

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

SIMONE SALOMÃO JEZZINI DOS SANTOS

MODIFICAÇÃO POR ULTRASSOM E CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES
TERMOANALÍTICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E ESTRUTURAIS DE AMIDO ORGÂNICO
DE MANDIOQUINHA-SALSA (*ARRACACIA- XANTHORRIZA*)

PONTA GROSSA
2023

SIMONE SALOMÃO JEZZINI DOS SANTOS

MODIFICAÇÃO POR ULTRASSOM E CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES
TERMOANALÍTICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E ESTRUTURAIS DE AMIDO ORGÂNICO
DA MANDIOQUINHA-SALSA (*ARRACACIA XANTHORRHIZA*)

Dissertação apresentada como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Egon Schnitzler.

PONTA GROSSA
2023

S237 Santos, Simone
Modificação por ultrassom e caracterização das propriedades termoanalíticas, físico-químicas e estruturais de amido orgânico de mandioquinha-salsa (arracacia- xanthorrhiza). / Simone Santos. Ponta Grossa, 2023 .
61 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Área de Concentração: Ciências e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Egon Schnitzler.

1. Mandioquinha-salsa. I. Schnitzler, Egon. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ciências e Tecnologia de Alimentos. III.T.

CDD: 664.2

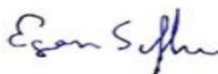
TERMO DE APROVAÇÃO

SIMONE SALOMÃO JEZZINI DOS SANTOS

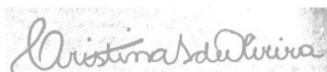
“Modificação por ultrassom e caracterização das propriedades termoanalíticas, físico-químicas e estruturais de amido orgânico de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*)”.

Dissertação aprovada como requisito para obtenção do grau de Mestre(a) no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

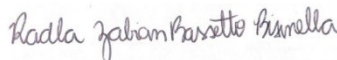
Orientador: Prof. Dr. Egon Schnitzler



Prof. Dr. Egon Schnitzler - UEPG-PR - Presidente



Prof^ª. Dra. Cristina Oliveira - SENAC-PR - Membro Titular



Prof^ª. Dra. Radla Zabian Bassetto Bisinella - UEPG-PR - Membro Titular

Ponta Grossa, 14 de junho de 2023.

RESUMO

Os amidos são carboidratos abundantes na natureza e servem como fonte de energia. Devido as suas propriedades energéticas e sensoriais é crescente o interesse nas possibilidades inerentes ao seu uso dentro das indústrias de alimentos, sobretudo nos aspectos funcionais do amido resistente e sua função na formulação de alimentos com menor índice glicêmico, fator que contribui para a diminuição dos lipídios e melhoras no funcionamento intestinal. O objetivo geral deste estudo foi caracterizar o amido nativo da *Arracacia Xanthorrhiza* e os amidos modificados fisicamente por ultrassom. E os objetivos específicos foram: extrair, em meio aquoso amido de mandioquinha-salsa; investigar, a partir da viscoamilografia RVA, a influência da modificação no perfil de pasta das amostras tratadas e comparar com o amido nativo; verificar a estabilidade e decomposição térmica das amostras nativas e modificadas, por análise termogravimétrica, TG/DTG; obter as curvas de gelatinização das amostras dos amidos a partir da calorimetria exploratória diferencial, DSC; analisar e comparar a morfologia dos grânulos de amido antes e após tratamento, por microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo, FEG e determinar o perfil de cristalinidade das amostras com e sem modificação, por difratometria de raios X. Metodologia: foi realizado tratamento físico dos grânulos de amido por ondas de ultrassom, utilizando como variáveis para a análise, diferentes parametrizações de intensidades vibracionais (40%, 50%, 60% e 70%). Como fonte botânica para a extração do amido foi utilizada a mandioquinha-salsa (*Arracacia Xanthorrhiza*), sendo um tubérculo abundante em carboidratos, que apresenta um amido de fácil cozimento e boa suscetibilidade ao atrito mecânico. A extração do amido deste vegetal ocorreu por meio aquoso e resultou em índices de aproveitamento próximos aos encontrados em bibliografia. A inativação enzimática foi realizada por meta bissulfito de sódio. Análises foram realizadas a partir de viscoamilografia (RVA), termogravimetria (TG/DTG), calorimetria exploratória diferencial (DSC), microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo (FEG) e por difratometria de raios X. Os resultados das análises demonstram que quando tratados com as corretas intensidades vibracionais os amidos apresentam menor quebra (QV) e tendência a retroceder sugerindo boa resistência ao cisalhamento (amplitude 40%), maiores valores dos picos de viscosidade e viscosidade final (amplitudes de 40%, 50%, 60% e 70%), maior tendência a retrogradação (amplitude de 40%, 50%, 60% e 70%), maior temperatura de degradação (amplitude de 50%) maior faixa de estabilidade térmica (amplitude 60%), menor entalpia de gelatinização (amplitude 40%), maior aumento do tamanho granular (amplitude 50%) e diminuição da cristalinidade (amplitude de 40%, 50%, 60% e 70%). Tais alterações demonstram a grande influência do ultrassom e sua correta parametrização, na estrutura e comportamento térmico dos amidos, sendo esta uma tecnologia promissora na modificação das propriedades do amido para atingir funcionalidades específicas desejadas pelos fabricantes de alimentos.

Palavras-chave: Mandioquinha-Salsa; Amido; Ultrassom; Modificação Física.

ABSTRACT

Starches are abundant carbohydrates in nature and serve as a source of energy. Due to its energetic and sensory properties, there is a growing interest in the possibilities inherent to its use within the food industries, especially in the functional aspects of resistant starch and its function in the formulation of foods with a lower glycemic index, a factor that contributes to the reduction of lipids and improvements in bowel function. The general objective of this study was to characterize the native starch of *Arracacia Xanthorrhiza* and the starches physically modified by ultrasound. And the specific objectives were: to extract, in aqueous medium, parsley starch; to investigate, from RVA viscoamylography, the influence of the modification in the paste profile of the treated samples and compare with the native starch; verify the stability and thermal decomposition of the native and modified samples, by thermogravimetric analysis, TG/DTG; obtain gelatinization curves of starch samples from differential scanning calorimetry, DSC; analyze and compare the morphology of starch granules before and after treatment, by scanning electron microscopy by field emission, FEG and determine the crystallinity profile of samples with and without modification, by X-ray diffraction. Methodology: physical treatment was performed of starch granules by ultrasound waves, using as variables for the analysis, different parameterizations of vibrational intensities (40%, 50%, 60% and 70%). Parsley persimmon (*Arracacia Xanthorrhiza*) was used as a botanical source for starch extraction. The extraction of starch from this vegetable was carried out using aqueous means and resulted in utilization rates close to those found in the bibliography. Enzymatic inactivation was performed by sodium metabisulfite. Analyzes were performed using viscoamylography (RVA), thermogravimetry (TG/DTG), differential scanning calorimetry (DSC), field emission scanning electron microscopy (FEG) and X-ray diffraction. The results of the analyzes demonstrate that when treated with the correct vibrational intensities, the starches present less breakage (QV) and a tendency to retreat, suggesting good shear resistance (amplitude of 40%), higher values of peak viscosity and final viscosity (amplitude of 40%, 50%, 60% and 70%), greater tendency to retrogradation (range 40%, 50%, 60% and 70%), higher degradation temperature (range 50%) greater range of thermal stability (range 60%) , lower enthalpy of gelatinization (40% amplitude), greater increase in granular size (50% amplitude) and decrease in crystallinity (40%, 50%, 60% and 70% amplitude). Such changes demonstrate the great influence of ultrasound and its correct parameterization on the structure and thermal behavior of starches, which is a promising technology for modifying starch properties to achieve specific functionalities desired by food manufacturers.

