

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
MATERIAIS

**POTENCIAL TECNOLÓGICO DO AMIDO NATIVO DO ARIÁ(*Goepertia allouia*
(Aubl.) Borchs. & S. Suárez)**

DOMINGOS RODRIGUES BARROS

MANAUS

2020

DOMINGOS RODRIGUES BARROS

**POTENCIAL TECNOLÓGICO DO AMIDO NATIVO DO ARIÁ (*Goepertia allouia*
(Aubl.) Borchs. & S. Suárez)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix

Coorientador: Prof. Dr. Valdely Ferreira Kinupp

MANAUS

2020

Ficha Catalográfica

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

Barros, Domingos Rodrigues
B277p Potencial tecnológico do amido nativo do ariá (*Goeppertia
allouia* (Aubl.) Borchs & S. Suárez) / Domingos Rodrigues
Barros. 2020
83 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Pedro Henrique Campelo Félix
Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de
Materiais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Novas fontes de amidos. 2. *Goeppertia allouia*. 3.
Amidos amazônicos. 4. Propriedade de pasta. 5. Difração
de raio - X. I. Félix, Pedro Henrique Campelo II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

Ata de Defesa Pública da dissertação de Mestrado do discente **DOMINGOS RODRIGUES BARROS**, do Curso de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, realizada no dia 03 de fevereiro de 2020.

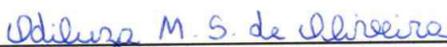
Às 08:00h do dia 03 de fevereiro de 2020 na Sala José Leitão do Bloco de Estatística do Instituto de Ciências Exatas - ICE, no Setor Norte do Campus Universitário da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, foi realizada a Defesa Pública de Dissertação de Mestrado do discente **DOMINGOS RODRIGUES BARROS**, intitulado "*POTENCIAL TECNOLÓGICO DO AMIDO NATIVO DO ARIÁ (Goeppertia allouia (Aubl.) Borchs. & S. Suárez)*", como parte final de seu trabalho para a obtenção de grau de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais. A Banca Examinadora constituiu-se dos seguintes professores: Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix (Orientador e Presidente – PPGCEM), Prof.^a Dr.^a Odiluz Maria Saldanha de Oliveira (IFAM) e Prof. Dr. Bruno Nicolau Paulino (UFAM). Após a apresentação do trabalho, os examinadores fizeram as observações concernentes. Todas as sugestões da Banca Examinadora serão consideradas pelo aluno. Em seguida, a Banca Examinadora reuniu-se e concedeu o conceito Aprovado (aprovado/não-aprovado). Coordenação da Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, em Manaus, 03 de fevereiro de 2020.



Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix (Orientador e Presidente)
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM/UFAM)



Prof. Dr. Bruno Nicolau Paulino
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)



Prof.ª Dr.ª Odiluz Maria Saldanha de Oliveira
Instituto Federal do Amazonas – IFAM (Membro Externo)

AGRADECIMENTOS

A **Deus** acima de tudo, por me dá a vida e a coragem para viver a cada dia, por me colocar nesse caminho e mostrar que a chave é acreditar em si mesmo pois Ele é quem me capacita.

Dedico este trabalho a minha mãe, Joana Rodrigues Barros (*in memoriam*), por todo amor, dedicação e por torcer sempre pelo meu sucesso, à minha família, pelo amor, incentivo e apoio constantes.

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix**, pelos ensinamentos e liberdade durante essa pesquisa, pela amizade e principalmente pelos valiosos conselhos além de acreditar na minha capacidade e me inspirar a novos sonhos;

À **Universidade Federal do Amazonas – UFAM** e a todos os servidores da instituição pela atenção e dedicação para conclusão deste trabalho;

Ao **Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PPGCEM** pela oportunidade concedida;

Ao **Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, campus Manaus Zona Leste, Campus Manaus Centro** por todo apoio e incentivo e a todos os servidores da instituição pela atenção e dedicação para conclusão deste trabalho.

À **Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP** e a todos os servidores do Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos (LABCER), Faculdade de Engenharia de Alimentos por proporcionarem todo o suporte técnico durante a prática no laboratório necessário ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos e colegas de trabalho, **Ana Paula Mileo, Eleano Rodrigues daSilva, Everaldo Zeni, Jerry Nogueira Tavares, José Lourenço, Sheila Cabral, Miriam Cartonilho, Bruna, Flávia Paiva, Alex Gomes, Alexandra, Cristyana, Ana Pontes, Cibele Viana, Emerson Júnior, Viviane Gil da Silva Oliveira** pela ajuda e apoio durante todo o desenvolvimento do trabalho dos momentos de descontração, mas principalmente pela força nos momentos difíceis.

RESUMO

O Ariá é uma planta popularmente conhecida na região amazônica como ariá, lerén, variá, tupinambur ou cocurito. Com grande utilidade na ornamentação, medicina tradicional, e principalmente na alimentação. Sendo item característico desta planta, raízes fibrosas. Além disso, apresentam características que lhe conferem utilidades tais como alimento humano, calafetagem, cosmético, estimulante, medicinal, ornamental, parasiticida, têxtil, tintura/corante. O amido é um polissacarídeo, com propriedades decorrentes da segurança fisiológica, biodegradabilidade e de grande importância comercial. Contemplando nesta planta uma reserva 70-80% de energia calórica mundialmente consumida. Suas aplicações são encontradas em vários produtos alimentares como agentes adesivos, ligantes e formadores de filmes e sendo atuante como gelificante, espessantes, retentores de umidade e retardadores da retrogradação de alguns alimentos. Com isso, o objetivo desta dissertação visa apresentar o potencial tecnológico do amido de ariá. Determinou-se as propriedades viscoelásticas da pasta de amido por viscoamilografia (RVA) com parâmetros de temperatura (°C); tempo de pico (min); pico de viscosidade (cp); quebra de viscosidade (cp); viscosidade final (cp); setback (cp); temperatura final (°C). A análise da variação de entalpia (ΔH) absorvida ou liberada por calorimetria exploratória diferencial (DSC). Análise térmica por termogravimetria (TG). Caracterização da estrutura cristalina dos materiais por difração de raios-x (DRX). Espera-se a caracterização do amido nativo do ariá obter um produto com ampla utilização, resistência e qualidade para atender a demanda do mercado consumidor.

Palavras-chave: novas fontes de amidos, *Goepertia allouia*, amidos amazônicos, propriedade de pasta; difração de raio-X

ABSTRACT

The Ariá is a plant popularly known in the region as ariá, lerén, variá, tupinambur or cocurito. With great utility in ornamentation, traditional medicine, and especially in food. Being a characteristic item of this plant, fibrous roots. In addition, it has characteristics that give it benefits as a human food, caulking, cosmetic, stimulant, medicinal, ornamental, parasitocidal, textile, dye / dye. Starch is a polysaccharide with properties related to physiological safety, biodegradability and of great commercial importance. Contemplating the energy once per hour 70-80% of caloric energy consumed worldwide. Its applications are identified in various types of medicaments as adhesives, binders and film-formers and are used as gelling agents, thickeners, retardant retainers and retarders of retrogradation of some foods. With this, the objective of this dissertation is to present the technological potential of ariá and study of the change through grinding with spheres. The viscoelastic properties of the starch mass were monitored by visco-amylography (RVA) with temperature parameters ($^{\circ}$ C); peak time (min); peak viscosity (cp); viscosity breakdown (cp); final viscosity (cp); indentation (cp); final temperature ($^{\circ}$ C). An analysis of enthalpy change (ΔH) absorbed or released by differential scanning calorimetry (DSC). Analysis by thermogravimetry (TG). Characterization of the structure of the materials by X-ray diffraction (XRD). It is expected in the characterization of the native has a product with greater use, strength and quality to meet the demand of the consumer market.

Keywords: ariá, characterization, starch, x-ray.

SUMÁRIO

1	Sumário		
2	INTRODUÇÃO	9	
3	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	12	
3.1	Objetivo geral	12	
3.2	Objetivos específicos	12	
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13	
4.1	Amidos	13	
4.1.1	Amilose	15	
4.1.2	Amilopectina	16	
4.1.3	Propriedades físico-químicas dos amidos	18	
4.1.4	Propriedades térmicas dos amidos	19	
4.1.5	Propriedades reológicas de amidos	20	
4.1.6	Propriedades morfológicas dos amidos	24	
4.1.7	Propriedades estruturais dos amidos	24	
	4.2	Amido de mandioca	26
4.3	Informações econômicas	29	
4.4	Potencial tecnológico de aplicação de amidos	31	
4.5	Estado da arte: Novas fontes não convencionais de amidos	31	
4.5.1	Amido de bambu (<i>B. tuldoides</i>)	31	
4.5.2	Amido de oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	31	
4.5.3	Amido de semente de urucum (<i>Bixa orellana</i> L.)	31	
4.5.4	Amido da palmeira rabo-de-peixe (<i>Caryotaurens</i>)	32	
4.5.5	Amido de nêspera (<i>Erythrina japonica</i>)	32	
5	MATERIAL E MÉTODOS	33	
5.1	Matéria-prima	33	
5.2	Obtenção do Amido	33	

5.3	Caracterização do amido nativo.....	35
5.4	Análises estatísticas	35
6	REFERÊNCIAS.....	36
7	ARTIGO 1: AMIDO DE ARIÁ: NOVA FONTE DE AMIDO RESISTENTE PARA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS	43

2 INTRODUÇÃO

Na Amazônia brasileira, como nas demais regiões tropicais úmidas do mundo, parcela significativa da população sofre de deficiência nutricional, especialmente, em proteínas e vitaminas. As hortaliças, por constituírem um grupo de plantas rico em substâncias nutritivas variadas, podem contribuir decisivamente para amenizar o desequilíbrio nutricional dessas populações (Cardoso, 1997).

O potencial de plantas nativas indígenas na Amazônia, com relação ao aspecto alimentar e econômico é abundante, sendo a região considerada como a maior reserva mundial de recursos genéticos naturais. Apesar disso, grande parte desse material tende a perder-se dada a elevação das taxas de desmatamento e modificação do hábito alimentar do elemento humano, com a introdução de culturas mais atraentes (Kinupp & Lorenzi, 2014).

Entretanto, na Amazônia, predominam solos de baixa fertilidade, que, junto com as condições climáticas de temperatura e umidade elevadas, compõem ambientes limitantes ao cultivo de grande parte das hortaliças convencionais (Cardoso, 1997). Por outro lado, algumas hortaliças não-convencionais compreendendo espécies nativas e introduzidas, são adaptadas a essas condições ambientais e podem contribuir decisivamente para a melhoria da dieta das populações da região. O ariá possui composição química próxima ou mesmo superior à batata comum, batata doce, cará, inhame, mandioca e mandioquinha (batata baroa) conforme percentuais indicados em literaturas da área, a seguir: tendo 0,3% de gordura, 1,5% de proteínas e 21,4% de carboidratos e 94,3% de calorias (Bueno & Weigel, 1981).

O Ariá é uma planta popularmente conhecida na região amazônica como ariá, lerén, variá, tupinambur ou cocurito. Com grande utilidade na ornamentação, medicina tradicional, e principalmente na alimentação. Sendo item característico desta planta: planta semi-perene, ereta, rizomatosa e cespitosa, alcançando até 1,5m de altura. O caule possui base envolvente formando pseudocaules curtos. As folhas são largamente elípticas, de textura cartácea, glabras, distintamente descolores e marcadas pelas nervuras paralelas, de 30 – 50 cm de comprimento, possuem pecíolos longos e estriados, com pulvino amarelo. As inflorescências são densas, com brácteas verde-se

ápices brancos; as flores são brancas, com um estaminódio e ovário trilobular. A floração é rara, ocorrendo em aproximadamente 1 a 2% das plantas, conseqüentemente, quase não produz frutos e as sementes são inviáveis. As raízes são fibrosas e na pontade algumas delas, pelo acúmulo de amido, inicia-se a formação das raízes tuberosas que, quando prontas, apresentam formato ovoide ou cilíndrico, medindo de 5 a 15 cm de comprimento por 2 a 4cm de diâmetro(Kinupp & Lorenzi,2014).

Dentre as espécies introduzidas, destacam-se, por serem as mais estudadas, o feijão-de-asa (*Psophocarpus tetragonolobus* (L.) DC.), o feijão-de-metro (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. unguiculata cv. gr. sesquipedalis E. Westphal), o feijão-moyashi (*Vigna radiata* (L.) Wilczek), a bertalha (*Basella alba* L. syn. *B. rubra*), os espinafres africanos (*Amaranthus cruentus* L. subsp. *cruentus* (1) Thell e *Celosia argentea* L.) e o inhame (*Colocasia spp.*). Além dessas, algumas hortaliças nativas amazônicas, como o feijão-macuco (*Pachyrrhizus tuberosus* (Lam.) Spreng.), ariá (*Calathea allouia* (Aubl.) Lindl.), cubiu (*Solanum sessiliflorum* Duo.) e taioba (*Xanthosoma spp.*), apresentam extraordinário valor nutritivo, mas são praticamente desconhecidas pelas populações urbanas da região (Cardoso, 1997).

Na planta, o amido é armazenado como corpos intracelulares parcialmente cristalinos (15 a 45% de cristalinidade) denominados grânulos. Por meio de difração de raios X podem-se distinguir três tipos de grânulos que, dependendo de sua forma e estrutura cristalina, denominam-se A, B e C. As cadeias externas relativamente curtas das moléculas de amilopectina (entre 23 e 29 unidades de glicose) favorecem a formação de polimorfos cristalinos tipos A encontrados nos amidos de cereais. Já as cadeias externas maiores das moléculas de amilopectina de tubérculos (entre 30 e 44 unidades de glicose) favorecem a formação de polimorfos do tipo B, encontrados em amido de banana, amidos retrogradados e amidos ricos em amilose. O polimorfo tipo C, composto por moléculas de amilopectina de cadeias com 26 a 29 moléculas de glicose, é considerado intermediário entre os tipos A e B, sendo característico de amido de leguminosas e sementes (Buléon, Véronèse, & Putaux, 2007; Sjöö & Nilsson, 2017; Srichuwong, Sunarti, Mishima, Isono, & Hisamatsu, 2005).

Ariá (*Goepfertia allouia* (Aubl.) Borchs. & S. Suárez) é uma raiz tuberosa que tem escassa exploração científica sobre as suas propriedades nutricionais e

médicas, ainda nos dias atuais o cultivo de ariá é raro. Robert, López Garcés, Laques e Coelho-Ferreira (2012) avaliando a agrobiodiversidade em roçados da agricultura Mebêngôkre-Kayapó, encontraram apenas uma ocorrência de ariá (*kê*) em Moirakarakô, o que diverge de outros trabalhos, décadas atrás, citados pelos mesmos autores, que descrevem que essa planta era cultivada em todas as roças ou na maioria delas, o que dificulta o desenvolvimento da pesquisa para a região de Manaus. considerando a quantidade de áreas que poderiam ser utilizadas para a prática do cultivo dentre as demais razões supracitadas que fomentariam a produção como alternativa de renda e informação científica sobre os benefícios desta cultura para a indústria de alimentos, farmacêutica, têxtil, papel, petrolífera, construção civil e muitas outras.

3 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial tecnológico do amido do Ariá (*Goepertia allouia* (Aubl.) Borchs. & S. Suarez) e comparar suas características físico-químicas e estruturais em relação a outros amidos comerciais batata (*Solanum tuberosum*), milho (*Zea mays* L.) e mandioca (*Manihot esculenta* Crantz).

3.2 Objetivos específicos

- ✓ Avaliar as propriedades físico-químicas dos amidos de ariá, batata, milho e mandioca como teor de amilose, claridade de pasta e análise de textura;
- ✓ Avaliar as propriedades de pasta dos amidos de ariá e comerciais, através da técnica de *Rapid Viscosity Analyzer* (RVA),
- ✓ Estudar o comportamento de gelatinização e retrogradação dos amidos através da Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC),
- ✓ Identificar as características estruturais e a cristalinidade dos amidos através da Difractometria de raios X (DRX)

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Amidos

O amido é um carboidrato encontrado em abundância na natureza, só competindo em quantidade com a celulose. Apresenta-se na forma de grânulos com formato e tamanho dependentes da sua fonte botânica. Devido as suas propriedades físico-químicas e funcionais exclusivas, este carboidrato tem grande importância nos mais diversos setores industriais. Na indústria de alimentos nacional e na internacional o amido é utilizado como ingrediente, podendo, entre outras funções, facilitar o processamento, servir como espessante, fornecer, textura, sólidos em suspensão ou proteger os alimentos durante o processamento. Pode ser utilizado na sua forma natural ou, por intermédio de processamentos adicionais, dar origem a produtos como amidos modificados, xaropes de glicose, maltose ou frutose e maltodextrinas, entre outros (Juhász & Salgó, 2008; Sjöo & Nilsson, 2017; Weber, Collares-Queiroz, & Chang, 2009).

O amido encontra-se amplamente distribuído em diversas espécies vegetais como um carboidrato de reserva, sendo abundante em grãos de cereais (40% a 90% do peso seco), leguminosas (30% a 50% do peso seco), tubérculos (65% a 85% do peso seco) e frutas imaturas ou verdes (40% a 70% do peso seco) (Silva *et al.*, 2008; Weber *et al.*, 2009; Zortéa, Demiate, Praxedes, & Wosiacki, 2011). O amido é um polissacarídeo, composto por cadeias de amilose e amilopectina, que possuem inúmeras aplicações, apresenta algumas propriedades favoráveis que tornam seu uso comercial importante. Os amidos naturais e os modificados apresentam várias aplicações em produtos alimentares como agentes adesivos, ligantes e formadores de filmes, além de atuarem como geleificantes, retentores de umidade, espessantes e retardadores de retrogradação de alguns alimentos (Weber *et al.*, 2009). O amido de milho normal é caracterizado pela formação de um gel consistente, sendo bastante presente em sopas desidratadas e molhos que requerem viscosidade a quente, sendo a qualidade dos grãos um fator que pode interferir nas propriedades do amido.

