Florianópolis: [s. n.], 2007.
- MARTINS, M.P. *et al.* Application of Cellulose Nanofibrils Isolated from an Agroindustrial Residue of Peach Palm in Cassava Starch Films. **Food Biophysics** v.15, p.323–334, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11483-020-09626-y>
- MARTINS, S.H.F. *et al.* Extraction and characterization of the starch present in the avocado seed (*Persea americana* mill) for future applications. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 8, p.100303, 2022. Doi: [10.1016/j.jafr.2022.100303](https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100303).
- MARTÍNEZ-GIRÓN, J.; FIGUEROA-MOLANO, A.; ORDÓÑEZ-SANTOS, L. Effect of the addition of peach palm (*Bactris gasipaes*) peel flour on the color and sensory properties of cakes. **Food Science and Technology** (Campinas), v. 37, n. 3, p. 418-424, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1590/1678-457X.14916>
- MATOS, K. A. N. *et al.* Peels of tucumã (*Astrocaryum vulgare*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) are by-products classified as very high carotenoid sources. **Food chemistry**, v. 272, p. 216-221, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.053>
- MATSUI, K. N.; LAROTONDA, F. D. S.; PIRES, A. T. N.; LAURINDO, J. B. Moisture Isotherms of Cassava Bagasse Composites Impregnated with Cassava Starch Acetate Solutions. **Alim. Nutr.**, Araraquara, v.14, n.2, p. 137-140, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/49600108_Moisture_isotherms_of_cassava_bagasse_composites_impregnated_with_cassava_starch_acetate_solutions. Acesso em: 15 dez. 2021.

MELO NETO, B. A. *et al.* Chemical composition and functional properties of starch extracted from the pejobaye fruit (*Bactris gasipaes* Kunth.). *Acta Scientiarum. Technology*, v. 37, n. 1, p. 105-110, 2015. Doi: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v37i1.20740>

MELO NETO, B. A. *et al.* Thermal-morphological characterization of starch from peach-palm (*Bactris gasipaes* Kunth) fruit (Pejobaye). **International Journal of Food Properties**, v. 20, n. 5, p. 1007–1015, 2017. Doi: 10.1080/10942912.2016.1192645

MELO NETO, B. A. *et al.* Biodegradable thermoplastic starch of peach palm (*Bactris gasipaes* kunth) fruit: Production and characterisation. **International Journal of Food Properties**, p. 1–12, 2018. Doi:10.1080/10942912.2017.1372472

MWETA, D. E. *et al.* Isolation and physicochemical characterisation of starch from cocoyam (*Colocasia esculenta*) grown in Malawi. **J. Sci. Food Agric.**, v. 90, n. 11, p.1886–1896, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.4029>

MORRISON, W. R. Starch lipids and how they relate to starch granule structure and functionality. **Cereal Food World**, v. 40, p. 437-446. 1995. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Starch-lipids-and-how-they-relate-to-starch-granule-Morrison/f6e51471170aad03b59f2683a5d66de6d3ce5724>. Acesso em: 15 dez. 2021.

MORRISON, W. R. *et al.* Swelling and gelatinization of cereal starches. IV. Some effects of lipid-complexed amylose and free amylose in waxy and normal barley starches. **Cereal Chemistry**, v. 70, p. 385–389, 1993.

MOO-HUCHIN, V. M. *et al.* Huaya (*Melicoccus bijugatus*) seed flour as a new source of starch: physicochemical, morphological, thermal and functional characterization. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v.4, p. 3299–3309, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343266819_Huaya_Melicoccus_bijugatus_seed_flour_as_a_new_source_of_starch_physicochemical_morphological_thermal_and_functional_characterization. Acesso em: 15 dez. 2021.

MORRISON, W. R.; LAIGNELET, B. An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other starches. **Journal of Cereal Science**, v. 1, n. 1, p. 9–20, 1983. doi:10.1016/S0733-5210(83)80004-6

MUNHOZ, M. P.; WEBER, F. H.; CHANG, Y. K. Influência de hidrocolóides na textura de gel de amido de milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 3, p. 403-406, 2004. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612004000300018>

NUNES, L.B.; *et al.* Rendimento de extração e caracterização química e funcional de féculas de mandioca da região do semi-árido baiano. **Aliment. Nutr.**, Araraquara, v. 20, n. 1, p. 129–134, 2009. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DJ2012059248>. Acesso em: 10 ago. 2022.