Keywords: Cassava-Parsley; Starch; Ultrasound; Physical Modification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	A estrutura molecular da amilose e da amilopectina.....	12
Figura 2	Descrição das partes da planta de mandioquinha-salsa.....	21
Figura 3	Fluxograma de extração do amido de mandioquinha-salsa (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>).....	26
Figura 4	Caracterização do amido da mandioquinha-salsa (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>).....	27
Figura 5	Equipamento de Ultrassom.....	28
Figura 6	Equipamento TGA.....	28
Figura 7	Equipamento DSC.....	29
Figura 8	Equipamento RVA.....	30
Figura 9	Equipamento FEG.....	31
Figura 10	Equipamento MEV.....	31
Figura 11	Extração de amido de mandioquinha-salsa (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>)....	33
Figura 12	Viscoamilograma do amido de mandioquinha-salsa.....	34
Figura 13	Curvas TG/DTG de amido nativo e modificado de mandioquinha-salsa.	37
Figura 14	Microimagens (5kx) amido nativo e modificados.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Publicações científicas relacionadas à modificação de amido por ultrassom.....	18
Tabela 2	Variedades, características, e ciclo da mandioquinha-salsa (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>) no Brasil.....	22
Tabela 3	Produção dos principais estados produtores no Brasil.....	23
Tabela 4	Composição nutricional da mandioquinha-salsa (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>) por 100g.....	24
Tabela 5	Dados de análise viscoamilográfica RVA dos amidos de mandioquinha-salsa.....	35
Tabela 6	Resultados de TG/DTG de amidos nativo e modificados por ultrassom...	38
Tabela 7	Dados da análise DSC do amido da mandioquinha-salsa.....	40
Tabela 8	Cristalinidade e Picos para o padrão de difração.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR	Amido Resistente
A.V	Amplitude de Vibração
DRX	Difração de Raios-X (<i>X-ray Diffraction</i>)
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial (<i>Differential Scanning Calorimetry</i>)
DTG	Termogravimetria Derivada (<i>Derivate Thermogravimetric</i>)
MEV-FEG	Microscopia Eletrônica de Varredura por Emissão de Campo (<i>Field Emission Guns</i>)
RVA	Analisador de visco rápido (<i>Rapid Visco Analyzer</i>)
TG	Análise Termogravimétrica (<i>Thermogravimetric Analysis</i>)
t/ha	Tonelada por hectares

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	09
2	OBJETIVOS.....	11
2.1	OBJETIVO GERAL.....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	12
3.1	AMIDO.....	12
3.2	AMIDO RESISTENTE.....	14
3.3	AMIDO MODIFICADO.....	14
3.3.1	Modificação do Amido por Ultrassom.....	16
3.4	MANDIOQUINHA-SALSA.....	20
4	MATERIAS E MÉTODOS.....	25
4.1	MATERIAIS.....	25
4.2	MÉTODOS.....	25
4.2.1	Extração do Amido.....	25
4.3	ULTRASSOM.....	27
4.4	TG/DTG.....	28
4.5	CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC).....	29
4.6	DIFRAÇÃO DE RAIOS-X.....	29
4.7	PROPRIEDADES DE PASTA (RVA).....	30
4.8	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA COM EMISSÃO DE CAMPO (MEV- FEG).....	31
4.9	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
5.1	EXTRAÇÃO – RENDIMENTO.....	33
5.2	VISCOAMILOGRAFIA (RVA).....	34
5.3	ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TG).....	36
5.4	CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL.....	39
5.5	MICROSCOPIA ELETRÔNICA (MEV-FEG).....	41
5.6	DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X.....	43
6	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

Os amidos são carboidratos tão abundantes na natureza quanto à celulose e seu tamanho, formato e propriedades sofrem variações de acordo com sua fonte botânica. Os amidos servem como fonte de energia, e são quimicamente constituídos por duas macromoléculas: amilose e amilopectina, as quais se diferem em tamanho molecular. Em função de suas propriedades físico-químicas e funcionais exclusivas, o amido é aplicado com vários objetivos dentro da indústria alimentícia, sendo utilizado como ingrediente, facilitando o processamento, textura, espessante, fornecendo sólidos em suspensão ou até mesmo proteção aos alimentos no momento do processamento (FRANCO et al., 2001).

Devido as suas propriedades energéticas e sensoriais é crescente o interesse nas possibilidades inerentes ao seu uso dentro das indústrias de alimentos, sobretudo nos aspectos funcionais do amido resistente (BORBA et al, 2021) e sua função na formulação de alimentos com menor índice glicêmico, fator que contribui para a diminuição dos lipídios e melhoras no funcionamento intestinal (PEREIRA, 2007; ALSAFFAR, 2011; FERRONATTO, ROSSI, CAPPELLARI, 2018).

Entretanto uma das variáveis para a definição dos processos de modificação do amido pode ser a origem botânica do amido a ser tratado (WATERSCHOOT et al., 2014). Segundo Hoover (2001) devido à estrutura do tecido e ao baixo teor de proteína e lipídeos a extração a partir de raízes e tubérculos é relativamente simples, se comparada à extração realizada a partir de cereais, pois os tubérculos possuem menor quantidade de proteínas e lipídios. A soma de proteínas e lipídeos encontrada em raízes e tubérculos não ultrapassa a 4% enquanto que no caso dos cereais esta soma pode chegar perto dos 20%.

A mandioquinha-salsa é uma rica fonte de carboidratos e dentre estes o amido (LAJOLO; MENEZES, 2006; LUENGO et al., 2007, EMBRAPA, 2018 Apud MADEIRA et al., 2021), sendo proveniente da região Andina da América do Sul, existindo indícios de que a sua origem é de localidades ao sul da Colômbia (HODGE, 1949).

A introdução da mandioquinha-salsa no Brasil., segundo relatos, deu-se no início do século XX, por intermédio do Barão de Friburgo, que supostamente haveria trazido mudas oriundas das Antilhas, o que daria sentido a sua denominação brasileira de batata-baroa ouirão. Entretanto, existem informações que indicam que tenha sido introduzida por mudas trazidas diretamente da Colômbia, ofertadas a então Sociedade de Agricultura, pelo general colombiano Rafael Uribe, em julho de 1907, quando de sua estada no Brasil para uma conferência sobre o seu país (JARAMILLO, 1952). Cultivada inicialmente em regiões

elevadas do estado do Rio de Janeiro, teve boa difusão nos estados da região sul e sudeste chegando a partir da década de 90 a ser bem aceita nas regiões do cerrado do planalto central (FAYAD et al., 2018). Em cada região este tubérculo pode receber denominações distintas, como batata-baroa, batata-salsa, batata-fiúza, batata-aipo, cenoura-amarela, entre outras (ZANIN; CASALI, 1984).