O amido quando extraído das plantas, sem alteração, denomina-se nativo, tendo ampla aplicação em diversos setores como indústria têxtil, de papel, farmacêutica,

siderúrgica, plástica e alimentícia. A produção de amidos modificados é uma alternativa que vem sendo desenvolvida há algum tempo com o objetivo de superar uma ou mais limitações dos amidos nativos e assim aumentar a utilidade deste polímero nas aplicações industriais (Leonel, Jackey, & Cereda, 1998).

As principais fontes de amido convencionais e comerciais são o milho, a mandioca e a batata. Apesar da ampla aplicação dos amidos dessas fontes nas indústrias, alguns produtos exigem que o amido apresente características que não são encontradas em sua forma nativa, sendo necessário modifica-las. As modificações são alternativas desenvolvidas para superar limitações que os amidos nativos apresentam, utilizadas, principalmente, para modificar as características de cozimento, diminuir a retrogradação, aumentar a estabilidade das pastas durante o congelamento e descongelamento, melhorar os grupamentos hidrofóbicos e introduzir poder emulsificante (Cunha, 2016).

A produção e a utilização do amido encontram-se atualmente em grande crescimento no mercado, incentivando a procura contínua de produtos que atendam às necessidades da indústria e apresentem características específicas. Uma alternativa que tem sido utilizada é o amido modificado, com o intuito de superar as limitações dos amidos naturais e ampliar suas aplicações industriais (Zambrano & Camargo, 2001). Duas macromoléculas formam o grânulo de amido, ou seja, a amilose e a amilopectina. A amilose, macromolécula essencialmente linear, é formada por unidades de D-glicose ligadas em α (1 \rightarrow 4), com menos de 0,1% de ramificação (ligações α (1 \rightarrow 6)). Apresenta grau de polimerização entre 500 e 2000 unidades de glicose e massa molecular média de $1,5 \times 10^5$ a 10^6 . A amilopectina, componente ramificado do amido, é formada por unidades de D-glicose unidas em α (1 \rightarrow 4) e α (1 \rightarrow 6), sendo essa última responsável pela ramificação da molécula. Apresenta grau de polimerização da ordem de 10^4 a 10^5 , massa molecular média de $0,5 \times 10^8$ a 10^9 e comprimento variável das ramificações, sendo comum a presença de 20 a 30 unidades de glicose (Sjöö & Nilsson, 2017; Srichuwong *et al.*, 2005; Thirumdas, Trimukhe, Deshmukh, & Annapure, 2017).

Na indústria de alimentos, os amidos apresentam ampla aplicação como em alimentos instantâneos, panificação, confeitaria, filmes, revestimento, substituto de

gorduras, encapsulamento, estabilizante de emulsões, agente de viscosidade em molhos e sopas e em alimentos congelados (Costa, 2019; Sjö & Nilsson, 2017).

4.1.1 Amilose

A amilose apresenta uma molécula tipicamente linear em sua maioria. É composta normalmente por mais de 1000 unidades de D-glicopiranosídeo interconectadas em uniões α (1 \rightarrow 4), ou seja, em ligações glicosídicas entre o C1 de uma unidade e C4 da próxima unidade. As cadeias de D-glicose com uniões α -glicosídicas pertencentes a amilose tendem a assumir um arranjo em hélice (Bemiller & Whistler, 2009a).

Quimicamente as moléculas de amilose em solução se orientam paralelamente devido à sua linearidade, cercado-se umas nas outras para que se formem ligações de hidrogênio entre hidroxilas de polímeros adjacentes. Devido a isso, a afinidade do polímero pela água é menor, facilitando a formação de filmes mais resistentes, estáveis e flexíveis (Shimazu, Mali, & Grossmann, 2007).

O aumento da proporção de amilose no amido provoca redução no ponto de fusão das regiões cristalinas e na energia para iniciar a gelatinização (T_0). Por possuir cadeias mais curtas exige menores temperaturas (Singh, Raina, Bawa, & Saxena, 2006). Amidos com elevado teor de polímeros de amilose proporcionam produtos com força e resistência superiores e filmes mais homogêneos (Almeida *et al.*, 2010).

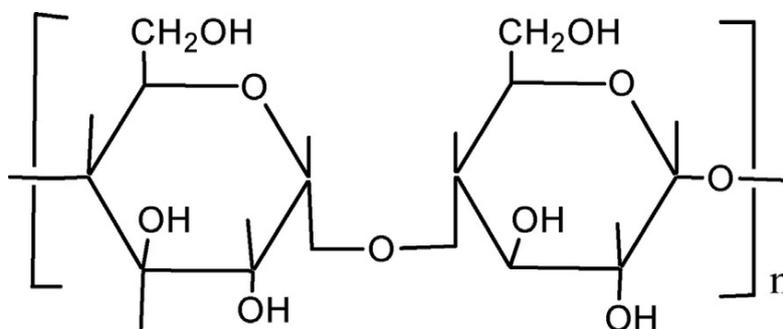


Figura 1 – Estrutura química da amilose.

Fonte: (Hassan, Chatha, Hussain, Zia, & Akhtar, 2018)

Muitas propriedades da amilose podem ser explicadas pela sua habilidade em formar diferentes estruturas moleculares. A maioria das metodologias preconizadas para determinação desse tipo de amido baseia-se no fato de que, em soluções aquosas neutras, a estrutura normal de espiral possui a capacidade de interagir com iodo, produzindo complexo de inclusão helicoidal com aproximadamente seis moléculas de amilose por giro, no qual o iodo se encontra na cavidade central da hélice (Eliasson, 2017).

Além disso, mudanças moleculares tornam possível a formação de complexos com moléculas de lipídios nas regiões superficiais do grânulo, o que inibe a degradação do amido por enzimas como fosforilase, α -amilase e β -amilase. Outros complexos de inclusão helicoidal que podem ser formados com a amilose incluem alguns álcoois e ácidos orgânicos (Eliasson, 2017).

4.1.2 Amilopectina

A amilopectina, representada na Figura 2, forma uma estrutura altamente ramificada, suas ramificações são agrupadas e ocorrem em duplas hélices. Sua cadeia possui apenas terminais redutores, com cadeias formadas por ligações glicosídicas α (1 \rightarrow 4) por ligações α (1 \rightarrow 6). Em relação à massa molecular, a amilopectina possui, em média, massa de 1×10^8 g/mol, sendo muito maior que a molécula de amilose (Zou *et al.*, 2012). A amilopectina está presente em todos os amidos, nas fontes amiláceas mais comuns, e a estrutura ramificada representa cerca de 75 % do amido. A amilopectina é uma molécula extremamente ramificada e uma das maiores moléculas encontradas na natureza, se não a maior. Amidos constituídos inteiramente de amilopectina, são denominados amidos cerosos, por apresentar aparência vítrea ou cerosa (Eliasson, 2017).

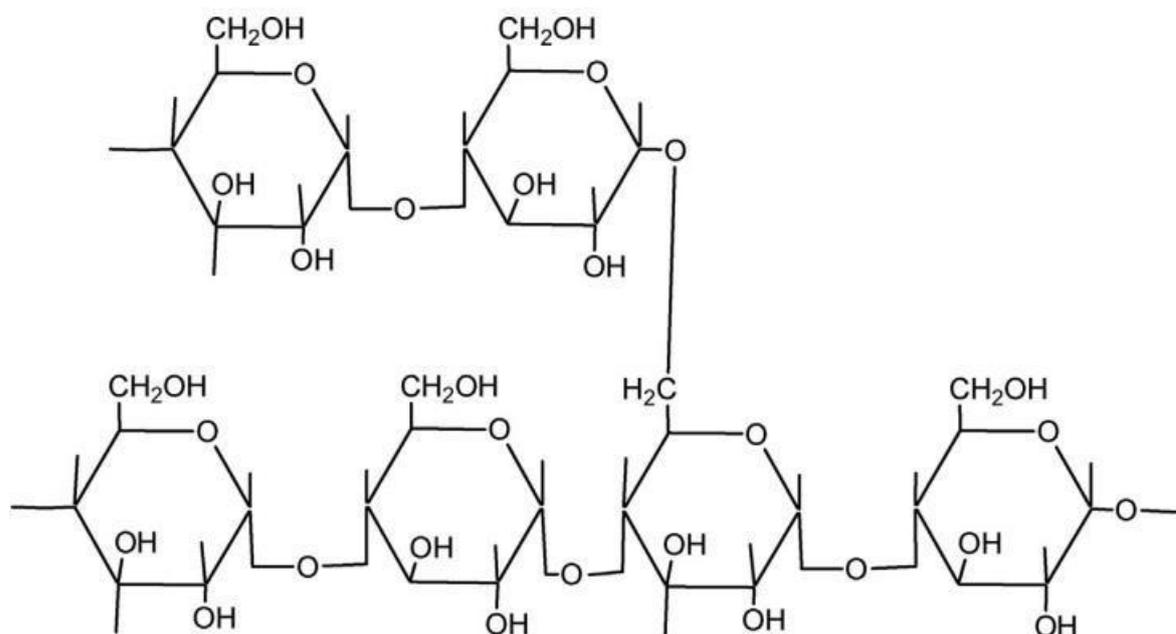


Figura 2 - Estrutura química da amilopectina

Fonte:(Hassan *et al.*, 2018).

As proporções da amilose e da amilopectina na composição do amido variam de acordo com sua fonte de origem. A capacidade e o tipo de formação de gel estão também diretamente relacionados ao teor destas moléculas no amido. De acordo com Chung, Liu, Lee, & Wei (2011), para o amido de arroz, a proporção entre amilose e amilopectina tem influência em diversas características do amido, como: propriedades funcionais (digestibilidade); temperatura de gelatinização, que é maior quanto maior o teor de amilose; e propriedades de pasta. De um modo geral, os amidos provenientes de raízes e tubérculos apresentam menores teores de lipídeos e proteínas, e isso faz com que este tipo de amido apresente um sabor mais neutro. Ao compararmos as opções de amidos provenientes de milho, o amido de mandioca possui um teor intermediário de amilose e, portanto, o gel apresenta uma característica mais suave.

4.1.3 *Propriedades físico-químicas dos amidos*

4.1.3.1 *Gelatinização e Retrogradação*

O amido é praticamente insolúvel em água fria apesar de sofrer certo grau de inchamento. Os sítios de ligação da água são os grupos hidroxilas e os átomos de oxigênio no interior da D-glicose, sendo que a presença dos grupos hidroxilas acarreta uma natureza altamente hidrofílica ao amido. A insolubilidade do grânulo é devida às fortes ligações de hidrogênio que mantêm as cadeias de amido unidas. Entretanto, na presença de água e aquecimento, a água é incorporada na estrutura do grânulo e componentes mais solúveis como a amilose se dissociam e difundem-se para fora do grânulo (Peng, Zhongdong, & Kennedy, 2007). O amido é o espessante mais utilizado na indústria de alimentos. O espessamento de uma dispersão de amido durante o tratamento térmico em excesso de água (>60%) é o resultado de mudanças irreversíveis que ocorrem geralmente a uma temperatura compreendida entre 60°C e 70°C sendo conhecido como gelatinização (Lagarrigue, Alvarez, Cuvelier, & Flick, 2008). A gelatinização pode ser caracterizada por uma endoterma obtida através da calorimetria diferencial de varredura (DSC) pela perda da birrefringência, observada usando-se microscopia de luz polarizada (Cruz de Malta), desaparecimento da cristalinidade, inchamento dos grânulos, lixiviação da amilose na fase contínua e eventual ruptura da estrutura dos grânulos (Garcia, Colonna, Bouchet, & Gallant, 1997). O comportamento da pasta é influenciado pelo tipo de amido, concentração, taxa de cisalhamento, perfil tempo-temperatura, bem como o pH e a presença de outros ingredientes (Bemiller & Whistler, 2009b).

No processo de retrogradação, as moléculas de amido podem reassociar-se e formar estruturas unidas intensamente, altamente estabilizadas pelas pontes de hidrogênio, favorecendo uma estrutura mais ordenada perdendo as regiões reativas (Koksel, Masatcioglu, Kahraman, Ozturk, & Basman, 2008). O amido retrogradado é insolúvel em água fria e torna-se mais resistente ao ataque enzimático. Em função desua estrutura linear, as moléculas de amilose se aproximam mais facilmente e são as principais responsáveis pela ocorrência do fenômeno, enquanto na amilopectina o fenômeno parece ocorrer somente na periferia de sua molécula (Jaillais, Ottenhof, Farhat, & Rutledge, 2006).

4.1.4 Propriedades térmicas dos amidos

4.1.4.1 Calorimetria Exploratória Diferencial(DSC)

A calorimetria exploratória diferencial (DSC) é uma técnica que analisa a variação de entalpia (ΔH) absorvida ou liberada entre uma amostra e um material de referência, em função de uma variação de temperatura na qual ambos são submetidos concomitantemente. A medida é baseada na diferença de fluxo de calor entre a amostra e a referência. A referência mais comumente utilizada é um cadinho vazio de alumínio que pode ser aberto ou fechado. Na técnica de DSC a amostra é sujeita programação de temperatura ou tempo e assim se obtém uma curva do material durante a análise. As variações são mostradas em picos que possibilitam a verificação da temperatura de início, de pico e de conclusão do evento térmico, enquanto que a área em relação à linha base é equivalente ao ΔH do sistema, indicando se o evento térmico foi endotérmico ou exotérmico (Karim, Norziah, & Seow, 2000).

Quando aplicada a amidos, a análise DSC tem como objetivo a obtenção de dados quantitativos de fluxo de calor associados ao evento de gelatinização, sendo ΔH correspondente à entalpia desse evento (Lin & Wang, 2012). A Tabela 1 mostra as características térmicas extraídas de curvas de DSC de alguns amidos.

O amido, quando submetido a determinadas variações de umidade e temperatura, sofre processos de gelatinização e retrogradação. Gelatinização é o processo que ocorre quando o amido é aquecido juntamente com água e transforma-se em uma pasta. Durante o processo há fusão dos cristalitos, acarretando desdobramento das duplas hélices e a quebra das ligações de hidrogênio, tornando a solução mais viscosa. Após a gelatinização, quando a solução é resfriada, ocorre a retrogradação, que é um processo contínuo, onde: inicialmente ocorre uma rápida recristalização das moléculas de amilose, seguido por uma recristalização lenta das moléculas de amilopectina, ocorrendo assim exsudação de água (Wang, Li, Copeland, Niu, & Wang, 2015a).

Tabela 1 – Propriedades térmicas de alguns principais amidos utilizados no mundo.

Amido	$T_{inicial}(^{\circ}\text{C})$	$T_{pico}(^{\circ}\text{C})$	$T_{final}(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H(\text{J.g}^{-1})$	Referência
Arroz negro	68,8	74,2	81,8	7,9	(Chen, 2014)
Batata	60,3	63,3	71,5	18,9	(Zhu, Hua, & Li, 2020)
Batata doce	60,8	64,5	75,2	15,9	(Zhu <i>et al.</i> , 2020)
Milho	66,32	72,01	76,12	13,21	(Banura, Thirumdas, Kaur, Deshmukh, & Annapure, 2018)
Milho ceroso	68,02	75,60	81,83	14,13	(Yang, Lu, Chen, Luo, & Xiao, 2019)
Sorgo branco	67,87	-	-	6,86	(Palavecino, Penci, & Ribotta, 2019)
Sorgo negro	68,19	-	-	8,75	(Palavecino <i>et al.</i> , 2019)
Tapioca	63,13	73,11	79,80	12,85	(Banura <i>et al.</i> , 2018)

4.1.5 Propriedades reológicas de amidos

4.1.5.1 Propriedade de pasta(RVA)

Uma das técnicas para avaliar o perfil de pasta de amidos é a viscoamilografia (RVA), que obtém as propriedades viscoelásticas da pasta. A pasta é formada devido ao processo de hidratação do amido e inchamento do grânulo (retenção de água), os dados da RVA são obtidos através da aplicação de tensões de cisalhamento na amostra, que é uma suspensão de amido em água, causando rompimento permanente na estrutura do material. A análise de RVA é utilizada para estudar o comportamento de pasta do amido, sendo necessário uma pequena quantidade de amostra e um curto período de tempo para a sua realização. O grau de degradação do amido, o inchamento do grânulo e a geleificação da pasta de amido são algumas das informações geradas a partir desta análise (Ryu, Neumann, & Walker, 1993).

Quando o aquecimento começa acontece o inchamento dos grânulos de amido, que proporcionam a elevação na viscosidade da suspensão de amido conforme o tempo e a temperatura de pasta, onde os polímeros como a amilose são lixiviados. O pico de viscosidade é visualizado quando os grânulos de amido estão completamente inchados, mantendo a pasta em 95 °C de temperatura em movimento constante. Os grânulos de amido quebram e ocorre a solubilização dos polímeros que provocam a redução da viscosidade, apontada no gráfico como curva de quebra. O resfriamento do grânulo ocasiona a reorganização da amilose e da amilopectina, isso eleva a opacidade e viscosidade da pasta por meio de um processo conhecido como setback e que acontece por causa da grande tendência para formar ligações de hidrogênio entre as moléculas mais próximas (Whistler & BeMiller, 1997).

A Figura 3 representa uma curva RVA, na qual são obtidos os parâmetros: pico de viscosidade, queda de viscosidade, viscosidade final, viscosidade mínima (trough viscosity) e setback, que reflete a tendência de retrogradação da amilose na pasta de amido (Wang, Li, Copeland, Niu, & Wang, 2015b).