NERI-NUMA, I. A. *et al.* Small Brazilian wild fruits: Nutrients, bioactive compounds, health-promotion properties and commercial interest. **Food Research International**, v. 103, p. 345-360, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.053>

NOORFARAHZILAH, M. *et al.* Physicochemical properties of tarap (*Artocarpus adoratisimus*) starch. **Food Research**, v. 4, n. 3, p. 602–611, 2019. Doi: [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(3\).337](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(3).337).

ODERINDE, A. A. *et al.* Modification of African breadfruit (*Treculia africana*, Decne) kernel starch: Physicochemical, morphological, pasting, and thermal properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2020. Doi:10.1016/j.ijbiomac.2020.02.293

OVANDO-MARTÍNEZ, M. *et al.* Starch characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in diferente localities. **Carbohydrate Polymers**, v. 85, p. 54–64, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.01.043>

QIN, Y. *et al.* Characterization of starch nanoparticles prepared by nanoprecipitation: Influence of amylose content and starch type. **Industrial Crops & Products**, v. 87, p. 182–190, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.038>

PENG, G. *et al.* Modeling of water sorption isotherm for corn starch. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 2, p. 562-567, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.063>

PERONI, F. H. G. **Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas**. 2003. 118f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2003.

PINTO, C. C.; CAMPELO, P. H.; SOUZA, S. M. Rietveld-based quantitative phase analysis of B-type starch crystals subjected to ultrasound and hydrolysis processes. **Journal of Applied Polymer Science**, 49529, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1002/app.49529>.

PIRES, M. B. *et al.* Peach palm flour (*Bactris gasipaes Kunth*): Potential application in the food industry. **Food Science and Technology**, v.39, n.3, p.1–7, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1590/fst.34617>

PIRES, M. B. *et al.* Impact of extraction methods and genotypes on the properties of starch from peach palm (*Bactris gasipaes Kunth*) fruits. **Food Science and Technology**, v.150 (111983), 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111983>

PRZETACZEK-ROŻNOWSKA, I. Physicochemical properties of starches isolated from pumpkin compared with potato and corn starches. **Int J Biol Macromol.**, v. 101, p. 536–542, 2017. Doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.03.092

RAI, A.; BIKASH, M.; RAVINDRA, R. Supercritical extraction of sunflower oil: A central composite design for extraction variables. **Food Chemistry**, v. 192, p. 647-659, 2016. Doi: 10.1016/j.foodchem.2015.07.070.

RAMÍREZ-BALBOA, G. *et al.* Ultrasound-assisted extraction and characterization of the functional properties of starch from soursop fruits (*Annona muricata* L.). **Acta Scientiarum. Technology**, v. 43, e49052, 2021. Disponível em:

<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/49052>. Acesso em: 15 out. 2022.

RATNAYAKE, W. S.; OTANI, C.; JACKSON, D. S. DSC enthalpic transitions during starch gelatinisation in excess water, dilute sodium chloride and dilute sucrose solutions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.89, n.12, p.2156–2164, 2009. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/188077718.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3709>

REMYA, R.; JYOTHI, A. N.; SREEKUMAR, J. Effect of chemical modification with citric acid on the physicochemical properties and resistant starch formation in different starches. **Carbohydr Polym.**, v. 202, p. 29-38, 2018. Doi: 10.1016/j.carbpol.2018.08.128.

RICKARD, J. E.; ASAOKA, M.; BLANSHARD, J. M. V. The physicochemical properties of cassava starch. **Tropical Science**, v. 31, p. 189-207. 1991. Disponível em: <https://typeset.io/papers/the-physico-chemical-properties-of-cassava-starch-13rcxlby6h>. Acesso em: 15 dez. 2021.

RIBEIRO, G. S. *et al.* Peach palm flour: production, hygroscopic behaviour and application in cookies. **Heliyon**, v.7, n.5 (e07062), 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07062>

RODRIGUES, A. A. M. *et al.* Characterization of starch from different non-traditional sources and its application as coating in ‘Palmer’ mango fruit. **Ciênc. agrotec.**, 44:e011220, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044011220>

ROJAS-GARBANZO, C. *et al.* Identificação e quantificação de carotenóides por HPLC-DAD durante o processamento da farinha de pupunheira (*Bactris gasipaes* HBK). **Alimentos Res. Int.**, v. 44, p. 2377-2384, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.045>.