É cultivada em suas variedades amarela comum e amarela de Carandaí principalmente nas regiões Sudeste e Sul do Brasil (BUENO, 2004). Trata-se de uma raiz de uso culinário com a colheita é realizada, normalmente, aos 11-12 meses de ciclo. A sua produção é quase exclusivamente destinada ao consumo direto, com exceção de pequena produção de purê desidratado utilizado na fabricação de sopas instantâneas (PEREIRA; SANTOS, 1997).

Os amidos nativos, ou seja, aqueles que não passaram por nenhum processo de modificação refletem o interesse da sociedade mundial por produtos naturais e com processo de produção que cause o mínimo impacto ambiental, uma vez que se reduz o uso de produtos químicos. Nos amidos nativos, não há limite de uso, permitindo identificá-los como alimentos naturais, diferente do uso de amidos modificados que é limitado a 5% do peso seco do alimento elaborado. Esses amidos são considerados aditivos alimentares e devem ser declarados nos rótulos (CEREDA, 2001).

Os amidos nativos possuem limitações que requerem cuidados específicos que algumas vezes inviabilizam a produção industrial de alimentos (PARK et al., 2009). Segundo os autores, neste contexto alguns processos de modificação das propriedades funcionais são fundamentais para a sua viabilidade. Tais processos podem ter como princípio intervenções químicas como no caso da oxidação e hidrólise química, biológicas como no caso da hidrólise enzimática e também por alguns tratamentos físicos.

Dentre os processos físicos possíveis, o uso do tratamento por ultrassom (BERNARDO; ASCHERI; de CARVALHO, 2016) foi o escolhido como foco deste trabalho, passando pelo uso de diferentes parametrizações em tempos e amplitudes de aplicação, utilizando como matéria prima o amido extraído da mandioquinha-salsa. Foram realizadas investigações e experimentações para descrever algumas propriedades térmicas, de pasta, morfológicas, estruturais e físico-químicas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar o amido nativo de *Arracacia Xanthorrhiza* e o amido modificado fisicamente por ultrassom.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Extrair, em meio aquoso amido de mandioquinha-salsa;
- ✓ Investigar, a partir da viscoamilografia RVA, a influência da modificação no perfil de pasta das amostras tratadas e comparar com o amido nativo;
- ✓ Verificar a estabilidade e decomposição térmica das amostras nativas e modificadas, por análise termogravimétrica, TG/DTG;
- ✓ Obter as curvas de gelatinização das amostras dos amidos a partir da calorimetria exploratória diferencial, DSC;
- ✓ Analisar e comparar a morfologia dos grânulos de amido antes e após tratamento, por microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo, FEG;
- ✓ Determinar o perfil de cristalinidade das amostras com e sem modificação, por difratometria de raios X.

3 REVISÃO DA LITERATURA

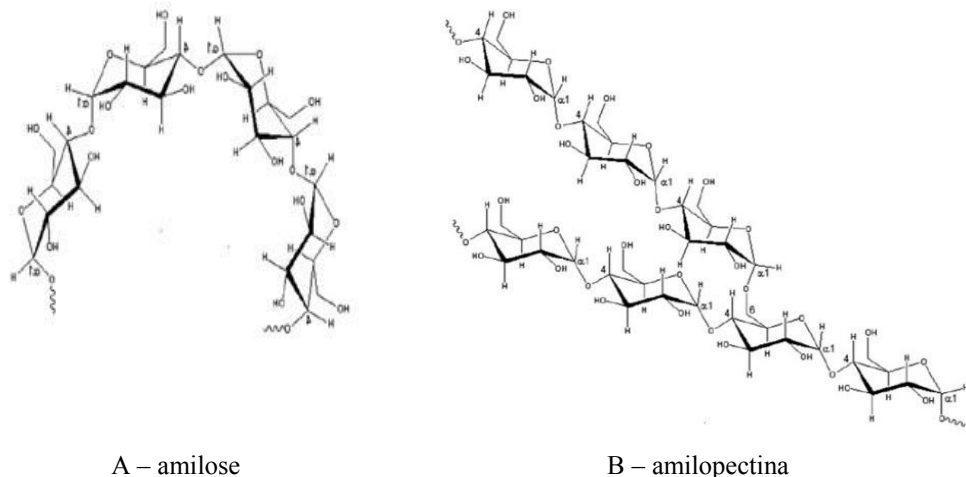
3.1 AMIDO

O amido é o segundo biopolímero mais abundante da Terra, depois da celulose, sendo o principal carboidrato de reserva nas plantas, 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) (LAJOLO; MENEZES, 2006).

Se apresentando nas plantas como grânulos semicristalinos (15-45%), de diferentes tamanhos (1-100 μ m) formas (esférica, lenticular, poliédrica ou irregular), e com distribuição de tamanho de partícula unimodal, bimodal e trimodal (PÉREZ; BERTOFT, 2010).

Estruturalmente, o amido é um homopolissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina. A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α -(1 \rightarrow 4), originando uma cadeia linear. Já a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em α -(1 \rightarrow 4) e α -(1 \rightarrow 6) sendo fortemente ramificada (Figura 1). Essas estruturas aparecem e se diferenciam em relação às fontes botânicas, da variedade da mesma espécie e de acordo com o grau de maturação da planta (ELIASSON, 2004; TESTER et al., 2004).

Figura 1 – A estrutura molecular da amilose e da amilopectina.



Fonte: LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. Carboidratos em alimentos regionais ibero-americanos. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006

Segundo Ashogbon (2021) e Bemiller (2019), os grupos hidroxila e as ligações glicosídicas do amido, propiciam sua modificação para a obtenção de propriedades de

funcionalidades desejáveis como formação de filme, textura, retrogradação, gelificação, estabilidade de congelamento-descongelamento, resistência mecânica, digestibilidade, entre outras.

Diversas pesquisas sobre a avaliação da relação existente entre a estrutura molecular do amido e seu comportamento em algumas propriedades físico-químicas, sugerem que muitas características estruturais, como teor de amilose, distribuição de comprimento das cadeias de amilopectina e grau de cristalinidade do grânulo, poderiam estar intimamente relacionadas aos eventos associados com a gelatinização e retrogradação.

Entre eles o inchamento do grânulo, lixiviação de amilose e/ou amilopectina, perda da estrutura radial (birrefringência), supramolecular (cristalinidade) e molecular e recristalização (DENARDIN; SILVA, 2009).

As cadeias de amilopectina são organizadas de maneiras diferentes, o tipo A é composto por uma cadeia não-redutora de glicoses unidas por ligações α -(1→4) sem ramificações, sendo unida a uma cadeia tipo B por meio de ligações α -(1→6). As cadeias do tipo B são compostas por glicoses ligadas em α -(1→4) e α -(1→6), contendo uma ou várias cadeias tipo A e podem conter cadeias tipo B unidas por meio de um grupo hidroxila primário. A cadeia C é única em uma molécula de amilopectina, sendo composta por ligações α -(1→4) e α -(1→6) com grupamento terminal redutor (ELIASSON, 1996; ELIASSON, 2004; VANDEPUTTE; DELCOUR, 2004; LAJOLO; MENEZES, 2006).