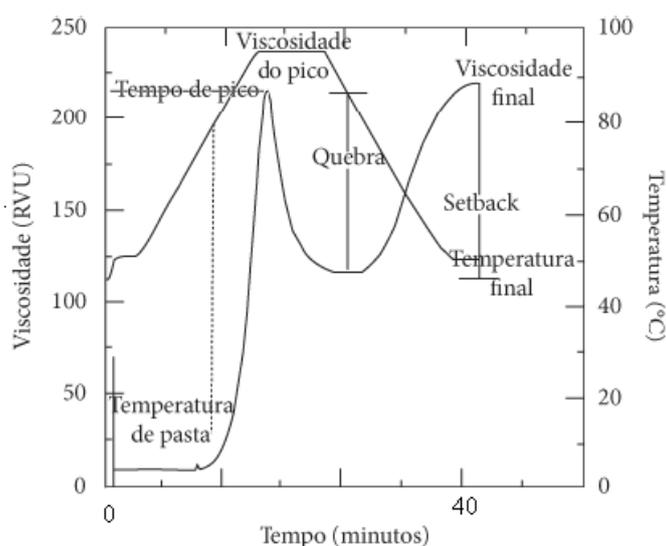


Figura 3–Curva padrão de RVA com os parâmetros das propriedades de pasta.

Fonte (Zortéa *et al.*, 2011).

As curvas de RVA fornecem diversos parâmetros importantes para o entendimento das propriedades de pasta de géis de amidos (Castanha, Matta Junior, & Augusto, 2017), como:

- 1) **Temperatura de pasta ($^{\circ}\text{C}$):** temperatura na qual a suspensão de amido e água forma uma pasta;
- 2) **Tempo de pico (min):** tempo que a suspensão levou para obtenção da maior viscosidade de pasta;
- 3) **Pico de viscosidade (cPa):** maior viscosidade de pasta obtida;
- 4) **Viscosidade mínima – trough viscosity (cP):** viscosidade mínima obtida após a formação da pasta;
- 5) **Quebra de viscosidade – breakdown viscosity (cPa):** diferença entre a viscosidade de pico e a viscosidade mínima obtida;
- 6) **Viscosidade final (cPa):** segundo pico de viscosidade, obtido após rampa de redução de temperatura, que indica tendência de retrogradação;
- 7) **Setback (cP):** diferença entre viscosidades final e mínima;
- 8) **Temperatura final ($^{\circ}\text{C}$):** temperatura na qual se obtém o segundo pico de viscosidade.

Tabela 2 – Propriedade de pasta de diversos amidos

Fonte	VAP	VM	VQ	VF	Steback	TP (°C)	Referência
Batata*	1249,8	369,9		452,2		65,7	(Castanha <i>et al.</i> , 2017)
Banana**	100,4		0,7	151,4	51,7	74,4	(Wu, Sun, & Chau, 2018)
Milho**	175,7	90,5	85,2	167,5	77	82	(Srichuwong <i>et al.</i> , 2005)
Mandioca**	188,1	66,3	121,8	113,3	47	67,4	(Srichuwong <i>et al.</i> , 2005)
Arroz**	211,3	86,2	125,1	170,7	84,5	71,3	(Srichuwong <i>et al.</i> , 2005)

VAP: Viscosidade aparente de pico; VM: viscosidade mínima; VQ: viscosidade de quebra; VF: viscosidade final; TP: temperatura de pico. *unidade em cP e ** unidade em RVU.

4.1.6 *Propriedades morfológicas dos amidos*

4.1.6.1 Microscopia

Os grânulos de amido têm sido submetidos a investigações estruturais desde o surgimento do microscópio. A escolha da técnica e do microscópio para uma visualização de alta resolução da estrutura dos grânulos depende do tipo de informação requerida, ou seja, superfície, ou estrutura interna. Informações sobre a superfície dos grânulos podem ser conseguidas, tanto com a microscopia eletrônica de varredura (SEM), como por microscopia de força atômica (AFM). Informações sobre a estrutura interna requerem o uso de microscopia eletrônica de transmissão (TEM) (Gallant, Bouchet, & Baldwin, 1997).

A microscopia eletrônica de varredura é utilizada em muitos trabalhos, para a definição da estrutura dos grânulos, contribuindo para sua caracterização, principalmente quando se estuda amidos de diferentes fontes botânicas, com diferentes tratamentos de modificações (Martínez-Bustos, Amaya-Llano, Carbajal-Arteaga, Yoon, & Zazueta-Morales, 2007). Para Aggarwal e Dollimore (1998a), a análise por meio de microscopia pode ser utilizada para examinar os grânulos resultantes do processo de hidrólise parcial devido a degradação não ocorrer de maneira uniforme. Essa técnica evidencia que a zona amorfa do grânulo é mais suscetível ao ataque enzimático assim como sugere que a organização interna do cristal apresenta blocos que resistem diferenciadamente à hidrólise.

4.1.7 *Propriedades estruturais dos amidos*

4.1.7.1 Difratometria de Raios X (DRX)

O processo para gerar a radiação de raios X ocorre por meio do bombardeamento do ânodo por elétrons do cátodo. As radiações eletromagnéticas, como são conhecidas as radiações, apresentam diferentes comprimentos de onda (λ), variando aproximadamente de 0,02 Å a 100 Å. Um cristal promove a difração dos raios X, pois os elétrons dos seus átomos absorvem a radiação, servindo como fontes secundárias que emitem novamente as radiações em todas as direções. A difração de raios-X é um fenômeno de interferência e se baseia no princípio de que uma radiação eletromagnética

com comprimento de onda da mesma ordem de grandeza das distâncias interatômica, ao atingir um material cristalino sofre espalhamento pela matriz atômica de longo alcance, produzindo uma interferência construtiva em ângulos específicos de incidência.

Com base nos conceitos da física ondulatória, quando a radiação eletromagnética dos raios-X se propaga pelo material, três fenômenos podem ocorrer. Ela pode sofrer um espalhamento coerente sendo instantaneamente absorvida e reemitida. Pode sofrer um espalhamento incoerente (efeito Compton) onde parte da energia é absorvida e convertida em energia térmica, e parte da energia é espalhada com maior comprimento de onda e direção indefinida. Por último, a energia pode ser absorvida, quando o átomo perde um elétron e se ioniza, emitindo raios-X secundários num efeito conhecido como fluorescência de raios-X.

A difratometria de raios X mostra o padrão de difração de um material, sendo que, nos amidos, permite-se comparar a cristalinidade de grânulos de amido nativo e submetidos à modificações. De acordo com os resultados, o material é classificado de acordo com padrões de difração, que podem ser do tipo A, tipo B ou tipo C (Figura 4) (Genkina, Wikman, Bertoft, & Yuryev, 2007).

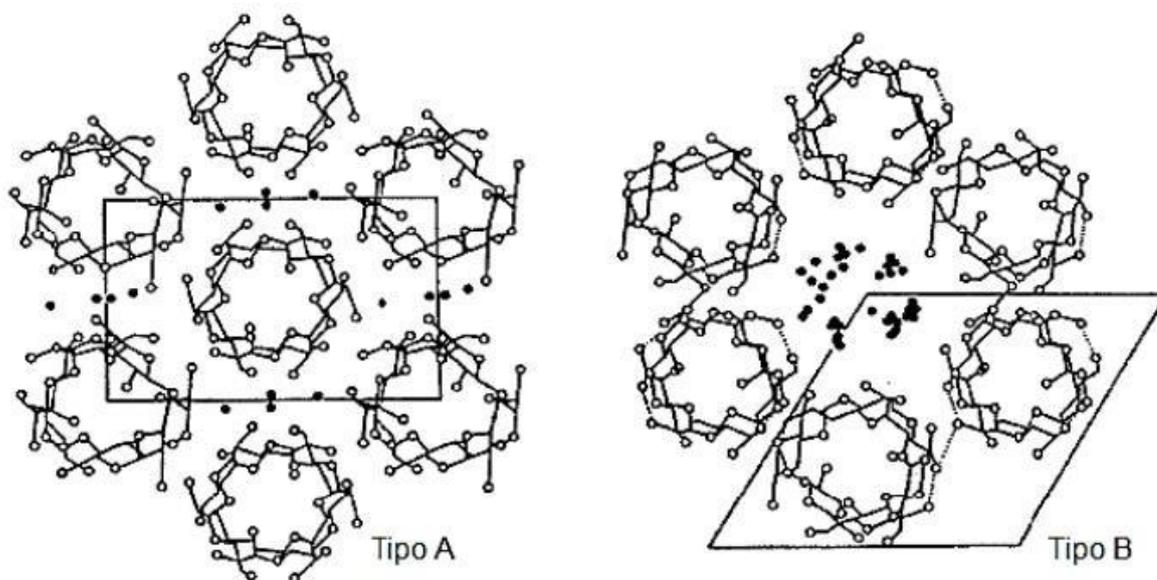


Figura 4 – Representação estrutural dos cristais de amido tipo A e B. Fonte (Costa, 2019)

O padrão tipo A é caracterizado por possuir dupla hélices compactadas de amilose e amilopectina, arrançadas em um monociclo, possui picos em 15, 17, 18 e 23° em 2 θ ; o tipo B apresenta estrutura hidratada, aberta e com dupla hélices em formato hexagonal, apresentando picos em 5,6; 15; 17; 18 e 23° em 2 θ ; já o tipo C é considerado uma mistura do tipo A e tipo B, tendo picos em 5,5; 15; 17; 22 e 23° em 2 θ . No geral, o padrão tipo A ocorre em amidos de cereais, do tipo B em tubérculos, raízes e cereais de alta amilose e tipo C em leguminosas (Angeloni Marcon *et al.*, 2009). O padrão de cristalinidade de uma fonte amilácea varia de acordo com diversas características, tais como sua origem botânica, quantidade de regiões cristalinas (relacionadas ao conteúdo de amilopectina e comprimento de cadeia), extensão e interação entre duplas hélices, entre outras (Miao, Jiang, & Zhang, 2009).

4.2 Ariá

O ariá (*Goepertia allouia* (Aubl.) Borchs. & S. Suárez) representado na Figura 5, é uma Planta originária da Amazônia, espécie popularmente conhecida como ariá, lerén, variá, tupinambur ou cocurito, tradicionalmente cultivadas por populações indígenas e ribeirinhas da América Tropical, sua região de origem, é uma espécie semiperene, da família Marantaceae, ocorrendo desde as Antilhas até a América do Sul. Podendo ser utilizada para ornamentação, medicina tradicional e, principalmente, alimentação (BUENO, 1997).



Figura 5 - Ariá (*Goeppertia allouia* (Aubl.) Borchs. & S. Suárez).

Fonte: Domingos Barros (2019).

Uma das características do ariá são raízes fibrosas, sendo que na ponta de algumas delas, pelo acúmulo de amido, inicia-se a formação das raízes tuberosas que, quando prontas, apresentam formas ovoide ou cilíndrica, medindo de 5 a 15 cm de comprimento por 2 a 4 cm de diâmetro (Cardoso, 1997). Em experimentos no IFAM-CMZL, produziram-se raízes de até 18 cm, representado na Figura 6.

Além disso, devido aos aminoácidos essenciais contidos em suas raízes, é uma opção para a diversidade alimentar, e é uma planta multiuso (a espécie detém características que lhe conferem utilidades tais como alimento humano, calafetagem, cosmético, estimulante, medicinal, ornamental, parasiticida, têxtil, tintura/corante)(Cardoso, 1997).



Figura 6 – Tubérculos de ariá.

Fonte: Domingos Barros (2019).

Tabela 3 – Composição nutricional de várias espécies de tuberosas.

Tuberosas Feculentas (cozido)	Batata	Batata doce	Cará	Inhame	Mandioca	Mandioquinha
Energia (Kcal.100g⁻¹)	52	77	78	100	125	80
Proteína (g.100g⁻¹)	1,2	0,6	1,5	1,71	0,6	0,9
Lipídeos (g.100g⁻¹)	-	0,1	0,1	0,12	0,3	0,2
Carboidrato (g.100g⁻¹)	11,9	18,4	18,9	23,4	30,1	18,9
Fibras (g.100g⁻¹)	1,3	2,2	2,6	1,8	1,6	1,8
Cálcio (mg.100g⁻¹)	4	17	5	35	19	12
Ferro (mg.100g⁻¹)	0,2	0,2	0,3	0,5	0,1	0,4
Magnésio (mg.100g⁻¹)	5	11	15,0	21	27	8
Zinco (mg.100g⁻¹)	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,4
Á. ascórbico (mg.100g⁻¹)	3,8	23,8	-	9,1	11,1	17,1

4.3 Informaçõeseconômicas

Em estudo realizado por (Revilla, 2001b), dependendo das condições de cultivo, os rendimentos variam entre 100 e 200g por planta e as estimativas de rendimentos são de 2 a 40 ton./ha/ano. O ganho bruto anual para venda no atacado e varejo se mantem entre R\$1000,00e R\$4000,00/ha/ano e o ganho líquido e de R\$ 500,00 a R\$ 2000,00/ha/ano. De acordo com a Tabela 4 algumas informações sobre o uso doaríá.

Tabela 4 – Uso do Ariá (*Goeppertia allouia* (Aubl.) Borchs. & S. Suárez).

Parte da planta	Forma	Categoria do uso	Uso	Fonte
Caule	-	Medicinal	Tônico, cicatrizante, antiescrufuloso e combate a diabete	(Delgado & Sifuentes, 1999)
Folha	-	Cosmético	Tratamento de acnes e espinhas.	(Revilla, 2002b)
Folha	Cozido	Estimulante	Características energizantes.	(Revilla, 2001a)
Folha	-	Têxtil	Fabrico de roupas de bebês.	(Cardoso, 1997).
Folha	In natura	Outros	Proteção de alimentos.	(Cardoso, 1997)
Inteira	Integral	Ornamental	Utiliza-se a planta inteira.	(Cardoso, 1997)
Pedúnculo floral	In natura	Alimento humano	Utilizada como hortaliça.	(Revilla, 2001a)
	Cozido	Alimento humano	Utilizado em saladas e em acompanhamentos de pratos.	(Revilla, 2001b)
Tubérculo	Farinha	Alimento humano	Utilizada por populações indígenas e mais tradicionais do Amazonas	
	Goma	Alimento humano	Utilizada por populações indígenas e mais tradicionais do Amazonas.	(Lamont, Eshbaugh, & Greenberg, 1999)
	Cozido		Características energizantes.	(Revilla, 2002a)
Tubérculo	Outra	Estimulante	Rituais indígenas.	(LaRotta, Miraña, & Miraña, 1999)
	-	Medicinal	Tônico.	(Correa & Bernal, 1990)

4.4 Potencial tecnológico de aplicação de amidos

4.5 Estado da arte: Novas fontes não convencionais de amidos

4.5.1 Amido de bambu (*B.tuldoides*)

Felisberto *et al* (2019) avaliaram o potencial de aplicação de amidos de bambu jovem como uma nova fonte de amido para indústria de alimentos. Os autores avaliaram as propriedades físico-químicas dos amidos extraídos em diferentes partes do bambu: topo, meio e próximo às raízes. Foi observado que os amidos da porção mediana apresentaram alta concentração de amilose (33.35%) enquanto a porção mais próxima as raízes apresentaram menor concentração (19.26%). Esses resultados indicam novas possibilidades de aplicação do amido extraído do colmo de bambu jovem, além de um maior uso do colmo de bambu como alimento.

4.5.2 Amido de oca (*Oxalístuberosa*)

A oca é um tubérculo da região andina, mas muito difundido na Oceania e principalmente na Nova Zelândia. O amido de oca apresenta alto teor de amido (30,5 – 31,4%), polimorfismo de amido do tipo B e cristalinidade na faixa de 22,9 – 24,2%. Os resultados deste estudo sugeriram que o amido de oca pode ser uma nova fonte de amido com possíveis aplicações em alimentos e não-alimentos (Zhu & Cui, 2019).

4.5.3 Amido de semente de urucum (*Bixa orellana* L.)

Zabot *et al.* (2019) estudaram o potencial tecnológico extraído de sementes de urucum. O amido de urucum apresenta teor de amilose de 24,2 g.100g⁻¹ de amido, padrão cristalino do tipo A, baixa temperatura de pasta e alta viscosidade de pico. Os autores relataram que devido suas propriedades, o amido da semente do urucum pode ser uma alternativa para produtos sensíveis a temperatura já que sua baixa temperatura de pasta pode produzir amidos com alta viscosidade.

4.5.4 Amido da palmeira rabo-de-peixe (*Caryotaurens*)

Nativa do sudeste asiático, a palmeira rabo-de-peixe apresenta grande potencial de amidos não convencionais (Sudheesh, Sunooj, & George, 2019). O amido apresenta alta concentração de amilose (38,5%) e amido resistente (49,2%). Mesmo em altas temperaturas, o amido de rabo-de-peixe apresentou baixa solubilidade (<10 % para 90 °C). As propriedades de pasta mostraram que a sua baixa viscosidade de pico faz com que este amido tenha aplicações sejam limitadas.

4.5.5 Amido de nêspira (*Erybotriajapônica*)

O potencial tecnológico do amido de sementes de nêspira também foi avaliado por (Costa, 2019). O autor fez uma comparação de diferentes métodos de extração (alcalina, ácida e com água). Foi observado que os diferentes métodos influenciaram significativamente as propriedades físico-químicas dos amidos como a molhabilidade (maior para amido extraído com água), baixa temperatura de pasta (61,6 – 63,4 °C) e alta viscosidade de pico (principalmente para o amido extraído com ácido). Em resumo, o amido de nêspira apresenta um grande potencial de aplicação na indústria de alimentos.