SANDHYA RANI, M. R.; BHATTACHARAYA, K. R. Rheology of rice-flour paste: effect of variety, concentration, and temperature and time of cooking. **Journal of Texture Studies**, v. 20, p. 127-137, 1989. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1989.tb00427.x>

SANDOVAL, J. L. S. *et al.* Development and Characterization of Edible Films from Chachafruto (*Erythrina edulis* Triana) Starch. **Starch - Stärke**, p. 2000269, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1002/star.202000269>

SANTANA, A. L. *et al.* Starch recovery from turmeric wastes using supercritical technology. **Journal of Food Engineering**, v. 214, p. 266–276, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.07.010>

SANTOS, M. A. S. *et al.* Profile of peach palm fruit consumers in the Metropolitan Region of Belém, Pará, Brazilian Amazon. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 9, n. 1, p. 550–560, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/348465863_Profile_of_peach_palm_fruit_consumer_s_in_the_Metropolitan_Region_of_Belem_Para_Brazilian_Amazon. Acesso em: 15 out. 2022.

SANTOS, O. V. *et al.* Chromatographic profile and bioactive compounds found in the composition of pupunha oil (*Bactris gasipaes* Kunth): implications for human health. **Revista de Nutrição**, v. 33 (e190146), 2020. Doi: <https://doi.org/10.1590/1678-9805202033e190146>

SANTOS, O. V. *et al.* White peach palm (pupunha) a new *Bactris gasipaes* Kunt variety from the Amazon: Nutritional composition, bioactive lipid profile, thermogravimetric and morphological characteristics. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 112 (104684), 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104684>

SAKURAI, Y. C. *et al.* Quality of pasta made of cassava, peach palm and golden linseed flours. **Food Science and Technology** (Campinas), v. 2061, p. 1-7, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1590/fst.09119>

SCHOCH, T. J. Non-carbohydrate substance in the cereal starches. **Journal of American Chemical Society**, v. 64, 2954, 1942.

SILVA, G. M. S. *et al.* Chemical, Morphological, Thermal and Technological Properties of Acetylated White Inhambu Starch. **Journal of Polymers and the Environment**, v.30, p. 246-257, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02190-7>

SING, N. *et al.* Morphological termal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, n. 2, p. 219–231, 2003. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8)

SINGH, N.; SANDHU, K. S.; KAUR, M. Characterization of starches separated from Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. **Journal of Food Engineering**, v.63, n.4, p.441-449, 2004. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.09.003>

SJÖÖ, M.; NILSSON, L. (Ed.). Starch in food: structure, function and applications. 2nd ed., Duxford, United Kingdom, 2018. 916p.

SOARES, S.D. *et al.* Nutritional and Technological Properties of Albino Peach Palm (*Bactris gasipaes*) from the Amazon: Influence of Cooking and Drying. **Foods**, v.12, n. 23, 4344 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/foods12234344>

SOUZA, D. G. *et al.* Characterization of arrowroot starch in different agronomic managements. **Rev. Ceres**, v. 66, n. 5, p. 323-332, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201966050001>

SOYKEABKAEW, N.; THANOMSILP, C.; SUWANTONG, O. A review: Starch-based composite foams. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 78, p. 246–263, nov, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.014>

STEVANATO, N. T. H. *et al.* Effect of canning on the antioxidant activity, fiber content, and mechanical properties of different parts of peach palm heart. **Journal of food processing preservation** e14554, p.1-8, 2020. Doi: <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.14554>

STRECK, N. A. *et al.* Efeito do espaçamento de plantio no crescimento, desenvolvimento e produtividade da mandioca em ambiente subtropical. **Bragantia**, v. 73, p. 407-415, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0159>

TAGLIAPIETRA, B.L. *et al.* Non-conventional starch sources. **Current Opinion in Food Science**, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.11.011>

TANG, M.; NIU, X.; WEN, S. Influences of magnesium ions in water on gelatinization characteristics of starch and its flocculation behaviors on particles. **Physicochemical Problems of Mineral Processing.**, v.60, n.1, 178149, 2024. DOI: 10.37190/ppmp/178149

TESSEMA, A.; ADMASSU, H. Extraction and characterization of starch from anchote (*Coccinia abyssinica*): physico-chemical, functional, morphological and crystalline properties. **Food Measure**, v.15, p. 3096-3110, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00885-y>

TESTER, R. F. Influence of growth conditions on barley starch properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.21, n.1, p. 37–45, 1997. Doi:10.1016/s0141-8130(97)00039-1

THOMAS, D. J.; ATWELL, W. A. **Starches: practical guides for the food industry.** Minnesota: Eagan Press, p. 94, 1999.