A classificação de cada cadeia (CL) ocorre, de acordo com seu comprimento e, conseqüentemente, sua disposição dentro dos grânulos (HIZUKURI, 1985; HIZUKURI, 1986). De acordo com Tester et al. (2004) e Vandeputte e Delcour (2004), a amilopectina tem uma distribuição polimodal com cadeias A (CL 12-16) e B, isto é, cadeias B1 (CL 20-24), B2 (CL 42-48), B3 (CL 69-75) e B4 (CL 104-140). As cadeias A e B1 formam cachos simples, são mais externas e organizadas em duplas hélices, enquanto B2, B3 e B4 se estendem em dois, três e mais de quatro cachos. Muito semelhantes entre as fontes botânicas, as cadeias C possuem as variações de tamanhos entre 10 e 130 unidades de glicose, a maioria tendo por volta de 40 unidades.

O comprimento das cadeias do amido, proporção de amilose/amilopectina e grau de ramificação da amilopectina definem o tamanho, a estrutura e utilidade dos grânulos de amido em cada espécie de planta. Outras características associadas com o grânulo como forma, o tipo de superfície e outros compostos associados ao amido influenciam, também, nas propriedades do amido para sua aplicação (ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES, 2015; VAMADEVAN; BERTOFT, 2014).

As variações nos métodos e nas condições de extração do amido podem resultar em diferenças notáveis na composição, nas propriedades físico-químicas e nas propriedades funcionais do amido (ZHU, 2014). Exerce função biológica de reserva de carbono e energia em plantas; e para o consumo humano é o polissacarídeo digerível e abundante mais importante, que fornece de 70 a 80% das calorias consumidas em todo o mundo (ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES, 2015).

3.2 AMIDO RESISTENTE

Segundo Alsaffar (2011), a introdução do amido resistente na alimentação tem aumentado em virtude de propriedades probióticas, ou seja, benefícios relativos à saúde do cólon. Neste aspecto ele é melhor em relação ao outro tipo de amido, pois ocasiona a fermentação bacteriana da flora do cólon liberando ácidos graxos de cadeias curtas como acetato, butirato, propionato e gases como CO₂, H₂ e CH₄ produzindo um leve efeito laxativo devido ao aumento da massa microbiana.

Em produtos alimentícios, o uso de fontes comerciais de AR, apresentam vantagens em relação às fontes naturais, uma vez que os amidos modificados com o objetivo de reduzir sua digestibilidade são menos afetados por peculiaridades do processamento industrial do que os amidos nativos (NUGENT, 2005).

3.3 AMIDO MODIFICADO

A utilização do amido pela indústria alimentícia relaciona-se com a retenção de água, e em propriedades funcionais de espessamento, gelificação, adesão e/ou formação de filmes, aumento de estabilidade por meio da redução da retrogradação, melhorar a sensação ao paladar e brilho, dispersar ou conferir opacidade (BEMILLER, 1997; JIANG et al. 2012).

Os amidos nativos, segundo a classificação são aqueles que têm a sua utilização direta, sem a necessidade de alterações em sua estrutura, porém este tipo de insumo possui algumas restrições para uso em alimentos industriais. Desta forma, os amidos modificados, como o nome enuncia, são alterados por meio de processos químicos, físicos e biológicos com o fim de obter propriedades desejáveis para aplicação (PARK et al., 2009), tais alterações, implicam em mudanças estruturais dos polissacarídeos (COPELAND et al., 2009; GANI et al., 2012).

Uma das modificações desejadas pela indústria de alimentos, conforme Rincón-Aguirre et al. (2018) é referente a limitações encontradas nos amidos nativos, relacionadas à estabilidade e maleabilidade de sua estrutura granular quando expostos a altas temperaturas dos processos industriais.

O potencial para a aplicação das modificações do amido na indústria alimentícia vem sendo foco de atenção entre pesquisadores (BEMILLER, 2018; SCHMIELE; SAMPAIO; CLERICI, 2019). Melhorias em funcionalidades desejáveis como formação de filme, textura, gelificação, estabilidade de congelamento-descongelamento, resistência mecânica, digestibilidade, entre outras, podem ser propiciadas, por exemplo, pela modificação nos grupos de hidroxila e ligações glicosídicas do amido (BEMILLER, 2019; ASHOGBON, 2021).

A implantação de processos físicos para os melhoramentos das propriedades do amido vem sendo difundidos na indústria em virtude de apresentarem menores riscos e menores custos às empresas, se comparados a outros processos (PARK et al, 2009; PUNIA, 2020), porém existem obstáculos referentes aos usos destas técnicas que se relacionam a perda de viscosidade, facilidade de retrogradação, insolubilidade e perda de estrutura ordenada (ZIA-UD-DIN; XIONG; FEI, 2017). Pelos processos físicos de modificação do amido, não são alteradas as unidades glicopiranosídicas das moléculas e sim a morfologia e estrutura tridimensional, o que confere características diferenciadas em relação a outros processos.

Quadro 1 – Principais Tratamentos Físicos do amido

TRATAMENTOS TÉRMICOS	TRATAMENTOS HIDROTÉRMICOS	TRATAMENTOS NÃO TÉRMICOS
✓ Pré- Gelatinização	✓ Reozimento	✓ Moagem
	✓ Calor – umidade	✓ Alta - pressão
		✓ Campo elétrico pulsado

Fonte: Adaptado de PUNIA, S. Barley starch modifications: Physical, chemical and enzymatic - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 144, n. 1, p. 578–585, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.088>

O resultado são variações no tamanho da partícula, características de superfície, índice de solubilidade e propriedades funcionais como absorção de água, gelificação e capacidade de inchamento e propriedade de pasta (BEMILLER; HUBER, 2015; NAWAZ et

al., 2020). Os tratamentos físicos para a modificação do amido são classificados em térmicos, hidrotérmicos e não térmicos, conforme demonstrados no Quadro 1 (ASHOGBON; AKINTAYO, 2014; PUNIA, 2020).

Em função da técnica utilizada para obtenção do amido fisicamente modificado, pode-se classificar o amido quanto à integridade molecular dos grânulos. Por exemplo, a força empregada pela secagem por pulverização e extrusora durante a pré-gelatinização, conduzindo à ruptura da estrutura das partículas, reduzindo o tamanho das mesmas .

Embora muitos processos como os tratamentos hidrotérmicos, não afetem a integridade molecular dos amidos modificados, estes causam consideráveis mudanças em suas características físico-químicas, funcionais e de digestibilidade (KAUR; SINGH, 2016).

Uma das principais motivações para a procura dos processos físicos de tratamento dos amidos é a possível classificação destes amidos como produtos naturais, por não sofrerem modificações estruturais drásticas (BEMILLER, 2018). Também os níveis de amido resistente podem ser aumentados por estes processos, conferindo ao produto funções consideradas probióticas (BEMILLER, 2019; BORBA et al., 2021).