5 MATERIAL EMÉTODOS

5.1 Matériaprima

As raízes tuberosas de ariá foram colhidas na Unidade Educativa de Produção de Agricultura, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - Campus Manaus - Zona Leste, localizado nas coordenadas 03° 04' 51,2" S e 059° 55' 56,4" W no município de Manaus-AM. O cultivo foi realizado em pneus de carro aro14, empilhados de dois em dois e enfileirados lado a lado, com espaçamento entre fileira de 1m, alamedando o caminho de acesso ao setor, em pleno sol. Os pneus foram cheios com substratos, paú + terra vegetal, na proporção de 1:1 e caiados externamente. Prepararam-se mudas de ariá (rebentos de rizoma). Plantou-se um rizoma de ariá no centro de cada jogo depneus.

5.2 Obtenção doAmido

Após a colheita as raízes tuberosas foram encaminhadas para o laboratório de Agroindústria do IFAM-CMZL, onde foram lavadas, higienizadas e sanitizadas em solução clorada a 200 ppm, cortou-se manualmente com faca de aço inox, e pesados. Os rizomas foram cortados em rodelas de 0,5 cm de espessura.



Figura 7 – Colheita do ariá.

Fonte: Domingos Barros, 2019.



Figura 8 – Lavagem dos ariás.

Fonte: Domingos Barros, 2019.

A extração do amido ocorreu no Instituto Federal de Educação do Amazonas (IFAM – CMZL), sendo as raízes de ariá trituradas em um liquidificador industrial (Beckergo, modelo LTI-4 à 10 litros, Brasil) por 5 minutos na proporção 1:2, ou seja, 1kg de raiz tuberosa para 500 mL de água filtrada, logo após filtrou-se com auxílio de saco alvejado. Lavou-se o resíduo da filtragem por seis vezes para a retirada do leite de amido, o filtrado ficou-se em repouso por um intervalo de 15 horas em bacia plástica sob-refrigeração, para a decantação do amido, retirou-se o sobrenadante e o amido obtido foi peneirado em peneira de 0,350 mm e, enfim, acondicionado em sacos plásticos até a sua posteriorutilização.

O amido obtido foi dividido em dois lotes os quais passaram por diferentes processos de secagem: secagem em estufa á 45°C e liofilização. A secagem em estufa ocorreu no laboratório de química do IFAM-CMZL, onde as amostras foram depositadas em bandejas e levadas para a estufa com circulação de ar por 45°C durante 16 horas. A liofilização foi realizada no Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – INPA.

5.3 Caracterização do amidonativo

A caracterização do amido de ariá será realizada através das análises viscoamilográfica (RVA), do teor de amilose e amilopectina, difratometria de Raios X (DRX), espectroscopia de ressonância magnética nuclear (RMN), espectroscopias de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), calorimetria exploratória diferencial (DSC), termogravimetria (TGA).

5.4 Análises estatísticas

Os resultados serão avaliados com o auxílio do programa Statistica® versão 8 MR-3 empregando as metodologias de Análise de Variância (ANOVA) a 5% de significância estatística, bem como as médias comparadas através do teste de Tukey.

6 REFERÊNCIAS

- Aggarwal, P., & Dollimore, D. (1998). A thermal analysis investigation of partially hydrolyzed starch. *Thermochimica Acta*, 319(1–2), 17–25. [https://doi.org/10.1016/s0040-6031\(98\)00355-4](https://doi.org/10.1016/s0040-6031(98)00355-4)
- Almeida, M. R., Alves, R. S., Nascimbem, L. B. L. R., Stephani, R., Poppi, R. J., & De Oliveira, L. F. C. (2010). Determination of amylose content in starch using Raman spectroscopy and multivariate calibration analysis. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 397(7), 2693–2701. <https://doi.org/10.1007/s00216-010-3566-2>
- Angeloni Marcon, M. J., Kurtz, D. J., Raguzzoni, J. C., Delgadillo, I., Maraschin, M., Soldi, V., ... Amante, E. R. (2009). Expansion properties of sour cassava starch (Polvilho Azedo): Variables related to its practical application in bakery. *Starch/Staerke*, 61(12), 716–726. <https://doi.org/10.1002/star.200900132>
- Banura, S., Thirumdas, R., Kaur, A., Deshmukh, R. R., & Annapure, U. S. (2018). Modification of starch using low pressure radio frequency air plasma. *LWT - Food Science and Technology*, 89(September 2017), 719–724. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.056>
- Bemiller, J. N., & Whistler, R. (2009a). *Starch: Chemistry and Technology* (Third edit; J. N. Bemiller & R. Whistler, Eds.). <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02983-3>
- Bemiller, J. N., & Whistler, R. (2009b). *Starch: Chemistry and Technology* (Third edit; J. N. Bemiller & R. Whistler, Eds.). <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02983-3>
- Bueno, C. R., & Weigel, P. (1981). Brotação e desenvolvimento inicial de rizomas de Ariá (*Calathea allouia* (Aubl.) Lindl.). *Acta Amazonica*, 11(2), 407–410. <https://doi.org/10.1590/1809-43921981112408>
- Buléon, A., Véronèse, G., & Putaux, J. L. (2007). Self-association and crystallization of amylose. *Australian Journal of Chemistry*, 60(10), 706–718. <https://doi.org/10.1071/CH07168>
- Cardoso, M. O. (1997). *Hortaliças não-convencionais da Amazônia* (1ª; M. O. Cardoso, Ed.). Brasília: EMBRAPA.
- Castanha, N., Matta Junior, M. D. da, & Augusto, P. E. D. (2017). Potato starch

- modification using the ozone technology. *Food Hydrocolloids*, 66, 343–356.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.12.001>
- Chen, H. H. (2014). Investigation of Properties of Long-grain Brown Rice Treated by Low-pressure Plasma. *Food and Bioprocess Technology*, 7(9), 2484–2491.
<https://doi.org/10.1007/s11947-013-1217-2>
- Chung, H. J., Liu, Q., Lee, L., & Wei, D. (2011). Relationship between the structure, physicochemical properties and in vitro digestibility of rice starches with different amylose contents. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 968–975.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.09.011>
- Correa, Q., & Bernal, H. J. (Eds.). (1990). *Espécies vegetales promisorias de los países del convenio Andrés Bello* (Third Edit). Bogota: D.E Secretaria Ejecutiva del Convenio Andres Bello.
- Costa, B. P. (2019). *Potencial tecnológico do amido da semente de nêspera (Erythrina japonica): características e efeitos de diferentes métodos de extração*. Universidade Federal doParaná.
- Cunha, A. L. (2016). *Caracterização do amido da araruta tipos seta e redonda, visando utilização na indústria de alimentos*. Universidade Federal de Lavras.
- Delgado, H. S., & Sifuentes, T. C. (1999). *Medicinal plants from the botanic garden IMET -IPSS* (Second edi; H. S. Delgado & T. C. Sifuentes, Eds.). San Martín de Porres: EsSalud, Instituto de Medicina Tradicional.
- Eliasson, A. C. (2017). Starch: Physicochemical and functional aspects. In *Carbohydrates in Food, Third Edition* (2nd ed. Bo, pp. 479–578).
<https://doi.org/10.1201/9781315372822>
- Felisberto, M. H. F., Beraldo, A. L., Costa, M. S., Boas, F. V., Franco, C. M. L., & Clerici, M. T. P. S. (2019). Physicochemical and structural properties of starch from young bamboo culm of *Bambusa tuldooides*. *Food Hydrocolloids*, 87(July 2018), 101–107.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.032>
- Gallant, D. J., Bouchet, B., & Baldwin, P. M. (1997). Microscopy of starch: Evidence of a new level of granule organization. *Carbohydrate Polymers*, 32(3–4), 177–191.
[https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(97\)00008-8](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(97)00008-8)

- Garcia, V., Colonna, P., Bouchet, B., & Gallant, D. J. (1997). Structural changes of cassava starch granules after heating at intermediate water contents. *Starch/Staerke*, 49(5), 171–179. <https://doi.org/10.1002/star.19970490502>
- Genkina, N. K., Wikman, J., Bertoft, E., & Yuryev, V. P. (2007). Effects of structural imperfection on gelatinization characteristics of amylopectin starches with A- and B-type crystallinity. *Biomacromolecules*, 8(7), 2329–2335. <https://doi.org/10.1021/bm070349f>
- Hassan, B., Chatha, S. A. S., Hussain, A. I., Zia, K. M., & Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1095–1107. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097>
- Jaillais, B., Ottenhof, M. A., Farhat, I. A., & Rutledge, D. N. (2006). Outer-product analysis (OPA) using PLS regression to study the retrogradation of starch. *Vibrational Spectroscopy*, 40(1), 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2005.06.001>
- Juhász, R., & Salgó, A. (2008). Pasting behavior of amylose, amylopectin and their mixtures as determined by RVA curves and first derivatives. *Starch/Staerke*, 60(2), 70–78. <https://doi.org/10.1002/star.200700634>
- Karim, A. A., Norziah, M. H., & Seow, C. C. (2000). Methods for the study of starch retrogradation. *Food Chemistry*, Vol. 71, pp. 9–36. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00130-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00130-8)
- Kinupp, V. F., & Lorenzi, H. (2014). Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. In Instituto Plantarum (Ed.), *São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora*. (1st ed.).
- Koksel, H., Masatcioglu, T., Kahraman, K., Ozturk, S., & Basman, A. (2008). Improving effect of lyophilization on functional properties of resistant starch preparations formed by acid hydrolysis and heat treatment. *Journal of Cereal Science*, 47(2), 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.04.007>
- Lagarrigue, S., Alvarez, G., Cuvelier, G., & Flick, D. (2008). Swelling kinetics of waxy

- maize and maize starches at high temperatures and heating rates. *Carbohydrate Polymers*, 73(1), 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.11.018>
- Lamont, S. R., Eshbaugh, W. H., & Greenberg, A. M. (1999). Species composition, diversity, and use of homegardens among three Amazonian villages. *Economic Botany*, 53(3), 312–326. <https://doi.org/10.1007/BF02866644>
- LaRotta, C., Miraña, M., & Miraña, P. (1999). *Estúdio etnobotânico sobre las espécies utilizadas por la comunidad indígena miraña* (First Edit; C. LaRotta, M. Miraña, & P. Miraña, Eds.). Bogotá:FEN.
- Leonel, M. ., Jackey, S. ., & Cereda, M. P. (1998). Processamento industrial de fécula de mandioca e batata-doce - Um estudo de caso. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 18(3), 343–345. <https://doi.org/10.1590/S0101-20611998000300016>
- Lin, S. Y., & Wang, S. L. (2012). Advances in simultaneous DSC-FTIR microspectroscopy for rapid solid-state chemical stability studies: Some dipeptide drugs as examples. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 64(5), 461–478. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.01.009>
- Martínez-Bustos, F., Amaya-Llano, S. L., Carbajal-Arteaga, J. A., Yoon, K. C., & Zazueta-Morales, J. D. J. (2007). Physicochemical properties of cassava, potato and jicama starches oxidised with organic acids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(7), 1207–1214. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2805>
- Miao, M., Jiang, B., & Zhang, T. (2009). Effect of pullulanase debranching and recrystallization on structure and digestibility of waxy maize starch. *Carbohydrate Polymers*, 76(2), 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.10.007>
- Palavecino, P. M., Penci, M. C., & Ribotta, P. D. (2019). Impact of chemical modifications in pilot-scale isolated sorghum starch and commercial cassava starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 521–529. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.202>
- Peng, L., Zhongdong, L., & Kennedy, J. F. (2007). The study of starch nano-unit chains in the gelatinization process. *Carbohydrate Polymers*, 68(2), 360–366. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.11.021>
- Revilla, J. (2001a). *Oportunidades econômicas e sustentáveis* (First Edit; J. Revilla,

- Ed.). Manaus: INPA.
- Revilla, J. (2001b). *Plantas da Amazônia* (First Edit; J. Revilla, Ed.). Manaus: INPA.
- Revilla, J. (2002a). *Apontamentos para a cosmética amazônica* (First Edit; J. Revilla, Ed.). Manaus:INPA.
- Revilla, J. (2002b). *Plantas úteis da Bacia Amazônica* (First Edit, Vol. 1; J. Revilla, Ed.). Manaus:INPA.
- Robert, P. de, López Garcés, C., Laques, A.-E., & Coelho-Ferreira, M. (2012). A beleza das roças: agrobiodiversidade Mebêngôkre-Kayapó em tempos de globalização. *Boletim Do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, 7(2), 339–369. <https://doi.org/10.1590/S1981-81222012000200004>
- Ryu, G. H., Neumann, P. E., & Walker, C. E. (1993). Pasting of Wheat Flour Extrudates Containing Conventional Baking Ingredients. *Journal of Food Science*, 58(3), 567–573. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb04325.x>
- Shimazu, A. A., Mali, S., & Grossmann, M. V. E. (2007). Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. *Semina: Ciências Agrárias*, 28(1), 79. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2007v28n1p79>
- Silva, R. M., Ferreira, G. F., Shirai, M. A., Haas, Â., Scherer, M. L., Franco, C. M. L., & Demiate, I. M. (2008). Physicochemical characteristics of starches modified with potassium permanganate/lactic acid and sodium hypochlorite/lactic acid. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 28(1), 66–77. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000100011>
- Singh, S., Raina, C. S., Bawa, A. S., & Saxena, D. C. (2006). Effect of Heat-Moisture Treatment and Acid Modification on Rheological, Textural, and Differential Scanning Calorimetry Characteristics of Sweetpotato Starch. *Journal of Food Science*, 70(6), e373–e378. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11441.x>
- Sjöö, M., & Nilsson, L. (2017). Starch in food: Structure, function and applications: Second edition. In *Starch in Food: Structure, Function and Applications: Second Edition*.

- Srichuwong, S., Sunarti, T. C., Mishima, T., Isono, N., & Hisamatsu, M. (2005). Starches from different botanical sources II: Contribution of starch structure to swelling and pasting properties. *Carbohydrate Polymers*, 62(1), 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.07.003>
- Sudheesh, C., Sunooj, K. V., & George, J. (2019). Kithul palm (*Caryota urens*) as a new source of starch: Effect of single, dual chemical modifications and annealing on the physicochemical properties and in vitro digestibility. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 1084–1092. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.179>
- Thirumdas, R., Trimukhe, A., Deshmukh, R. R., & Annapure, U. S. (2017). Functional and rheological properties of cold plasma treated rice starch. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1723–1731. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.050>
- Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2015a). Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 568–585. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12143>
- Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2015b). Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 568–585. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12143>
- Weber, F. H., Collares-Queiroz, F. P., & Chang, Y. K. (2009). Caracterização físico-química, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29(4), 748–753. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612009000400008>
- Whistler, R., & BeMiller, J. . (1997). Química de carboidratos para cientistas de alimentos. *Eagen Press, São Paulo*, pp. 117–151.
- Wu, T. Y., Sun, N. N., & Chau, C. F. (2018). Application of corona electrical discharge plasma on modifying the physicochemical properties of banana starch indigenous to Taiwan. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(1), 244–251. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.03.005>
- Yang, Q. Y., Lu, X. X., Chen, Y. Z., Luo, Z. G., & Xiao, Z. G. (2019). Fine structure, crystalline and physicochemical properties of waxy corn starch treated by

- ultrasound irradiation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 51(August 2018), 350–358.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.09.001>
- Zabot, G. L., Silva, E. K., Emerick, L. B., Felisberto, M. H. F., Clerici, M. T. P. S., & Meireles, M. A. A. (2019). Physicochemical, morphological, thermal and pasting properties of a novel native starch obtained from annatto seeds. *Food Hydrocolloids*, 89(August 2018), 321–329.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.041>
- Zambrano, F., & Camargo, C. R. O. (2001). Otimização das Condições de Hidrólise Ácida de Amido de Mandioca para Obtenção de Substituto de Gordura. *Brazilian Journal of Food Technology*, 4(147–151), 147–154.
- Zhu, F., & Cui, R. (2019). Comparison of molecular structure of oca (*Oxalis tuberosa*), potato, and maize starches. *Food Chemistry*, 296(May), 116–122.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.192>
- Zhu, F., Hua, Y., & Li, G. (2020). Physicochemical properties of potato, sweet potato and quinoa starch blends. *Food Hydrocolloids*, 100(July 2019).
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105278>
- Zortéa, M. E. B., Demiate, I. M., Praxedes, M. A., & Wosiacki, G. (2011). Avaliação da viscosidade aparente de pastas de amidos nos viscosímetros Brookfield RVDV-II+ PRO e Rápido Visco-Analisador RVA-4. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 5(1). <https://doi.org/10.3895/S1981-36862011000100008>
- Zou, W., Yu, L., Liu, X., Chen, L., Zhang, X., Qiao, D., & Zhang, R. (2012). Effects of amylose/amylopectin ratio on starch-based superabsorbent polymers. *Carbohydrate Polymers*, 87(2), 1583–1588.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.09.060>

**7 ARTIGO 1: AMIDO DE ARIÁ: NOVA FONTE DE AMIDO RESISTENTE
PARA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**

O artigo está no formato do periódico Food Research International

Amido de ariá: nova fonte de amido resistente para indústria de alimentos

Domingos Rodrigues Barros^{a,b}, Ana Paula Miléo Guerra Carvalho^{a,b}, Erica Oliveira da Silva^a, Ulliana Sampaio^c, Maria Teresa Pedrosa Silva Clerici^c, Sérgio Michielon de Souza^d, Edgar Aparecido Sanches^e, Pedro Henrique Campelo^{a,f,*}

^aGrupo de Pesquisa em Inovação e Biotecnologia de Alimentos da Amazônia (gIBA), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil.

^bInstituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM), Manaus, Amazonas, Brasil.

^cFaculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil.

^dDepartamento de Física, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil.

^eLaboratório de Polímeros Nanoestruturados (NANOPOL), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil.

^fFaculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil.