THOUFEEK AHAMED, N. *et al.* Physico-chemical and functional properties of *Chenopodium quinona* starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 96, p. 99–103, 1996. Doi: <https://doi.org/10.1002/star.19900420302>

TRONCOSO, O. P.; TORRES, F. G. Non-conventional starch nanoparticles for drug delivery applications. **Medical Devices & Sensors**, p. 1-16, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1002/mds3.10111>

VALENCIA, G. A. *et al.* Physicochemical, morphological, and functional properties of flour and starch from peach palm (*Bactris gasipaes* K.) fruit. **Starch-Stärke**, v. 67, n. 1-2, p. 163-173, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1002/star.201400097>

VANDEPUTTE, G. E.; DELCOUR, J. A. From sucrose to starch granule to starch physical behaviour: a focus on rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 58, n. 3, p. 245-266, 2004. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.06.003>.

VAN SOEST, J. J. G.; Vliegenthart, J. F. G. Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties. **Tibtech**, v.15, n.6, p.208–213, 1997. Doi:10.1016/s0167-7799(97)01021-4

VILPOUX, O. F.; BRITO, V. H.; CEREDA, M. P. Chapter 4 - Starch Extracted From Corms, Roots, Rhizomes, and Tubers for Food Application. *Starches for Food Application. Chemical, Technological and Health Properties*, p. 103-165, 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809440-2.00004-6>.

WANG, M. *et al.* Effect of Ultrasonic and Microwave Dual-Treatment on the Physicochemical Properties of Chestnut Starch. **Polymers (Basel)**, v. 12, n.8, p.1718, 2020. Doi: 10.3390/polym12081718. PMID: 32751822; PMCID: PMC7464923.

WILLIAMS, P. C.; KUZINA, F. D.; HLYNKA, J. A. Rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. **Cereal Chemistry**, Minnesota, v.47, n.4, p.411-420, 1970.

WOOLFE, J. Sweet Potato an Untapped Food Polysaccharide and Their Application. Marcel Dekker, New York, USA 1992.

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. **Food Science and Technology**, v. 27, p. 761–771, 2007.

YU, L.; CHRISTIE, G. Measurement of thermal transitions using differential scanning calorimetry. **Carbohydrate Polymers**, v. 46, n. 2, p. 179-184, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861700003015>. Acesso em: 15 out. 2021.

YU, L.; CHRISTIE, G. Microstructure and mechanical properties of orientated thermoplastic starches. **J. Mater. Sci.**, v. 40, n. 1, p.111-116, 2005. Doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10853-005-5694-1>

YUYAMA, L. K. O. *et al.* Chemical composition of the fruit mesocarp of three peach palm (*Bactris gasipaes*) populations grown in central Amazonia– Brazil. **International Journal of Food Sciences & Nutrition**, v. 54, p. 49–56, 2003. Doi: <https://doi.org/10.1080/096374803/000061994>

Xijun, L. *et al.* Effects of protein in wheat flour on retrogradation of wheat starch. **J. Food Sci.**, v.79, n .8, p.1505-1511, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12525>

ZAIDUL, I. S. M. *et al.* Correlation between the compositional and pasting properties of various potato starches. **Food Chem**, v. 105, n. 1, p. 164–172, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.061>

ZIEBA, T.; SZUMNY, A.; KAPELKO, M. Properties of retrograded and acetylated starch preparations: Part 1. Structure, susceptibility to amylase, and pasting characteristics. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 5, p. 1314–1320, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.12.018>

ZHOU, M.; ROBARDS, K.; GLENNIE HOLMES, M.; HELLIWELL, S. Structure and pasting properties of oat starch. **Cereal Chemistry**, v.75, p.273–281, 1998. Doi: <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.3.273>

ZHU F. Underutilized and unconventional starches: Why should we care? **Trends Food Sci Technol**, v. 100, p. 363–373, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.018>

APÊNDICES E ANEXOS

Anexo A. Depósito do pedido de patente N° BR 10 2023 018445-6.



12/09/2023 870230080648
15:48
29409162301675757

Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2023 018445 6

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 1

Nome ou Razão Social: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: 34621748000123

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Instituição de Ensino e Pesquisa

Endereço: Av. Augusto Correa n. 1 Cidade Universitaria José da Silveira Netto, Guamá

Cidade: Belém

Estado: PA

CEP: 66075-110

País: Brasil

Telefone: (91) 3201-8314

Fax: (91) 3201-8022

Email: spi@ufpa.br