Entretanto, uma heterogeneidade dos grânulos em uma única fonte de amido pode comprometer as modificações físico-químicas, morfológicas, térmicas e reológicas dos amidos demandando diferentes combinações dos parâmetros e operações unitárias no processamento físico para a alteração granular do amido (ZIA-UD-DIN; XIONG; FEI, 2017). Dentre estas as combinações de diferentes temperatura/umidade, tensão de cisalhamento, irradiação e atrito mecânico.

3.3.1 Modificação do Amido por Ultrassom

Devido à ampla difusão e aceitação da tecnologia do ultrassom entre as áreas de medicina, engenharia e na indústria química em geral, a partir de meados do século XX diversos estudos acerca desta técnica foram direcionados a tecnologia dos alimentos (ALVES et al., 2013). Durante este período as técnicas de ultrassom foram desenvolvidas com as finalidades de substituir técnicas tradicionais de processamento (corte, emulsificação, homogeneização, esterilização, pasteurização e desgaseificação), ou melhorar técnicas convencionais de extração, congelamento, descongelamento, salga, oxidação, filtração, secagem ou desidratação (MASON, 1998; CHEMAT, ZILL-E-HUMA, KHANA, 2011; TAO, SUN, 2015). Algumas de suas vantagens em relação a outras tecnologias são: maior rendimento e pureza do produto, redução de tempo de processamento, ausência de produtos

químicos (ZUO et al., 2009; SCHMIELE; SAMPAIO; CLERICI, 2019), gerando economia nos processos e também atendendo as demandas emergentes do uso de tecnologias limpas e com maior eficiência energética (ALVES et al., 2013; ZHU, 2015; ZIA-UD-DIN; XIONG; FEI, 2017).

O termo ultrassom refere-se às ondas sonoras que excedem 16 – 18 kHz, que estão no limiar da audição humana. De maneira abreviada, o uso desta técnica consiste na propagação deste espectro de ondas dentro dos materiais (BEMILLER; HUBER, 2015).

Esta técnica pode ser aplicada em alimentos líquidos e suspensões e, de acordo com o estado físico do material é projetado o meio de aplicação, que pode ser através de sonda, ou por imersão em banhos de ultrassom (ADEKUNTE et al., 2010; CHEMAT; ZILL-E-HUMA; KHANA, 2011). Como resultados da inserção das ondas de ultrassom nos materiais ocorrem alternâncias de compressão (pressão positiva) e rarefação (pressão negativa) desencadeando efeitos térmicos e/ou mecânicos e também o fenômeno chamado de cavitação.

A cavitação consiste no surgimento, crescimento e colapso de bolhas de ar dentro do material (MASON, 1990) promovendo ondas com energia de cisalhamento muito elevadas e alta turbulência (SUSLICK, 1988).

Através da energia térmica gerada neste colapso o sistema aquece e modifica a estrutura, propriedades e a composição dos materiais, dentre estes, os amidos provenientes de diferentes fontes botânicas. (BEMILLER; HUBER, 2015; ZIA-UD-DIN; XIONG; FEI, 2017). Segundo Chemat et al., (2011), a perturbação ocasionada pelas ondas de ultrassom liberam componentes da matriz celular, e acabam mudando suas propriedades químicas e físicas. As forças de cisalhamento desprendidas durante a cavitação são por exemplo, capazes de quebrar cadeias de polímeros e produzir reações químicas, por meio da liberação de radicais livres OH, O e H₂O. (BERNARDO; ASCHERI; CARVALHO, 2016).

Em virtude de variáveis como frequência, amplitude, tempo, potência, concentração do meio, temperatura e tipo de fonte botânica, o tratamento a partir de ultrassom pode ocasionar alterações na estrutura granular, no comportamento das propriedades morfológicas, físico-químicas, térmicas e reológicas da fração amilácea nativa (CHAN et al., 2010; YING; HAN; LI, 2011; ZHU, 2015; ZHU, 2015; KARAMAN, 2017). O aumento de poder do inchamento e na solubilidade pode ocorrer devido a danos provocados ao amido, facilitando assim a penetração de água, ZHU (2015). A região cristalina pode ser fortemente afetada por este tratamento (JAMBRAK et al., 2010; GONÇALES et al., 2014; KIM; PARK; LIM, 2015).

Tabela 1 – Publicações científicas relacionadas à modificação de amido por ultrassom.

FONTE BOTÂNICA	OBJETIVO	PARÂMETROS PARA ULTRASSOM				AUTOR
		Frequência (kHz)	Tempo (min)	Amplitude (%)	Potência (W)	
Banana e Taro	Em baixa temperatura (4 +0.1°C), descrever os efeitos do ultrassom em propriedades do amido.	25	20 a 50	20	80	Carmona-García et al., 2016.
Batata-doce	Avaliar as características de filmes produzidos do amido de batata-doce sob a influência do ultrassom.	20	5	30 e 70	560	Liu et al., 2018.
Mandioca	Elaboração de Produtos baseados em amido de mandioca.	-	5,10 e 20	40 e 60	750	Monroy; Rivero; García, 2018.
Milho	Investigar a digestibilidade dos grânulos de amido de milho tratados com ultrassom.	24	1, 2, 4,8 e 16	80	300	Flores-Silva et al., 2017.
Mandioca, Milho e Inhame	Obtenção de nanopartículas como efeito do tratamento de ultrassom.	20	30	-	-	Minakawa et al., 2019.
Pinhão	Observar as propriedades do amido e a distribuição das cadeias de amilose e amilopectina.	20	90	50	-	Pinto et al., 2015.

Fonte: Adaptado de MARTINS, A. Caracterização e modificação do amido de taro roxo (*Colocasia esculenta* b. *tini*) por ultrassom e congelamento e descongelamento. Tese (Mestrado em Engenharia dos Alimentos) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3Ous920>

Na Tabela 1, alguns exemplos de estudos realizados com amidos de diferentes fontes botânicas, modificados a partir do tratamento de ultrassom.

Carmona-García et al. (2016), realizaram estudos utilizando distintas fontes de amido (Banana e Tarô), portanto com diferentes composições granulares. A estas amostras dois parâmetros de tempo de ultrassom foram aplicados (20 e 50 min.). Os resultados demonstram que em relação às amostras de controle (amido nativo), não houve alterações na temperatura de gelatinização após os tratamentos, entretanto modificações na estrutura superficial dos grânulos, aumento da solubilidade e aumento do poder de intumescimento foram verificados, sobretudo nos grânulos maiores (Banana), o que aponta o tamanho de grânulo como uma das variáveis condicionantes das alterações nos tratamentos a base de ultrassom.

Com o objetivo de estudar as propriedades de filmes produzidos a partir de amido de batata-doce, submetidos a diferentes amplitudes de ultrassom, Liu et al. (2018) constatam que em comparação aos filmes produzidos com amidos nativos, os tratados obtiveram melhores resultados quanto à resistência a tração e a barreira de umidade. O aumento da cristalinidade relativa e diminuições no alongamento de ruptura também foram observados nas amostras com tratamento.