*Autor correspondente: pedrocampelo@ufam.edu.br(P. H. Campelo).

Resumo

As propriedades físico-químicas, térmicas, estruturais e reológicas do amido de ariá foram avaliadas em comparação a amidos comerciais como milho, mandioca e batata. Foram analisadas propriedades físico-químicas (teor de amilose, claridade de pasta, solubilidade e digestibilidade dos amidos); térmicas (gelatinização e retrogradação); estruturais (difração de raio-X) e reológicas (propriedades de pasta e textura de gel). O amido de ariá apresentou alto teor de amilose (~38 % m/m) e alta concentração de amido resistente. O alto teor de amilose do amido de ariá tornou o amido menos solúvel e com baixa capacidade de absorção de água em relação aos outros amidos. O amido de ariá apresentou estrutura cristalina do tipo C, típico de leguminosas. As propriedades reológicas mostraram que os géis de amido apresentam alta dureza e alta retrogradação. Com isso, o amido do ariá pode ser uma alternativa para utilização na indústria de alimentos que exijam amidos com baixa digestibilidade e géis maisduros.

Palavras-chave: *Goeppertia allouia*; novas fontes de amidos; retrogradação de amidos; digestibilidade de amidos; cristais de amido tipo-C.

1 Introdução

Amidos são polissacarídeos naturais mais abundantes na natureza. Dependendo da sua composição, estrutura e morfologia, os amidos podem apresentar características tecnológicas muito distintas, podendo ser aplicado em diversos processos e produtos dentro da indústria de alimentos. O amido contribui muito para as propriedades de textura de muitos alimentos e tem muitas aplicações industriais como espessante, estabilizador coloidal, agente gelificante, agente de volume, agente de retenção de água e adesivo. O interesse em novos produtos de valor agregado para a indústria resultou na realização de muitos estudos sobre as propriedades físico-químicas, morfológicas, reológicas, térmicas e de textura do amido (Castanha, Villar, Matta Junior, Anjos, & Augusto, 2018; Singh, Singh, Kaur, Sodhi, & Gill, 2003).

Dependendo da fonte botânica, o amido exibe temperaturas características de gelatinização, viscosidade e clareza da pasta, capacidade de gelificação e taxa de retrogradação (relacionadas à sinérese). A compreensão das relações entre estruturas e propriedades funcionais de novos amidos é desejável para as aplicações pretendidas na indústria alimentícia e em outras indústrias (Sjöö & Nilsson, 2018). Ou seja, o conhecimento de novas fontes amiláceas pode ser uma oportunidade diferenciada para aplicação destes produtos na indústria de alimentos.

O potencial de plantas nativas indígenas na Amazônia, com relação ao aspecto alimentar e econômico é abundante, sendo a região considerada como a maior reserva mundial de recursos genéticos naturais. A respeito disso, grande parte desse material tende a perder-se dada a elevação das taxas de desmatamento e modificação do hábito alimentar do elemento humano, com a introdução de culturas mais atraentes (V. F. Kinupp & Lorenzi, 2014).

O Ariá (*Goepertia allouia*) (Figura 1) é uma planta popularmente conhecida na região amazônica como ariá, lerén, variá, tupinambur ou cocurito. As raízes são fibrosas e na ponta de algumas delas pelo acúmulo de amido, inicia-se a formação das raízes tuberosas que, quando prontas, apresentam formato ovoide ou cilíndrico, medindo de 5 a 18 cm de comprimento por 2 a 4 cm de diâmetro (Kinupp & Lorenzi, 2014). Tem boas concentrações de minerais como potássio e fósforo (Varejão, Ribeiro, & Bueno, 1988).

Poucos estudos foram realizados sobre as características tecnológicas do ariá se restringindo a sua composição centesimal (Marques, Filho, Blind, Costa, & Figueiredo, 2019), algumas propriedades como teor de amilose e amilopectina (Orjuela-Baquero, Fernández-Trujillo, & Hernández, 2016) e suas propriedades prebióticas (Teixeira *et al.*, 2016).

Devido a pouca informação disponível, o objetivo principal deste trabalho é avaliar o potencial tecnológico do amido ariá através da comparação das suas propriedades físico-químicas em relação a outros amidos nativos comercialmente utilizados como batata (*Solanum tuberosum*), milho (*Zea mays* L.) e mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Foram analisados teor de amilose, claridade de pasta (turbidez), propriedades de hidratação (índices de solubilidade e absorção de água), digestibilidade dos amidos, propriedade de pasta, difração de raio-X, microscopia eletrônica de varredura, propriedades térmicas (gelatinização e retrogradação) e força degel.



Figura 1 – Planta (A) e tubérculo (B) do ariá (*Goeppertia allouia*).

Fonte: Domingos Barros

2 Material emétodos

2.1 Material

Os tubérculos do ariá (Autorização do SISGEN AF97191) foram obtidos no município de Manaus, Brasil. Os tubérculos foram lavados, sanitizados (solução de hipoclorito 200 ppm), descascados e triturados em moinho de facas (1:2 tubérculo/água). Após trituração, as massas obtidas foram filtradas em filtros de tecido de poliéster. O filtrado foi mantido estático por 15 horas para decantação do amido. O sobrenadante foi retirado e o amido lavado sucessivas vezes até obtenção decolocação

branca. A pasta de amido foi submetida à secagem em estufa com circulação de ar a 40 °C por 16 h. Após secagem os amidos foram armazenados em embalagens plásticas, temperatura ambiente e local seco até a realização das análises. Os amidos de batata, mandioca e milho foram obtidos em comércio local.

2.2 Microscopia eletrônica de varredura

A morfologia amidos nativos foram obtidos em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) (NA3, TECSCAN - República Tcheca) utilizando 20 keV a 25 ° C. Os amidos foram colocados em fita de carbono e revestidos com uma fina película de ouro antes da análise.

2.3 Difração de raio-X

Os dados de difração de raio-X dos amidos foram obtidos em difratômetro Empyrean (Panalytical) operando em modo de reflectância, usando radiação de $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$), tensão de aceleração de 40 kV e corrente de 40 mA, equipado com espelho HD de Bragg-Brentano, uma fenda soller de 0,02 rad, uma fenda anti-dispersão de 1 ° e fenda para divergência de 1/4 no feixe incidente. Uma fenda soller de 0,04 rad e uma fenda anti-espalhamento de 9 mm foram usadas. Os fótons de raio-X foram detectados com detector do tipo área (PIXcel3D-Medipix3 1x1). As medidas foram realizadas na faixa angular de 10° até 100° (2 θ), com passos de 0.01313° e 60 s para cada passo. A cristalinidade (%) foi calculada de acordo com método proposto por Lopez-Rubio, Flanagan, Gilbert, & Gidley(2008).

2.4 Teor de amilose

O teor de amilose foi medido através de técnica espectrofotométrica com leitura de complexo iodo-amido a 620 nm (Castanha, Matta Junior, & Augusto, 2017). Foram construídas curvas de calibração com padrões de amilose e amilopectina (Sigma Chemical, St. Louis, EUA).

2.5 Turbidez (Claridade depasta)

A turbidez das pastas de amido foi medida por técnica espectrofotométrica em UV-Vis (Castanha *et al.*, 2017; Perera & Hoover, 1999). Brevemente, foram preparadas soluções com os amidos (2g de amidos por 100 g de água) foram aquecidas em banho de água fervente por 30 min (com agitação em intervalos de 5 min). Após aquecimento, as amostras foram resfriadas por 1h a 25 °C e submetidas à leitura em espectrofotômetro a 650nm.

2.6 Comportamento do gel(textura)

As pastas de amido preparadas no RVA foram vertidas em pequenos cilindros de PVC e armazenadas a 4 °C por 24 h para causar gelificação. A força do gel (textura) da pasta de amido foi medida em cinco locais diferentes em cada amostra usando um analisador de textura TA-XT2i (*Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, Reino Unido*). O gel foi comprimido a uma velocidade de 1,0 mm.s⁻¹ a uma distância de 6,0 mm usando uma sonda de cilindro P5 com a velocidade do gravador de gráficos a 25,00 pps. A partir dos testes mecânicos, foram obtidos parâmetros como força do gel (g força) e elasticidade(mm).

2.7 Propriedade de hidratação dos géis

Índice de solubilidade em água (WSI) e índice de absorção de água (WAI) foram determinados por método gravimétrico (De La Hera, Gomez, & Rosell, 2013) em diferentes temperaturas (55, 65, 75, 85 e 95 °C) (Maniglia *et al.*, 2020). WSI (%) e WAI (g água .g⁻¹ amido insolúvel) foram calculados pelas Equações 1 e 2:

$$WSI = 100 \times \frac{W_s}{W_i} \quad \text{Eq.1}$$

$$WAI = \frac{W_r}{W_i} \quad \text{Eq.2}$$

No qual W_s é o sobrenadante seco; W_i é a massa inicial de amido e W_r amido precipitado.

2.8 Digestibilidade *in vitro* dos amidos

A digestibilidade *in vitro* dos amidos nativos foram mensuradas através de metodologia de digestão enzimática (Castanha, Santos, Cunha, & Augusto, 2019; Englyst, Kingman, & Cummings, 1992). Brevemente, uma solução de amido foi preparada com adição de uma solução enzimática (140 U.ml⁻¹ de amilose e 90 U.mL⁻¹ de amiloglicosidase) e incubada a 37 °C com agitação constante (100 RPM) por 120 min. Em intervalos de tempo de 20 e 120 min, uma alíquota de 5 mL de cada amostra foram coletadas e as enzimas inativadas com 5 mL de solução de etanol (80 % v/v). O teor de glicose e açúcares redutores foram determinados. Amido digerível rapidamente (RDS), amido digerível lentamente (SDS) e amido resistente (RS) foram determinados pelas Equações 3 – 5.

$$RDS(\%) = 100 \times 0.9 \times \frac{G_{20} - FG}{TS} \quad \text{Eq.3}$$

$$SDS(\%) = 100 \times 0.9 \times \frac{G_{120} - G_{20}}{TS} \quad \text{Eq.4}$$

$$RS(\%) = 100 \times \frac{TS - RDS - DS}{TS} \quad \text{Eq. 5}$$

No qual G20 e G120 são os teores de glicose nos tempos de 20 e 120 min, respectivamente; FG é glicose livre; e TS é o amido total.

2.9 Propriedades de pasta

As curvas de propriedade de pasta foram obtidas em equipamento de Rapid viscosity analyzer (RVA-4, Newport Scientific Pvt. Ltd). 3 g de amidos (com umidade corrigida para 14 g água. 100g⁻¹ amido em base seca) foram suspensas em 25 mL de água destilada. Para análise de propriedade de pasta dos 4 amidos, foi utilizada a seguinte programação: As suspensões foram mantidas em 50 °C for 1 min, aquecidas até 95 °C a uma taxa de 6 °C min⁻¹, mantido em 95 °C por 5 min, resfriamento até 50 °C a uma taxa de 6 °C min⁻¹, e finalmente mantido em 50 °C por 2 min. Das curvas de propriedade de pasta são obtidos momentos específicos do processo de gelatinização de amidos como viscosidade aparente de pico (PAV), viscosidade mínima de pasta (TAV), viscosidade de quebra (BD), viscosidade aparente final (FAV) e temperatura de pasta (PT) e são importantes parâmetros para se compreender o comportamento dos amidos durante o processo de gelificação (Castanha *et al.*,2017).

Para evitar o erro de que a amostra com PAV alto sempre tenha alto BD, o conceito de *setback* relativo (RS) foi introduzido (Palabiyik, Toker, Karaman, & Yildiz, 2017) e é calculado pela Eq. 6:

$$RS(\%) = \frac{PAV - TAV}{PAV} \quad \text{Eq. 6}$$

2.10 Análises térmicas

As propriedades térmicas dos amidos (gelatinização e retrogradação) foram determinadas por calorimetria diferencial (DSC) (Sun, Wang, Ma, & Wang, 2020), com pequenas modificações. Aproximadamente 2 mg de amidos foram misturados a 2 µL de água destilada. As panelas de alumínio foram seladas hermeticamente e mantidas à 4 °C por 24 horas até a realização da análise térmica. As amostras foram aquecidas de 25 à 130 °C com taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹ em atmosfera de nitrogênio com fluxo de 50 mL.min⁻¹. A partir das curvas de DSC foram obtidas a temperatura inicial, temperatura de pico e temperatura final de gelatinização e a variação da entalpia de gelatinização ($\Delta H_{gelatinização}$). Após análise, as amostras foram armazenadas a 4 °C por 14 dias e novamente submetidas a aquecimento nas mesmas condições citadas. A partir dos dados da curva de DSC da segunda corrida, foram obtidas a temperatura inicial, de pico e final de retrogradação e a variação de entalpia de retrogradação ($\Delta H_{retrogradação}$). Retrogradação (%) é definida como (Equação 7):

$$R(\%) = \frac{\Delta H_{retrogradação}}{\Delta H_{gelatinização}} \quad \text{Eq. 7}$$

2.11 Análises estatísticas

Todas as análises (exceto difração de raios-X) foram realizadas em triplicata. Para verificar a significância dos diferentes amidos nas propriedades físico-químicas, foram realizados análise de variância (ANOVA) ao nível de significância de 5 %. Caso haja significância entre os tratamentos, foi realizado testes de comparação de média de Tukey também ao nível de significância de 5 %. Foi utilizado o *software* estatístico R (versão 3.6.1).

3 Resultados e discussão

3.1 Difração de raios-X(DRX)

A Figura 2 mostra a análise comparativa de amostra de amido de ariá com amostras amidos padrão de milho, mandioca e batata. Na Figura 2(a) mostramos os 4 difratogramas medidos nas mesmas condições. Vemos que todos os picos cristalinos (organização da amilopectina) estão compreendidos entre $2\theta = 5$ e 50° , enquanto que o espalhamento difuso vai até a aproximadamente $2\theta = 65^\circ$. O espalhamento difuso corresponde a componente desordenada do amido (amilose) somada ao teor de umidade natural e outros efeitos de espalhamento inelástico. Os dois polimorfos A e B possuem a mesma estrutura helicoidal dupla, mas exibem diferentes estruturas cristalinas. No cristal do tipo A, as hélices duplas são compactadas em um grupo de espaço celular unitário monoclinico B2 ($a = 20.83 \text{ \AA}$, $b = 11.45 \text{ \AA}$, $c = 10.58 \text{ \AA}$) contendo 8 moléculas de água (Imberty, Chanzy, Pérez, Bulèon, & Tran, 1988; Popov *et al.*, 2009). No cristal do tipo B, as duplas hélices são estruturadas em celas unitárias de forma hexagonal ($a = b = 18.5 \text{ \AA}$, $c = 10.4 \text{ \AA}$, grupo espacial $P6_1$) com 36 moléculas de água na cela unitária. (Imberty & Perez, 1988). O primeiro pico em torno de $2\theta = 5.8^\circ$ observado nos padrões de DRX do ariá e da batata corresponde aos planos (1 0 0) do cristal do tipo B. Para uma comparação mais detalhada com a amostra de ariá, todos os padrões de DRX foram normalizados pela intensidade do pico mais intenso ($2\theta \sim 17^\circ$) e sobrepostos nas Figuras 2 (b), (c) e (d). Na Figura 2(b), a maioria dos picos foi identificada como cristais do tipo B. Entretanto, no Ariá não há evidências do pico associado ao plano (2 0 1) em torno de $2\theta \sim 14^\circ$ assim como os picos em $2\theta \sim 18^\circ$ e $2\theta \sim 23^\circ$ não são descrito pelo modelo B proposto nas referências (Imberty & Perez, 1988; Takahashi, Kumano, & Nishikawa, 2004). Esses picos podem ser descritos, portanto, pelos planos (0 2 0) e (1 2 1) cristalinos do modelo A. Na sobreposição com os padrões de DRX da mandioca(Figura

2(c)) e do milho (Figura 2(d)) é claro que o milho e a mandioca são bem descritos pelos cristais do tipo A, e são muito similares ao difratograma do ariá, com exceção do pico (1 0 0) da estrutura B. Vemos então que ariá possui uma estrutura do tipo C, formada pela composição de cristais hexagonais e monocínicos. Amidos do tipo A apresentam cadeias de amilopectina mais curtas e são encontradas em cereais; tipo B apresentam cadeias de amilopectina maiores e são encontrados em tubérculos; e o tipo C é a mistura do tipo A e B e são encontrados em leguminosas (A. Sharma & Yadav, 2008). Os valores de cristalinidade para os amidos foram 32% (ariá), 34 % (milho), 29% (mandioca) e 29% (batata).