Monroy, Rivero e García (2018), concluem que diferentes produtos e propriedades tecnológicas podem ser desenvolvidos a partir do tratamento ultrassônico do amido da mandioca. Dentre os resultados encontrados no estudo, estão as mudanças microestruturais de características morfológicas e cristalinização dos grânulos. Os autores descrevem como críticas as condições de processamento, indicando que em testes com temperaturas não controladas obtiveram a completa gelatinização do amido da mandioca na amplitude de 60%.

Em estudo do amido de milho com tratamento ultrassônico a frequência de 24kHz, Flores-Silva et al. (2017) constatam que no processo de redução da viscosidade pode ocorrer aumentos significativos dos percentuais de amido rapidamente digeríveis.

Minakawa et al. (2019), por ultrassom produziram nanopartículas com grande potencial para uso como reforço em compósitos para embalagens na indústria alimentícia e de medicamentos. Analisaram a produção destas nano partículas realizadas a partir de amidos extraídos de mandioca, milho e inhame. Segundo os autores diferentes resultados no rendimento foram evidenciados, segundo os autores pelas diferentes concentrações de amilose. Outro fator relevante foi à constatação de que no caso dos três tipos de amido tratados, a cristalinidade e a estabilidade térmica foram reduzidas, se comparados ao amido nativo.

Nos estudos de Pinto et al. (2015), foram comparados três tipos de tratamento (recozimento, calor-umidade e sonicação) e diferentes combinações destes, aplicados aos amidos extraídos do pinhão. Os resultados encontrados apontam para a diminuição da cristalinidade relativa nos casos de sonicação e calor-umidade, resultado inverso do encontrado no tratamento por recozimento. Em nenhum dos tratamentos houve a apresentação de trincas, entalhes ou sulcos visíveis nos grânulos dos amidos. O uso da sonicação como segundo tratamento, promoveu aumento no pico de viscosidade.

Conforme os estudos relatados, verificou-se que as ondas de ultrassom podem influenciar estruturalmente as partículas dos amidos, sendo que o controle dos parâmetros de aplicação (Tempo, amplitude, potência, frequência) assim como a variedade morfológica dos amidos extraídos dentre diferentes fontes botânicas, são variáveis a serem estudadas na obtenção de diferentes funcionalidades desejáveis deste componente (PINTO et al., 2015, CARMONA-GARCÍA et al., 2016; FLORES-SILVA et al., 2017, LIU et al., 2018; MINAKAWA et al., 2019),.

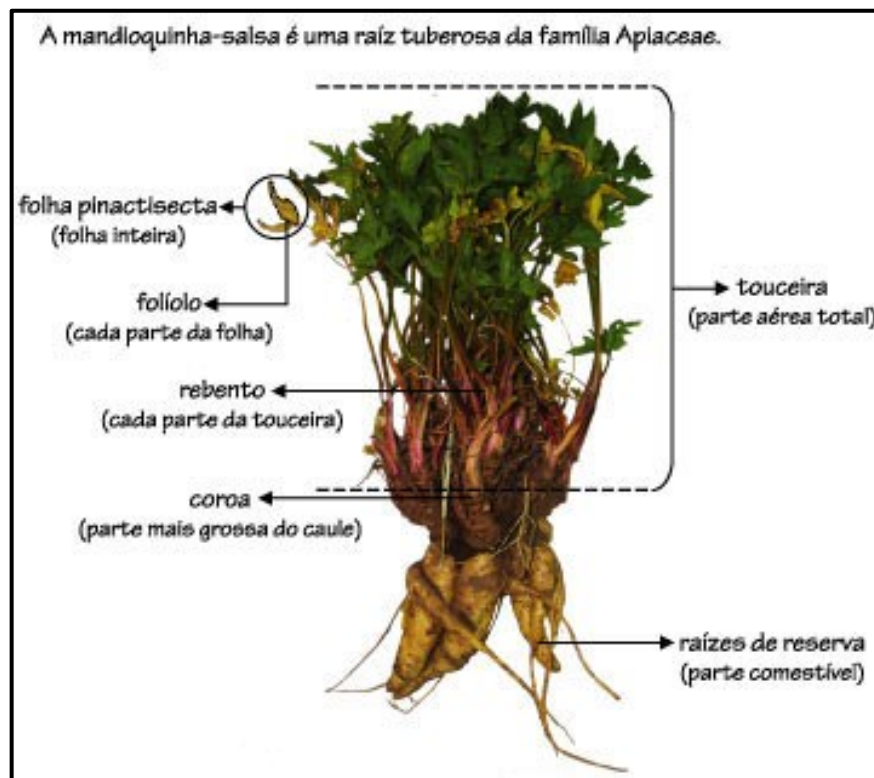
3.4 MANDIOQUINHA-SALSA

A mandioquinha-salsa é usada como matéria-prima para indústrias alimentícias na forma de sopas, cremes, pré-cozidos e alimentos infantis (BUENO, 2004). Os melhores pontos para seu cultivo são as áreas de altitudes elevadas e clima mais ameno. Em terrenos de baixa altitude e temperaturas elevadas, a produtividade deste tipo de planta é reduzida, devido à suscetibilidade a fungos e bactérias, ocasionados, sobretudo pelas chuvas. (MADEIRA et al., 2021).

Da família *Apiaceae*, a mesma da cenoura, salsa, coentro, aipo, entre outras, embora a mandioquinha-salsa seja uma planta perene, a colheita realiza-se no fim do primeiro ciclo de cultivo (HERMANN, 1997), portanto trata-se de uma planta que não chega a sua fase reprodutiva, sendo retirada do solo antes do florescimento. A inflorescência quando se dá é terceiro semestre do ano, após a estiagem do frio, quando um conjunto de umbelas são formadas em épocas distintas. Devido às baixas taxas de germinação e a grande desuniformidade das populações oriundas de propagação sexuada, este tipo de propagação torna-se inviável para grandes plantações comerciais, que usam cultivar a partir de mudas retiradas da coroa das plantas. Apesar disto uma quantidade razoável de sementes está destinada a trabalhos de melhoramentos genéticos (MADEIRA et al., 2021).

Conforme a Figura 2, a parte aérea da planta denomina-se coroa, touça ou touceira. Do caule cilíndrico e rugoso, composto de uma cepa contendo até 80 ramificações (propágulos), suas folhas de formato serrilhado despontam. A parte comercializável compreende de 04 a 15 raízes tuberosas, com crescimento primário (comprimento) observado até o quarto ou quinto mês, podendo chegar aos 25cm. Após este período observa-se o crescimento secundário (aumento do diâmetro) das raízes. Localizadas na porção inferior da planta, as raízes podem variar no formato (alongado, arredondado, cilíndrico ou cônico), havendo também variação na coloração (branco ou amarelo-intenso, podendo apresentar pigmentação rosada e anel interno arroxeadado) (HERMANN, 1997; MADEIRA et al., 2021).

Figura 2 – Descrição das partes da planta de mandioquinha-salsa



Fonte: Adaptado NORMAS de classificação da mandioquinha-salsa. São Roque: Instituto Brasileiro de Qualidade em Horticultura. 2002. Disponível em: <http://www.hortibrasil.org.br/classificacao/mandioquinha/arquivos/morfologia.html>.

Entre as variedades que possuem registro no Brasil, vem sendo desenvolvidas a partir de melhoramentos genéticos realizados, sobretudo pela Embrapa Hortaliças desde a década de 90. São elas das espécies Amarela de Senador Amaral, lançada em 1998; BRS Rubia 41; BRS Catarina 64; e EH-56 Acarijó disponibilizadas em 2014, 2015 e 2018, respectivamente, desenvolvidas por meio de melhoramento genético tradicional conduzido pela Embrapa

Hortaliças desde 1992. A cv. EH-56 Acarijó 56 (ou simplesmente “Carijó”, como é comumente chamada). Esta última tem grande potencial para o uso em produtos processados e manejo orgânico, uma vez que possui bom rendimento e produtividade. (MADEIRA, CARVALHO, 2016; MADEIRA et al, 2021). Segundo os autores dentre as variedades que não possuem registro no país, a “Amarela Comum”, introduzida da em 1907 e que foi largamente cultivada até o início dos anos 2000, a “Branca Comum”, de grande vigor e com pecíolos e folhas verde-claro, e outra de folhagem roxa, raízes de coloração creme e muito cônicas e perfilhos duros e pouco numerosos.

Tabela 2 – Variedades, características e ciclo da mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*) no Brasil

Variedade	Características das raízes	Ciclo (dias)	Empresa	Outras características
Amarela comum	Amarela intensa; cônico-cilíndrica	10-12 meses	-	Elevado teor de matéria seca
Branca	Branca; cilíndrica e muito alongadas	10-12 meses	-	Grande porte da planta; sabor e odor fracos
Folha Roxa	Amarela clara; cônicas	10-12 meses	-	Poucos propágulos
Amarela de Senador Amaral	Amarela intensa; uniformes e cilíndricas	8-10 meses	Embrapa	Tolerância média a nematoide das galhas
BRS Rubia 41	Amarela intensa; uniformes e cilíndricas	8-10 meses	Embrapa	Alta produção de propágulos
BRS Catarina 64	Amarela intensa; uniforme e cilíndricas	8-10 meses	Embrapa	—
EH-56 Acarijó	Amarela manchada; alongada e cilíndrica	8-10 meses	Embrapa	Alto vigor; intolerância ao calor.
Gigante Angelina	Amarela intensa; muito alongada e cilíndrica	9-10 meses	-	Alto vigor, raízes com anéis arroxeados.

Fonte: Adaptado de MADEIRA, N. R.; CARVALHO, A. D. F. Produção de mudas de mandioquinha-salsa. In: NASCIMENTO, W. M.; PEREIRA, R. B. (eds.). Hortaliças de propagação vegetativa: tecnologia de multiplicação. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, p. 129-150, 2016

Uma espécie originária de clonagem realizada no estado de santa catariana (gigante Angelina) que, porém apresenta uma característica indesejada referente à coloração após o cozimento. Seguem na Tabela 2, características das espécies cultivadas, com ou sem registro no país (MADEIRA, CARVALHO, 2016; MADEIRA et al, 2021).

Pelas características produtivas, ligadas em maior número a produção varejista, os dados sobre a produção das espécies da mandioquinha-salsa no Brasil podem ser incipientes (MADEIRA et al., 2021). Apesar disto descrevem-se na Tabela 3 números referentes à produção em alguns estados brasileiros atualizados pela EMBRAPA no ano de 2018, destacando que o Brasil se encontrava então na liderança da produção deste vegetal, superando demais países da América do Sul, América Central e África, que se dedicam a este cultivo (EMBRAPA, 2018 Apud MADEIRA et al., 2021).

Tabela 3 – Produção dos principais estados produtores no Brasil

Unidade de Federação	Área (ha)	Produtividade (t.ha ⁻¹)	Produção(t)
Paraná	2.557	11,88	30.396
Minas Gerais	4.000	17,00	68.000
Espírito Santo	295	14,65	4.323
Santa Catarina	1.245	12,85	16.000
São Paulo	499	15,00	7.485

Fonte: Adaptado MADEIRA, N. R. et al. Mandioquinha-salsa *Arracacia Xanthorrhiza* Bancroft. Brasília, DF: EMBRAPA/CNPH, 2021. ISSN 2763-6801. Disponível em: <https://bit.ly/3Nv1v52>.

Nas regiões onde o cultivo da mandioquinha-salsa é intenso, devido às demandas de mão de obra e a valorização da hortaliça, os seus cuidados no preparo de mudas, plantio e colheita representam um grande recurso socioeconômico, sobretudo direcionado a agricultura do tipo familiar. O cultivo deste tubérculo vai de encontro aos conceitos de ecologia racional, do cultivo orgânico, proporcionando maior segurança alimentar do que cultivos convencionais, por não utilizar-se de agrotóxicos. (MADEIRA et al., 2021)

Baixos teores de amilopectina e ausência total de fatores antinutricionais, conferem ao amido extraído da mandioquinha-salsa alta digestibilidade. As proteínas são incompletas, como ocorre em outras raízes e tubérculos, devido à deficiência na maioria dos aminoácidos essenciais. É notadamente fonte de vitaminas e minerais. Entre as vitaminas, ressaltam-se as do complexo B (tiamina, riboflavina, niacina e piridoxina) e a vitamina A. Segundo Almeida (2000) entre os minerais, destacam-se o cálcio, o magnésio, o fósforo e o ferro (ALMEIDA, 2000; PEREIRA, 2000).

A mandioquinha-salsa é um alimento essencialmente energético, pois possui alto teor de carboidratos em relação aos demais nutrientes (Tabela 4). Dos carboidratos totais, cerca de 80% correspondem a amido e 6%, a açúcares totais.

Tabela 4 – Composição nutricional da mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*) por 100g

Componente	Teor	Componente	Teor
Fibras (%)	0,60	Cobre (mg)	0,59
Calorias	125,50	Manganês (mg)	2,80
Água (%)	76,70	Zinco (mg)	1,80
Vitamina A - retinol (µg)	20,00	Potássio (mg)	568,60
Vitamina B - tiamina (µg)	60,00	Sódio (mg)	61,50
Vitamina B2– Riboflavina (µg)	40,00	Cálcio (mg)	45,00
Vitamina B5 – niacina (µg)	3,40	Ferro (mg)	0,67
Vitamina C – ác. ascórbico (mg)	28,00	Fósforo (mg)	101,00

Fonte: Adaptado de LUENGO, R. F. A. et al. Tabela de composição nutricional das hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2000. (Embrapa Hortaliças. Documentos, 26). Disponível em: <https://bit.ly/2wBOeSG>

4 MATERIAS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

As raízes utilizadas de mandioquinha-salsa orgânica (*Arracacia xanthorrhiza*), classificadas como amarela comum e certificadas como produto de origem orgânica foram adquiridas de um pequeno produtor de Curitiba localizado na Rua: São Cristóvão, 501, Bairro: Jardim Rondinha foram colhidas após 11 meses de plantio e armazenadas sob refrigeração a 5°C e utilizadas para o experimento 14 dias pós-colheita. Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Extração do Amido

O processo de extração do amido encontra-se detalhado no fluxograma (Figura 3), onde os iniciais 4,980 kg de raízes da mandioquinha-salsa bruta foram inicialmente limpos em água corrente para remoção de sujidades, e em seguida descascados e cortados em fatias de 3-5 mm, somando ao final deste subprocesso a quantidade de 3,580kg.