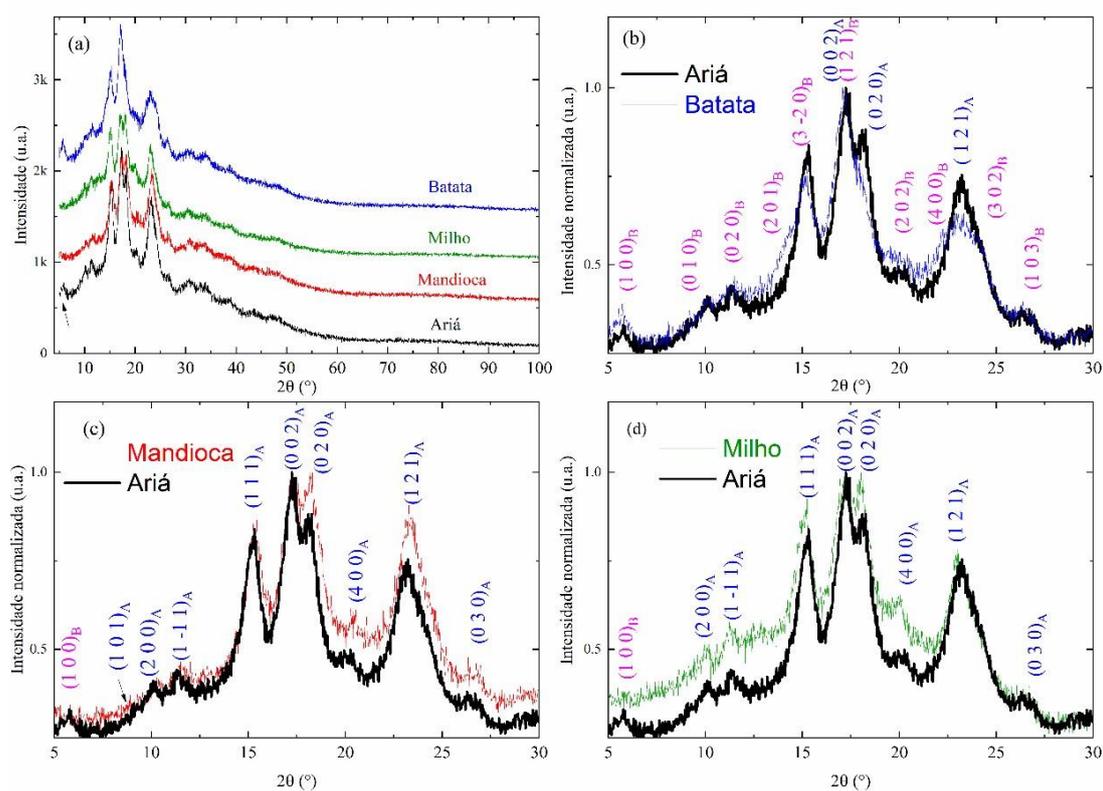


Figura 2 – Padrões de difração de raio-X para os amidos nativos de ariá, batata, milho e mandioca.

3.2 Teor de amilose

O amido de ariá apresentou alto teor de amilose em comparação aos demais amidos (Tabela 1). Teor de amilose muito próximo ao do nosso estudo também foi observado por Orjuela-Baquero, Fernández-Trujillo, & Hernández (2016). Outros autores observaram teor de amilose para os amidos de batata ($\sim 21 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$) (Zaidul, Norulaini, Omar, Yamauchi, & Noda, 2007), milho ($\sim 25 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$) (Lopez-Silva, Bello-Perez, Agama-Acevedo, & Alvarez-Ramirez, 2019) e mandioca ($\sim 24 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$) (Palavecino, Penci, & Ribotta, 2019). Um dos principais fatores que podem afetar o conteúdo de amilose em amidos são genéticos, condições climáticas e tipo de nutrição dos solos durante o cultivo (Sjöö & Nilsson, 2018). O teor de amilose pode estar relacionado diretamente com diversas propriedades físico-químicas de amidos como temperatura de gelatinização, retrogradação e propriedade de pasta como viscosidade de pico e quebra (como será visto nos resultados a seguir) (dos Santos, Leonel, Garcia, do Carmo, & Franco, 2016).

3.3 Turbidez (Claridade de Pasta)

A claridade de pasta é uma importante propriedade físico-química de géis de amidos e estão associados ao teor de amilose, tamanho dos grânulos e as ligações entre as moléculas de amidos nos grânulos (Craig, Maningat, Seib, & Hosney, 1989). Algumas afirmações importantes podem ser feitas sobre a claridade de pasta (Castanha *et al.*, 2017): a transmissão da luz pelas pastas de amidos é maior quando as ligações intra e intermoleculares são menores, pois a repulsão eletronegativa fornece uma alta clareza de pasta, impedindo que as moléculas de amido se liguem e se reassociem.

Nota-se (Tabela 1) que os amidos com maior concentração de amilose apresentaram maior turbidez da pasta. O amido de mandioca apresentou maiores valores

de turbidez, seguido pelo amido de ariá. A opacidade de pastas de amidos são maiores para maior teor de amilose (Visser, Suurs, Bruinenberg, Bleeker, & Jacobsen, 1997). Durante a formação da pasta, os amidos com conteúdo de amilose relativamente mais alto têm maior tendência a penetrar no meio circundante, formando assim uma pasta turva (Oyeyinka, Singh, Adebola, Gerrano, & Amonsou, 2015). Resultados semelhantes foram observados em outros estudos sobre claridade de pasta de amidos nativos (Swinkels, 1985).

Em particular, o uso de uma pasta de amido em um produto específico significa que ele não deve comprometer a aceitabilidade deste produto entre os usuários; por exemplo, os géis de amido usados em tortas de frutas devem ser puros e altamente transparentes para manter as propriedades visuais do produto (Wembabazi, Nuwamanya, Baguma, Wembabazi, & Rubaihayo, 2011). Ou seja, devido à alta turbidez dos amidos de ariá, sua aplicação pela indústria de alimentos deve se restringir a produtos no qual a coloração seja mais escura ou que a adição de amidos de alta turbidez não modifique as propriedades sensoriais do alimento.

3.4 Digestibilidade dos amidos

Dependendo da aplicação, amidos resistentes pode ser uma característica importante, pois são mais resistentes ao processo digestivo. Estes amidos não fornecem energia para o organismo na forma de glicose, mas pode ser benéfico a saúde pois pode sofrer processo fermentativo e produzir ácidos graxos de cadeia curta que podem melhorar o funcionamento do intestino (DeMartino & Cockburn, 2020). Vários benefícios funcionais e de saúde estão associados ao consumo de amidos resistentes, incluindo efeitos hipoglicêmicos, prevenção de câncer colorretal, redução da formação de cálculos biliares, baixas concentrações de colesterol plasmático e triglicérido,

inibição do acúmulo de gordura e aumento da absorção de vitaminas e minerais (Ma, Wang, Wang, Jane, & Du, 2017). Amidos de rápida digestão é o amido digerido rapidamente no intestino delgado e está associado à rápida elevação da glicose plasmática pós-prandial, enquanto o amido de digestão lenta é digerido lentamente no intestino delgado e geralmente é a forma mais desejável de amido na dieta (Ma *et al.*, 2017).

A Tabela 1 mostra os valores de amido de digestão rápida (RDS), amido de digestão lenta (SDS) e amido resistente (RS) para os 4 amidos nativos analisados. Nota-se que o amido de arizema apresentou alta concentração de amido resistente, enquanto o amido de batata apresentou maior concentração de amido de digestão rápida. Também foi observado em outros estudos uma alta concentração de amido de digestão rápida para amido de batata (Castanha, Santos, *et al.*, 2019; Remya, Jyothi, & Sreekumar, 2018). A mandioca também apresentou um bom valor de amido resistente. As diferenças na digestibilidade *in vitro* entre diferentes amidos nativos podem estar relacionados a diversos fatores, como fonte botânica do amido, tamanho dos grânulos, teor de amilose e amilopectina, comprimento e ramificação das cadeias de amilopectina, grau de cristalinidade, composição polimórfica, poros granulares, fissuras e canais dentro do grânulo (Hoover, Hughes, Chung, & Liu, 2010).

O alto teor de amido resistente no arizema pode estar relacionado com o alto teor de amilose deste amido. Uma correlação positiva entre teor de amilose e amido resistente foi observado para amidos de arroz (Zhu, Liu, Wilson, Gu, & Shi, 2011), e uma correlação negativa entre o teor de amilose e o amido de digestão rápida para amido de feijão (S. Sharma, Singh, Viridi, & Rana, 2015) foram observados. Isto corrobora com os nossos resultados.

Ao estudarem a digestibilidade de amidos de diversos tipos de feijão, os autores observaram alta concentração de amido resistente, com valores superiores a 56, 2%. É conhecido que a estrutura cristalina de amidos de leguminosas é considerada do tipo C, uma mistura de cristais do tipo A e B. (Hoover & Ratnayake, 2002). Ou seja, o tipo de estrutura cristalina dos amidos pode estar relacionado com a sua resistência a digestibilidade (o amido de ariá tem padrão tipo C, ver Figura 2), confirmando a alta resistência a digestibilidade dos amidos de ariá.

Tabela 1 – Teor de amilose, turbidez da pasta e propriedades de digestibilidade dos amidos de ariá, milho, mandioca e batata.

Amido	Teor de amilose (%)	Turbidez (Abs_{650nm})	Teor de amidos (%)		
			RDS	SDS	RS
Ariá	38,6 ± 1,6a	0,670 ± 0,02b	50,4 ± 2d	21,2 ± 0,5a	28,4 ± 1a
Milho	29,3 ± 1b	0,656 ± 0,01b	72,2 ± 1b	17,3 ± 0,4b	10,5 ± 1c
Mandioca	26,8 ± 0,2c	0,792 ± 0,01a	63,8 ± 1c	15,2 ± 1c	21 ± 2b
Batata	23,6 ± 0,3d	0,154 ± 0,01c	85,4 ± 1a	11,5 ± 0,1d	3,1 ± 0,1d

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão. ^{a-d} Letras diferentes em uma mesma coluna são diferentes significativamente (p -valor < 0,05). RDS, amido de digestão rápida; SDS, amido de digestão lenta; RS, amido resistente.

3.5 Propriedades de hidratação dos géis

Parâmetros como os índices de solubilidade e absorção de água de amidos são importantes, pois estão relacionados com o poder intumescimento e a solubilidade fornecem evidências da magnitude da interação entre as cadeias de amido nos domínios amorfo e cristalino (Sjöö & Nilsson, 2018). De um modo geral, os amidos apresentam maior solubilidade em água com aumento da temperatura (Figura 3). Em 55 °C nenhuma das amostras de amido apresentaram índice de solubilidade em água acima de 0,5%. Para 65°C até 95°C nota-se um aumento significativo dos índices de

solubilidade em água de todos os amidos. Essa temperatura inicial do aumento das propriedades de hidratação dos géis de amido pode estar relacionada ao início da gelatinização, que promove a clivagem das ligações de hidrogênio e a absorção irreversível e progressiva da água (Maniglia *et al.*, 2020). Quando o amido é aquecido em excesso de água, a estrutura cristalina é interrompida devido à quebra das ligações de hidrogênio, e as moléculas de água ficam ligadas pela ligação de hidrogênio aos grupos hidroxila expostos da amilose e amilopectina (Sjöö & Nilsson, 2018).

Quando relacionados os diferentes tipos de amidos, o amido de ariá apresentou boa solubilidade em água, com grande aumento após 65 °C e maior valor para 95 °C. Os valores observados para os outros amidos corroboram com outros recentes estudos: milho (Castanha, Lima, Matta Junior, Campanella, & Augusto, 2019), mandioca (Maniglia *et al.*, 2020) e batata (Castanha, Santos, *et al.*, 2019). O alto teor de amilose dos amidos de ariá podem estar relacionados com a alta solubilidade em maiores temperaturas. Amidos de arroz com maior teor de amilose também apresentaram maior solubilidade (Kong, Zhu, Sui, & Bao, 2015). Em estudos sobre as propriedades do amido de achira (*Canna indica* L.) (Andrade-Mahecha, Tapia-Blácido, & Menegalli, 2012), os autores observaram o aquecimento destes amidos (com alto teor de amilose ~ 40 g.100 g⁻¹ de amido) causavam a lixiviação das cadeias de amilose e estas ficam dispersas na solução, favorecendo a solubilidade do amido.

Os amidos de ariá e milho apresentaram menor índice de absorção de água para aquecimento à 95 °C (Figura 3). Foi observado em estudo de diferentes cultivares de arroz que a composição de amilose e amilopectina podem apresentar diferentes propriedades de hidratação dos amidos (Kong *et al.*, 2015). Amilose restringe a o inchaço dos grânulos de amido, reforçado sua rede interna (Jiang *et al.*, 2020). Baixos teores de amilose exibiram um poder de dilatação relativamente maior do que os amidos

com alto teor de amilose, enquanto os últimos apresentaram um maior índice de solubilidade em água (Boudries *et al.*, 2009). Esta observação corrobora com os resultados observados neste estudo, no qual o amido de ariá apresentou maior solubilidade e uma das menores capacidades de absorção de água. Carboidratos com alto índice de absorção de água podem ser usados para retardar o endurecimento e controlar a umidade, bem como a formação de cristais de gelo, aumentando assim a estabilidade dos alimentos (Andrade-Mahecha *et al.*, 2012), o que pode ser uma boa sugestão de aplicação dos amidos de ariá.

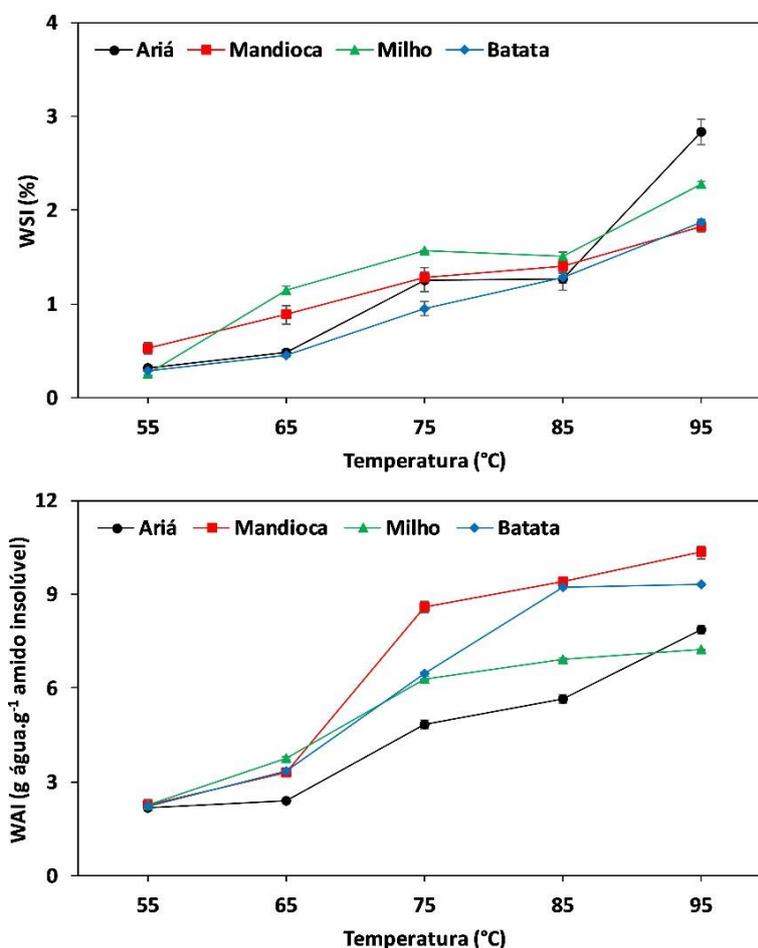


Figura 3 – Índice de solubilidade (WSI) absorção de água (WAI) dos amidos nativos de ariá, milho, mandioca e batata à 55, 65, 75, 85 e 95 °C. Curvas foram adicionadas para melhor compreensão dos resultados.

3.6 Clareza depasta

A clareza da pasta de amido é um dos fatores importantes das qualidades do produto, pois o amido para o espessamento do recheio de torta de frutas é preferencialmente transparente, enquanto o amido usado no molho para salada deve ser opaco (Sjöö & Nilsson, 2018). Os resultados de pasta mostraram que o amido de ariá apresenta alta turbidez, se assemelhando ao amido de milho (não houve diferença significativa; $p\text{-valor} > 0.05$). O amido de mandioca apresentou maior turbidez, enquanto o amido de batata apresentou maior transmitância da luz UV-Vis. Estudos anteriores sobre claridade de pasta de diferentes amidos também observaram o mesmo comportamento deste estudo: claridade de pasta maior para amidos de batata, seguido de tapioca e milho (Craig *et al.*, 1989).

Algumas afirmações podem ser feitas sobre a claridade de pasta de amidos (Castanha *et al.*, 2017):

1) a presença de açúcares redutores podem aumentar a claridade de pasta já que estes açúcares podem interferir no processo de associação molecular;

2) quanto menor a quantidade de ligações intra e intermoleculares entre as moléculas de amido, menor é a absorção de luz já que elas permanecerão mais hidratadas; e

3) a repulsão eletronegativa fornece uma alta clareza da pasta, impedindo que as moléculas de amido se liguem um ao outro. Amidos com maior teor de amilose tem menor tendência de inchamento dos grânulos durante o processo de gelificação. Durante o inchamento dos grânulos, maior quantidade de luz passa através dos grânulos, reduzindo a reflexão e da luz, e conseqüentemente aumentando a claridade de pasta (Craig *et al.*, 1989). Amidos com maior teor de amido tendem a ter maior turbidez (ou menor transmitância). Devido ao alto teor de amilose, os amidos de ariá podem ser

utilizados em processos na indústria de alimentos no qual a alta turbidez não seja fator determinante para rejeição do produto.

3.7 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta do amido do ariá e de outros amidos comerciais (milho, batata e mandioca) são apresentadas na Tabela 2 e na Figura 4. PT indica a menor temperatura que dá início ao processo de gelatinização (Balet, Guelpa, Fox, & Manley, 2019). Os valores de PT variam de 69.5 – 87.7 °C. O amido de ariá apresentou maior PT em relação aos amidos analisados. O aquecimento dos grânulos de amido na água acima dessa temperatura permite a absorção de uma grande quantidade de água e o aumento do tamanho devido ao inchaço, causando gelatinização (Zabot *et al.*, 2019).

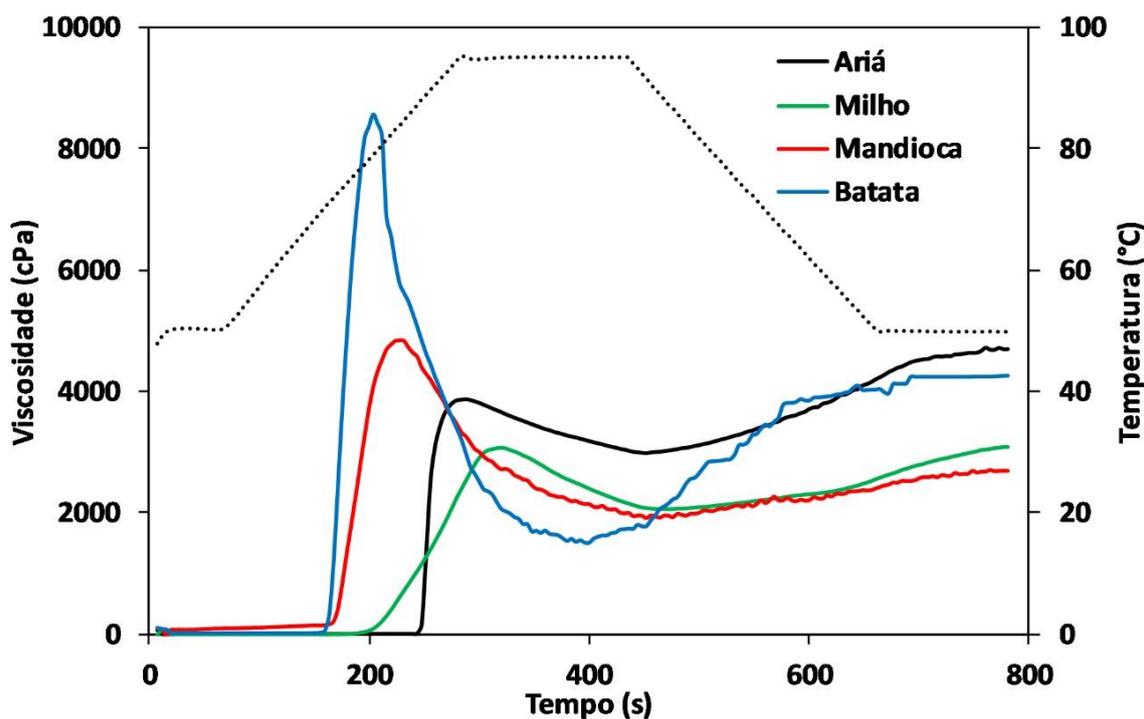


Figura 4 – Propriedade de pasta dos amidos nativos de ariá, mandioca, milho e batata.

PAV pode ser definido como a viscosidade máxima alcançada pelos amidos no qual seus grânulos atingem o nível máximo de inchamento (Ribotta, Colombo, &

Rosell, 2012). Também, PAV é uma indicação da capacidade de retenção de água do amido (Balet *et al.*, 2019). Nota-se que o amido de batata apresentou maior PAV dentre os amidos analisados (Quadro 1). O amido de ariá diferenciou significativamente (p -valor <0.05) dos outros amidos no qual somente o amido de milho apresentou menor PAV em relação ao ariá. As propriedades de colagem do amido são afetadas pelo conteúdo de amilose e lipídios e pela distribuição de amilopectina no comprimento da cadeia ramificada. A amilopectina contribui para o inchaço dos grânulos de amido e colagem, enquanto a amilose e os lipídios inibem o inchaço (Jane *et al.*, 1999). Amidos com baixos valores de PAV podem apresentar alto teor de amilose e, conseqüentemente, baixa capacidade de ligar-se à água através de ligações de hidrogênio (Tangsriangul, Wongsagonsup, & Suphantharika, 2019). Em estudos de mistura de trigo com outros amidos (Zaidul *et al.*, 2007), foi observado que o amido de batata apresentou maior PAV em relação a outros amidos como batata doce, inhame e mandioca. Amido de mandioca também apresentou maior PAV em relação ao amido de milho em estudo de (Palabiyik *et al.*, 2017).

O amido de ariá apresenta alta PT, baixa viscosidade de bico e baixo valor de RBD (Quadro 1). Isso pode estar relacionado que cadeias longas de amilopectina imitem as cadeias de amilose, formando complexos helicoidais com lipídios e entrelaçam-se com outras cadeias ramificadas para manter a integridade dos grânulos de amido durante o aquecimento e cisalhamento (Jane *et al.*, 1999). O alto teor de amilose nos amidos de ariá podem não contribuir para o inchaço dos grãos durante o aquecimento, exibindo menor viscosidade de pico (Jane *et al.*, 1999). Fatores como concentração de amido, grau de polimerização e arquitetura ramificada de amilopectina e amilose, a proporção desses dois componentes e a presença de pequenas moléculas

que podem se complexar com amilose, como lipídios, influenciam o comportamento de colagem dos géis (Blazek & Copeland, 2008).

Durante o TAV, as dispersões de amido são submetidas à alta temperatura e tensão de cisalhamento mecânico, que perturbam ainda mais os grânulos de amido. Isso pode resultar em alinhamento e lixiviação da amilose (Jiménez-Hernández, Salazar-Montoya, & Ramos-Ramírez, 2007). BD pode ser definido como a diferença entre PAV e TAV e está relacionado com a viscosidade mínima das pastas dos amidos antes do resfriamento. BD é o resultado da quebra da estrutura granular dos amidos devido à temperatura e o cisalhamento (Zabot *et al.*, 2019). Com aquecimento contínuo, após atingir o pico de viscosidade, a viscosidade da pasta de amido diminui rapidamente devido à desintegração dos grânulos e à lixiviação dos polímeros de amido solubilizados dos grânulos inchados para a solução. Os polímeros também podem se alinhar na direção do cisalhamento, o que reduz ainda mais a viscosidade da pasta (Balet *et al.*, 2019).

Devido à dificuldade de se discutir os dados de BD e SB, (Castanha *et al.*, 2017) definiram outras duas variáveis: *breakdown* relativo (RBD) que é a relação entre BD e PAV; e *setback* relativo (RSB) que é a relação entre SB e TAV. O amido de aríá apresentou mais baixo valor de *breakdown* entre os amidos analisados enquanto o amido de mandioca apresentou menor valor de RBD. Isto pode ser interpretado como: o aríá consegue manter uma viscosidade maior do gel após o resfriamento, mas o amido de mandioca apresenta menor retrogradação em comparação aos outros amidos. Portanto, o amido de aríá apresentou maior estabilidade de pasta que os demais amidos, o que pode estar relacionado com as suas baixas viscosidades de pico, aliadas a uma maior estabilidade a temperatura e ao cisalhamento (Ribotta *et al.*, 2012). Este comportamento para o aríá pode estar relacionado com a alta concentração de amilose

(Quadro 1). Amidos com maior teor de amilose apresentam baixa viscosidade e diferença muito pequena entre as viscosidades de pico e a final (Blennow, Mette Bay-Smith, & Bauer, 2001). A amilose tem uma capacidade maior de permanecer próximo o suficiente para formar ligações de hidrogênio entre hidroxilos e moléculas adjacentes, devido à adição de fatores como linearidade, mobilidade e alta quantidade de grupos hidroxila (Castanha *et al.*, 2017). O ariá também apresentou maiores valores para FAV indicando que este amido apresenta melhores propriedades espessantes que os amidos de batata, milho e mandioca (Ribotta *et al.*, 2012).

De acordo com o Quadro 1, o amido de ariá apresentou valor de RSB semelhante ao amido de mandioca, mas foi menor significativamente (p -valor <0.05) em relação ao amido de batata. Menores valores de RSB indicam que os géis de amidos são mais resistentes com menor tendência a retrogradação (Castanha, Lima, *et al.*, 2019). De uma forma geral, é importante ressaltar que as propriedades de colagem do amido são afetadas pelo tamanho dos grânulos de amido, os teores de amilose, lipídios ou proteínas e estrutura da amilopectina (Ao & Jane, 2007).

A estrutura cristalina dos amidos também pode afetar as propriedades de pasta de amidos. Amidos do tipo-C tendem a apresentar menor diferença entre a viscosidade aparente de pico (PAV) e viscosidade mínima do gel (TAV) e uma alta viscosidade final aparente (FVA), muitas vezes maior que PAV, como foi observado para o ariá e para amidos de feijão espada (*Canavalia gladiata*) (Adebowale, Afolabi, & Olu-Owolabi, 2006), feijão branco e grão de bico (Romero & Zhang, 2019) e feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L) (Zanella Pinto *et al.*, 2019) que apresentam cristais de amido do tipo-C.

Quadro 1 – Parâmetros de RVA para os amidos nativos de ariá, milho, mandioca e batata.

Amido	PT (°C)	PAV (cPa)	TAV (cPa)	BD (cPa)	RBD (%)	FVA (cPa)	SB (cPa)	RSB (%)
Ariá	87,7 ± 0,3a	3930 ± 55c	3051 ± 64b	879 ± 9c	22,4 ± 0,6c	4944 ± 240a	1994 ± 76b	40,3 ± 0,4b
Milho	77,5 ± 0,1b	2987 ± 74d	2036 ± 22c	951 ± 52b	31,8 ± 1b	2995 ± 82b	958 ± 60c	31,9 ± 1,1c
Mandioca	71,4 ± 0,4c	4786 ± 65b	868 ± 54d	919 ± 12b	19,2 ± 0,1d	1693 ± 7c	725 ± 54d	42,8 ± 3b
Batata	69,5 ± 0,8d	8446 ± 39a	3586 ± 17a	6860 ± 56a	81,2 ± 0,3 ^a	4038 ± 103a	2451 ± 120a	60,7 ± 1,4a

^{a-d} Letras iguais em uma mesma coluna não diferem significativamente (p -valor > 0,05).. PT: temperatura de pasta; PAV: viscosidade aparente de pico; TAV: mínima viscosidade aparente; RBD: breakdown relativo; FAV: viscosidade aparente final; SB: viscosidade de setback e RSB: setback relativo.

3.8 Análises térmicas

Na presença de temperatura e água em excesso, os amidos passam por uma transição de fase conhecida como gelatinização. A faixa de temperatura que acontece esta transição depende do tipo do amido e quais modificações (físicas ou químicas) eles foram submetidos. Esta transição de fase está associada à difusão de água no grânulo, captação de água pela região amorfa do fundo, hidratação e dilatações radiais dos grânulos de amido, perda de birrefringência, perda de ordem cristalina, absorção de calor, desenrolamento e dissociação de hélices duplas em as regiões cristalinas e a lixiviação de amilose (Beninca *et al.*, 2013). De uma forma geral, os amidos nativos apresentaram alta temperatura de pico de gelatinização (70 – 88,4 °C) e retrogradação (55,8 – 68,4 °C) (Tabela 3). Ao estudarem as propriedades de amidos de arracacha (Castanha *et al.*, 2018), os autores citam que grânulos de amidos com fissuras ou quebras podem causar a redução da temperatura de gelatinização, pois a água pode facilmente entrar nas camadas mais internas dos grânulos de amido. Como observado nas imagens de microscopia eletrônica de varredura, os grânulos de amidos de ariá,

milho, mandioca e batata apresentam poucas imperfeições na superfície dos grânulos, dificultando a sua gelatinização.

Tabela 2 - Propriedades térmicas (gelatinização e retrogradação) dos amidos nativos

Gelatinização					
Amidos	$T_{inicial}(^{\circ}C)$	$T_{pico}(^{\circ}C)$	$T_{final}(^{\circ}C)$	$\Delta H(J.g^{-1})$	-
Ariá	84,6 ± 1,7a	88,4 ± 0,3b	92,1 ± 0,4a	25 ± 0,8a	-
Milho	76,9 ± 1,2b	76,9 ± 1,2a	88,7 ± 1b	17,3 ± 0,5b	-
Mandioca	62,9 ± 0,4c	71,9 ± 0,2c	82,4 ± 0,9c	7,4 ± 0,9d	-
Batata	62 ± 0,5c	70 ± 0,5c	83,3 ± 0,7c	14,3 ± 1c	-
Retrogradação					
Amidos	$T_{inicial}(^{\circ}C)$	$T_{pico}(^{\circ}C)$	$T_{final}(^{\circ}C)$	$\Delta H(J.g^{-1})$	R (%)
Ariá	58,3 ± 0,5a	68,4 ± 0,9b	74,9 ± 0,7a	12,3 ± 0,7a	49,3 ± 1,3a
Milho	55,2 ± 0,9b	62,7 ± 0,6a	71,7 ± 0,4b	5,4 ± 0,4b	31,4 ± 1,6b
Mandioca	45 ± 0,3d	55,8 ± 0,9c	63,7 ± 0,4c	1,8 ± 0,1d	24,2 ± 4,2c
Batata	49,6 ± 0,7c	57 ± 1,4c	63,3 ± 0,7c	2,2 ± 0,1c	15,3 ± 1,3d

Os dados são apresentados como média (n=3) ± desvio padrão. ^{a-d} Letras diferentes em uma mesma coluna diferem significativamente (p-valor<0,05).

O amido de ariá apresentou maior temperatura de pico de gelatinização em relação aos outros amidos nativos. Apesar de que o aumento do teor de amilose (fase amorfa) tender a reduzir a temperatura inicial e a entalpia de gelatinização (Singh *et al.*, 2003) outros fatores como o teor de amido resistente podem interferir na temperatura de gelatinização já que maiores concentrações de amido resistente podem causar maior temperatura de gelatinização (Sun *et al.*, 2020), corroborando com os valores mais altos de amido resistente para os amidos de ariá. Também, as diferenças nas propriedades térmicas entre os diferentes amidos podem ser atribuídas às diferenças na proporção de amilose para amilopectina (Kim & Bemiller, 2012). Outros estudos mostraram que amidos com alto teor de amilose e maior tamanho médio das cadeias da amilose podem aumentar a temperatura de gelatinização (Jane *et al.*, 1999). O amido de batata

apresentou menor temperatura inicial de gelatinização apesar do maior teor de amilopectina dentre os amidos estudados. E este comportamento pode estar relacionado com as regiões cristalinas apresentarem ligações mais fracas, favorecendo o processo de gelatinização (Hsieh, Liu, Whaley, & Shi, 2019). Uma observação interessante é que a faixa de temperatura para gelatinização do amido de arizá foi mais estreita dentre os outros amidos. Faixas mais estreitas são comuns em amidos com maior teor de amilopectina (Hsieh *et al.*, 2019). Isto pode ser explicado que mesmo em menor quantidade, as cadeias de amilopectina do amido de arizá podem apresentar uma maior alta organização, dificultando a gelatinização do amido.

A ΔH de gelatinização está relacionado com a perda de conformação da estrutura helicoidal e depois perda da cristalinidade dos amidos durante o processo de gelatinização (dos Santos *et al.*, 2016). Amidos com cristais do tipo B (tubérculos) começam a gelatinizar em temperaturas menores, mas apresentam alta temperatura de pico. O amido com alto teor de amilose tem suas duplas hélices formadas basicamente pela amilose e estas requerem alta temperatura e energia para perder a sua conformação durante a gelatinização (Weber, Collares-Queiroz, & Chang, 2009), explicando os valores de temperatura e ΔH de gelatinização mais altos do amido com alto teor de amilose (arizá e milho). Também, os maiores valores de cristalinidade para estes amidos podem confirmar os maiores valores de temperatura e ΔH de gelatinização.

A ΔH de retrogradação fornece uma medida quantitativa da transformação de energia que ocorre durante a fusão da amilopectina recristalizada, bem como medições precisas das temperaturas de transição do evento endotérmico (Singh *et al.*, 2003). É comum que as temperaturas de gelatinização após a retrogradação sejam menores pois durante o processo de retrogradação, as cadeias recristalizadas são mais fracas, exigindo menos energia para modificar a estrutura helicoidal dos amidos (dos Santos *et al.*,

2016). Isto é comprovado pelos valores de ΔH para gelatinização maiores que para retrogradação (Huang *et al.*, 2019).

Os amidos de ariá apresentaram alto valor de retrogradação, seguido pelo amido de milho. A retrogradação do amido é aumentada aumentando a concentração de amido na pasta, aumentando o teor de amilose, aumentando o comprimento da amilopectina na cadeia ramificada (Sjöö & Nilsson, 2018). Além disso, o amido de ariá pode apresentar longas cadeias de amilopectina, ocasionando mais rápida associação durante o armazenamento (Matignon & Tecante, 2017). Ao estudarem amidos de diferentes fontes botânicas, os autores observaram que os amidos com maior teor de amilose apresentaram maior entalpia de retrogradação (Fredriksson, Silverio, Andersson, Eliasson, & Åman, 1998).

3.9 Força degel

A Figura 5 mostra os valores de força de gel para os amidos nativos. Nota-se que os amidos apresentaram valores diferentes significativamente (p -valor <0.05) em relação a força de gel, com o amido de ariá apresentando os maiores valores, seguidos pelo amido de milho. O amido de ariá apresentou mais de 50% a mais de dureza em relação ao amido de milho. Valores semelhantes de força de gel também foram observados em outros estudos sobre força de gel de amidos nativos de batata (Castanha *et al.*, 2017) e milho e mandioca (Karam, Grossmann, Silva, Ferrero, & Zaritzky, 2005).

Após o resfriamento dos géis utilizados para obtenção das propriedades de pasta (RVA), os géis se estabilizam, tornando-se mais rígidos, principalmente devido a reassociação das moléculas de amilose durante o resfriamento (Castanha *et al.*, 2017), reestabelecendo as ligações de hidrogênio entre as cadeias lineares da amilose. Quanto maior a retrogradação (como observado para o ariá na Tabela 3), maior a força de gel

(Weber *et al.*, 2009). Esta observação pode ser correlacionada com os resultados observados para o ariá já que foi o amido que apresentou maior dureza após resfriamento.

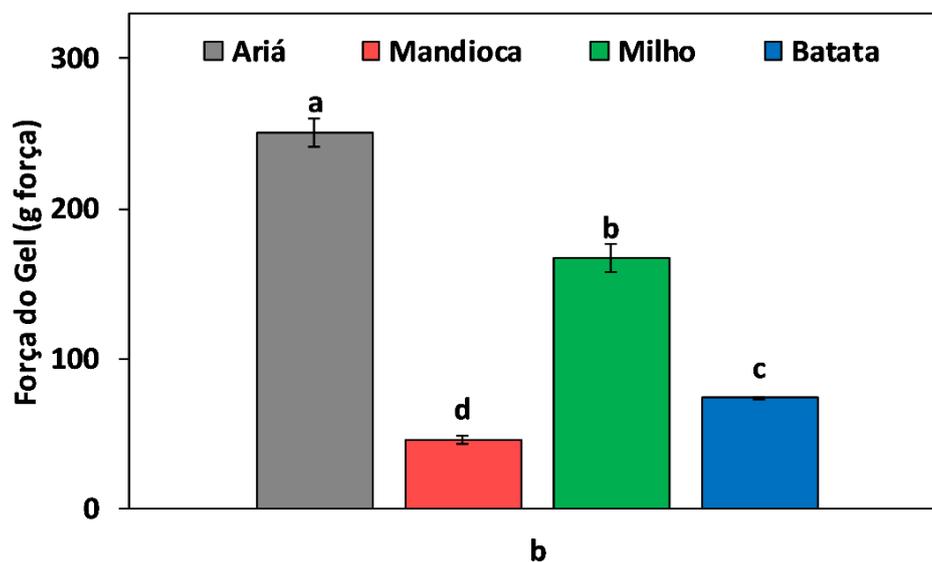


Figura 5 – Parâmetros de textura (força de gel) para géis de ariá, mandioca, milho e batata. ^{a-d} letras iguais para barras diferentes não diferem significativamente (p -valor $>0,05$).

4 Conclusão

As propriedades dos amidos de ariá diferiram dos amidos comerciais como batata, milho e mandioca. O amido do ariá apresentou grande concentração de amilose, e, em consequência, baixa solubilidade e baixa capacidade de absorção de água. Do ponto de vista nutricional, o amido de ariá pode ser uma boa alternativa para melhoria da flora intestinal devido seu alto teor de amido resistente. Os cristais de amido do ariá são do tipo C, encontrado em diversas leguminosas. Os resultados de propriedade de pasta mostraram que o amido de ariá apresenta baixa viscosidade de pico e baixa viscosidade de quebra (*breakdown*). Os géis de amido do ariá apresentaram altos valores de força de gel, principalmente motivados pela alta concentração de amilose. Portanto, o amido do ariá apresenta características tecnológicas desejáveis para alimentos como alta textura e alta concentração de amido resistente.

Referências

- Adebowale, K. O., Afolabi, T. A., & Olu-Owolabi, B. I. (2006). Functional, physicochemical and retrogradation properties of sword bean (*Canavalia gladiata*) acetylated and oxidized starches. *Carbohydrate Polymers*, *65*(1), 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.12.032>
- Andrade-Mahecha, M. M., Tapia-Blácido, D. R., & Menegalli, F. C. (2012). Physical-chemical, thermal, and functional properties of achira (*Canna indica* L.) flour and starch from different geographical origin. *Starch/Staerke*, *64*(5), 348–358. <https://doi.org/10.1002/star.201100149>
- Ao, Z., & Jane, J. lin. (2007). Characterization and modeling of the A- and B-granule starches of wheat, triticale, and barley. *Carbohydrate Polymers*, *67*(1), 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.04.013>
- Balet, S., Guelpa, A., Fox, G., & Manley, M. (2019). Rapid Visco Analyser (RVA) as a Tool for Measuring Starch-Related Physicochemical Properties in Cereals: a Review. *Food Analytical Methods*, *12*(10), 2344–2360. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01581-w>
- Beninca, C., Colman, T. A. D., Lacerda, L. G., Da Silva Carvalho Filho, M. A., Demiate, I. M., Bannach, G., & Schnitzler, E. (2013). Thermal, rheological, and structural behaviors of natural and modified cassava starch granules, with sodium hypochlorite solutions. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *111*(3), 2217–2222. <https://doi.org/10.1007/s10973-012-2592-z>
- Blazek, J., & Copeland, L. (2008). Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. *Carbohydrate Polymers*, *71*(3), 380–387. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.06.010>
- Blennow, A., Mette Bay-Smidt, A., & Bauer, R. (2001). Amylopectin aggregation as a

- function of starch phosphate content studied by size exclusion chromatography and on-line refractive index and light scattering. *International Journal of Biological Macromolecules*, 28(5), 409–420. [https://doi.org/10.1016/S0141-8130\(01\)00133-7](https://doi.org/10.1016/S0141-8130(01)00133-7)
- Boudries, N., Belhaneche, N., Nadjemi, B., Deroanne, C., Mathlouthi, M., Roger, B., & Sindic, M. (2009). Physicochemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria. *Carbohydrate Polymers*, 78(3), 475–480. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.05.010>
- Castanha, N., Lima, D. C., Matta Junior, M. D., Campanella, O. H., & Augusto, P. E. D. (2019). Combining ozone and ultrasound technologies to modify maize starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 63–74. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.161>
- Castanha, N., Matta Junior, M. D. da, & Augusto, P. E. D. (2017). Potato starch modification using the ozone technology. *Food Hydrocolloids*, 66, 343–356. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.12.001>
- Castanha, N., Santos, D. N. e., Cunha, R. L., & Augusto, P. E. D. (2019). Properties and possible applications of ozone-modified potato starch. *Food Research International*, 116(June 2018), 1192–1201. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.064>
- Castanha, N., Villar, J., Matta Junior, M. D. da, Anjos, C. B. P. dos, & Augusto, P. E. D. (2018). Structure and properties of starches from Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) roots. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 1029–1038. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.015>
- Craig, S. A. S., Maningat, C. C., Seib, P. A., & Hosney, R. C. (1989). Starch Paste Clarity. *Cereal Chemistry*, 66(3), 173–188.
- De La Hera, E., Gomez, M., & Rosell, C. M. (2013). Particle size distribution of rice

- flour affecting the starch enzymatic hydrolysis and hydration properties. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 421–427. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.06.002>
- DeMartino, P., & Cockburn, D. W. (2020). Resistant starch: impact on the gut microbiome and health. *Current Opinion in Biotechnology*, 61, 66–71. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.10.008>
- dos Santos, T. P. R., Leonel, M., Garcia, É. L., do Carmo, E. L., & Franco, C. M. L. (2016). Crystallinity, thermal and pasting properties of starches from different potato cultivars grown in Brazil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.091>
- Englyst, H. N. N., Kingman, S. M. M., & Cummings, J. H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46(Suppl 2), 33–50.
- Fredriksson, H., Silverio, J., Andersson, R., Eliasson, A. C., & Åman, P. (1998). The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. *Carbohydrate Polymers*, 35(3–4), 119–134. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(97\)00247-6](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(97)00247-6)
- Hoover, R., Hughes, T., Chung, H. J., & Liu, Q. (2010). Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. *Food Research International*, 43(2), 399–413. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.001>
- Hoover, R., & Ratnayake, W. S. (2002). Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada. *Food Chemistry*, 78(4), 489–498. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00163-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00163-2)
- Hsieh, C. F., Liu, W., Whaley, J. K., & Shi, Y. C. (2019). Structure and functional properties of waxy starches. *Food Hydrocolloids*, 94(December 2018), 238–254.

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.026>

Huang, J., Yuan, M., Kong, X., Wu, D., Zheng, Z., & Shu, X. (2019). A novel starch: Characterizations of starches separated from tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Ktze) seed. *International Journal of Biological Macromolecules*, *139*, 1085–1091. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.044>

Imberty, A., Chanzy, H., Pérez, S., Bulèon, A., & Tran, V. (1988). The double-helical nature of the crystalline part of A-starch. *Journal of Molecular Biology*, *201*(2), 365–378. [https://doi.org/10.1016/0022-2836\(88\)90144-1](https://doi.org/10.1016/0022-2836(88)90144-1)

Imberty, A., & Perez, S. (1988). A revisit to the three-dimensional structure of B-type starch. *Biopolymers*, *27*(8), 1205–1221. <https://doi.org/10.1002/bip.360270803>

Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., McPherson, A. E., Wong, K. S., Radosavljevic, M., & Kasemsuwan, T. (1999). Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry*, *76*(5), 629–637. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.5.629>

Jiang, F., Du, C., Guo, Y., Fu, J., Jiang, W., & Du, S. kui.(2020). Physicochemical and structural properties of starches isolated from quinoa varieties. *Food Hydrocolloids*, *101*(November 2019). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105515>

Jiménez-Hernández, J., Salazar-Montoya, J. A., & Ramos-Ramírez, E. G. (2007). Physical, chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison with potato and maize starches. *Carbohydrate Polymers*, *68*(4), 679–686. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.07.035>

Karam, L. B., Grossmann, M. V. E., Silva, R. S. S. F., Ferrero, C., & Zaritzky, N. E. (2005). Gel textural characteristics of corn, cassava and yam starch blends: A

- mixture surface response methodology approach. *Starch/Staerke*, 57(2), 62–70.
<https://doi.org/10.1002/star.200400328>
- Kim, H. S., & Bemiller, J. N. (2012). Effects of hydrocolloids on the pasting and paste properties of commercial pea starch. *Carbohydrate Polymers*, 88(4), 1164–1171.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.01.060>
- Kinupp, V. F., & Lorenzi, H. (2014). *Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas*. (First Edit; Valdely Ferreira Kinupp & H. Lorenzi, Eds.). São Paulo: Instituto Plantarum.
- Kong, X., Zhu, P., Sui, Z., & Bao, J. (2015). Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinisation temperature combinations. *Food Chemistry*, 172, 433–440.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.085>
- Lopez-Rubio, A., Flanagan, B. M., Gilbert, E. P., & Gidley, M. J. (2008). A novel approach for calculating starch crystallinity and its correlation with double helix content: A combined XRD and NMR study. *Biopolymers*, 89(9), 761–768.
<https://doi.org/10.1002/bip.21005>
- Lopez-Silva, M., Bello-Perez, L. A., Agama-Acevedo, E., & Alvarez-Ramirez, J. (2019). Effect of amylose content in morphological, functional and emulsification properties of OSA modified corn starch. *Food Hydrocolloids*, 97(February).
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105212>
- Ma, M., Wang, Y., Wang, M., Jane, J. lin, & Du, S. kui. (2017). Physicochemical properties and in vitro digestibility of legume starches. *Food Hydrocolloids*, 63, 249–255. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.004>
- Maniglia, B. C., Lima, D. C., Matta Junior, M. D., Le-Bail, P., Le-Bail, A., & Augusto, P. E. D. (2020). Preparation of cassava starch hydrogels for application in 3D

- printing using dry heating treatment (DHT): A prospective study on the effects of DHT and gelatinization conditions. *Food Research International*, 128(October 2019). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108803>
- Marques, C. M. M. C., Filho, D. F. S., Blind, A. D., Costa, H. G. da, & Figueiredo, J. N. R. (2019). Characterization physical and chemical of clones ariá (*Calathea allouia*). *Brazilian Applied Science Review*, Curitiba, v.2, n.2, 532–549. <https://doi.org/10.34115/basrv3n5-010>
- Matignon, A., & Tecante, A. (2017). Starch retrogradation: From starch components to cereal products. *Food Hydrocolloids*, 68, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.032>
- Orjuela-Baquero, N. M., Fernández-Trujillo, J. P., & Hernández, M. S. (2016). Characterization of native starches from Amazonian roots and tubers. *Acta Horticulturae*, 1118, 201–206. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1118.30>
- Oyeyinka, S. A., Singh, S., Adebola, P. O., Gerrano, A. S., & Amonsou, E. O. (2015). Physicochemical properties of starches with variable amylose contents extracted from bambara groundnut genotypes. *Carbohydrate Polymers*, 133, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.06.100>
- Palabiyik, İ., Toker, O. S., Karaman, S., & Yildiz, Ö. (2017). A modeling approach in the interpretation of starch pasting properties. *Journal of Cereal Science*, 74, 272–278. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.008>
- Palavecino, P. M., Penci, M. C., & Ribotta, P. D. (2019). Impact of chemical modifications in pilot-scale isolated sorghum starch and commercial cassava starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 521–529. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.202>
- Perera, C., & Hoover, R. (1999). Influence of hydroxypropylation on retrogradation

- properties of native, defatted and heat-moisture treated potato starches. *Food Chemistry*, 64(3), 361–375. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00130-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00130-7)
- Popov, D., Buléon, A., Burghammer, M., Chanzy, H., Montesanti, N., Putaux, J. L., ... Riekkel, C. (2009). Crystal structure of A-amylose: A revisit from synchrotron microdiffraction analysis of single crystals. *Macromolecules*, 42(4), 1167–1174. <https://doi.org/10.1021/ma801789j>
- Remya, R., Jyothi, A. N., & Sreekumar, J. (2018). Effect of chemical modification with citric acid on the physicochemical properties and resistant starch formation in different starches. *Carbohydrate Polymers*, 202(August), 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.128>
- Ribotta, P. D., Colombo, A., & Rosell, C. M. (2012). Enzymatic modifications of pea protein and its application in protein-cassava and corn starch gels. *Food Hydrocolloids*, 27(1), 185–190. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.07.006>
- Romero, H. M., & Zhang, Y. (2019). Physicochemical properties and rheological behavior of flours and starches from four bean varieties for gluten-free pasta formulation. *Journal of Agriculture and Food Research*, 1(149), 100001. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2019.100001>
- Sharma, A., & Yadav, B. S. (2008). Resistant starch: Physiological roles and food applications. *Food Reviews International*, 24(2), 193–234. <https://doi.org/10.1080/87559120801926237>
- Sharma, S., Singh, N., Viridi, A. S., & Rana, J. C. (2015). Himalayan kidney bean germplasm: Grain-flour characteristics, structural-functional properties and in-vitro digestibility of starches. *Food Research International*, 77, 498–505. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.030>
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N. S., & Gill, B. S. (2003). Morphological,

- thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81(2), 219–231. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8)
- Sjöö, M., & Nilsson, L. (2018). *Starch in Food: Structure, Function and Applications* (Second ed.; M. Sjöö & L. Nilsson, Eds.). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sun, Y., Wang, M., Ma, S., & Wang, H. (2020). Physicochemical characterization of rice, potato, and pea starches, each with different crystalline pattern, when incorporated with Konjac glucomannan. *Food Hydrocolloids*, 101(November 2019). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105499>
- Swinkels, J. J. M. (1985). Composition and Properties of Commercial Native Starches. *Starch - Stärke*, 37(1), 1–5. <https://doi.org/10.1002/star.19850370102>
- Takahashi, Y., Kumano, T., & Nishikawa, S. (2004). Crystal Structure of B-Amylose. *Macromolecules*, 37(18), 6827–6832. <https://doi.org/10.1021/ma0490956>
- Tangsriangul, N., Wongsagonsup, R., & Suphantharika, M. (2019). Physicochemical and rheological properties of flour and starch from Thai pigmented rice cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137, 666–675. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.196>
- Teixeira, L. S., Martim, S. R., Silva, L. S. C., Kinupp, V. F., Teixeira, M. F. S., & Porto, A. L. F. (2016). Efficiency of Amazonian tubers flours in modulating gut microbiota of male rats. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 38, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.08.015>
- Varejão, M. de J. C., Ribeiro, M. N. de S., & Bueno, C. R. (1988). Composição mineral do ariá (*Calathea allouia* (Aubl.) Lindl. *Acta Amazonica*, 18(suppl 1-2), 477–480. <https://doi.org/10.1590/1809-43921988185480>
- Visser, R. G. F., Suurs, L. C. J. M., Bruinenberg, P. M., Bleeker, I., & Jacobsen, E.

- (1997). Comparison between amylose-free and amylose containing potato starches. *Starch/Staerke*, 49(11), 438–443. <https://doi.org/10.1002/star.19970491103>
- Weber, F. H., Collares-Queiroz, F. P., & Chang, Y. K. (2009). Physicochemical, rheological, morphological, and thermal characterization of normal, waxy, and high amylose corn starches. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29(4), 748–753. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612009000400008>
- Wembabazi, E., Nuwamanya, E., Baguma, Y., Wembabazi, E., & Rubaihayo, P. (2011). A Comparative study of the physicochemical properties of starches from root , tuber and cereal crops A comparative study of the physicochemical properties of starches from root , tuber and cereal crops. *African Journal of Biotechnology*, 10(56), 12018–12030. <https://doi.org/10.5897/AJB10.2310>
- Zabot, G. L., Silva, E. K., Emerick, L. B., Felisberto, M. H. F., Clerici, M. T. P. S., & Meireles, M. A. A. (2019). Physicochemical, morphological, thermal and pasting properties of a novel native starch obtained from annatto seeds. *Food Hydrocolloids*, 89(August 2018), 321–329. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.041>
- Zaidul, I. S. M., Norulaini, N. A. N., Omar, A. K. M., Yamauchi, H., & Noda, T. (2007). RVA analysis of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, yam, and cassava starches. *Carbohydrate Polymers*, 69(4), 784–791. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.02.021>
- Zanella Pinto, V., Goncalves Deon, V., Moomand, K., Levien Vanier, N., Pilatti-Riccio, D., da Rosa Zavareze, E., ... Guerra Dias, A. R. (2019). Characteristics of Modified Carioca Bean Starch upon Single and Dual Annealing, Heat-Moisture-Treatment, and Sonication. *Starch/Staerke*, 71(3–4), 1–7. <https://doi.org/10.1002/star.201800173>

Zhu, L. J., Liu, Q. Q., Wilson, J. D., Gu, M. H., & Shi, Y. C. (2011). Digestibility and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) flours and starches differing in amylose content. *Carbohydrate Polymers*, 86(4), 1751–1759. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.07.017>