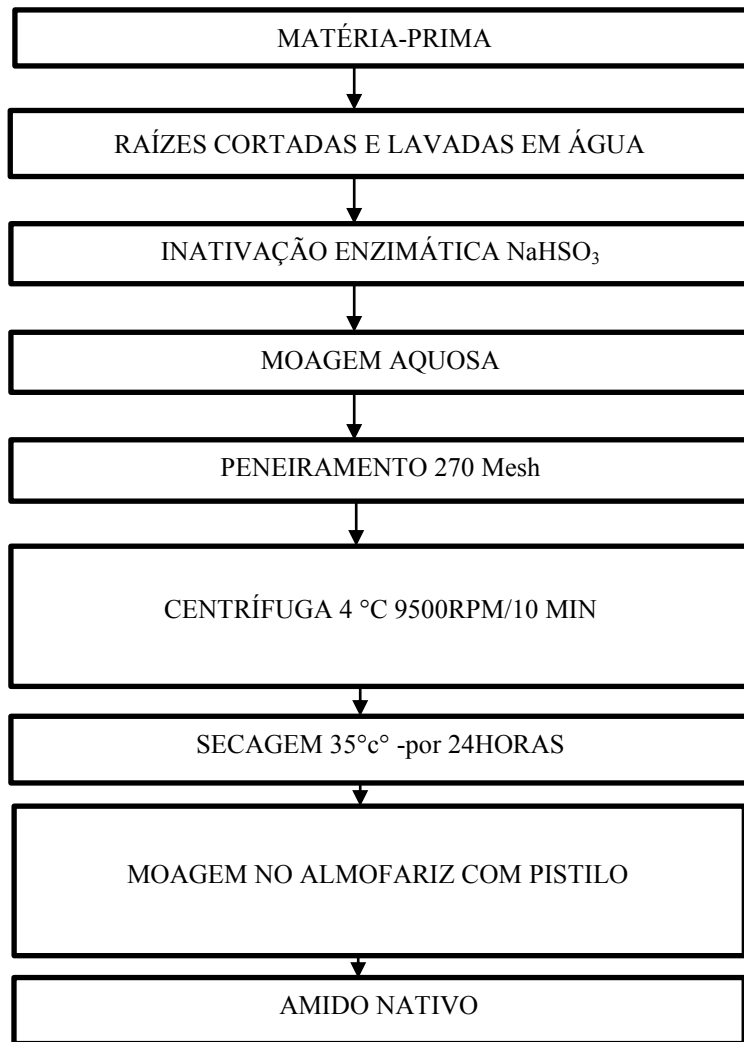
A extração do amido foi realizada de forma aquosa com algumas modificações (BISINELLA, 2016; BIZINELLA et al., 2022). O amido obtido foi mantido em dessecador contendo cloreto de cálcio anidro até o momento das modificações e respectivas análises.

Foi realizada a inativação enzimática através 12g de metabissulfito (NH_2SO_3), para 6 litros de água, deixando na solução por 30 minutos, ocorrendo posterior enxague em água corrente.

A moagem aquosa foi realizada com o liquidificador industrial, realizando repetidamente esta etapa por 28 vezes, tendo como proporção 370 g de mandioquinha-salsa para duas medidas de água.

Foi realizado o peneiramento através da peneira de 270 mesh, passando para a centrifugação por 10 minutos e a secagem ocorreu em uma estufa de 35°C pelo período de 24 horas, sendo posteriormente moído no almofariz com ajuda do pistilo, resultando em quantidades de amido nativo, exatos 1,727kg.

Figura 3 - Fluxograma de extração do amido de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*)



Fonte: A autora.

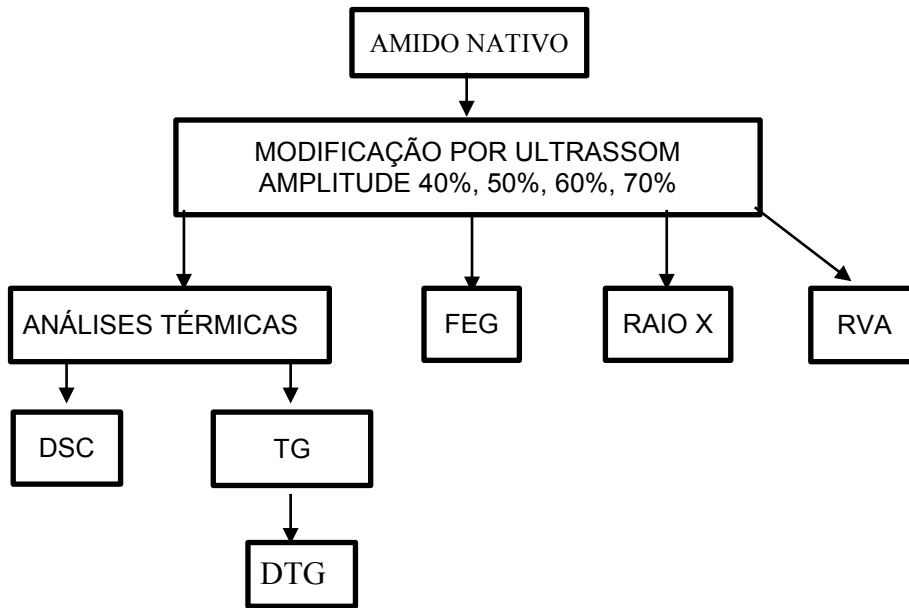
Para o cálculo do rendimento foi utilizado a Equação 1

$$R\% = \frac{A}{M} \times 100 \quad (1)$$

Onde R= Rendimento (%);
 A=Massa de amido obtido (g)
 M= massa de mandioquinha-salsa (g)

O amido nativo foi mantido em dessecador sobre cloreto de cálcio anidro até execução das modificações no ultrassom e suas posteriores análises, de acordo como se apresenta na Figura 4.

Figura 4- Caracterização do amido da mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*)



Fonte: A autora.

4.3 ULTRASSOM

Os grânulos de amido foram modificados por aplicação do ultrassom, realizado com o auxílio do equipamento Vibra-Cell 500 W (Sonics & Material Inc, EUA), estabelecendo frequência de 20 kHz. As ondas de ultrassom foram aplicadas na suspensão de amido e água deionizada (10% m/v), mantida em banho de gelo a fim de evitar a gelatinização do amido durante o processo. A duração da aplicação do tratamento nas amostras foi estipulada em 30 min (LIU et al., 2018).

A temperatura foi configurada no equipamento para não exceder 45°C, sendo controlada pelo sensor imerso na suspensão. Quando este valor é atingido, devido à amplitude de vibração e tempo utilizado, o sonicador para automaticamente até que a temperatura regresse abaixo do valor programado.

O ultrassom (Figura 5) pode também promover mudanças em algumas propriedades físico-químicas, tais como: poder de inchamento, solubilidade ou propriedades de pasta. Essas alterações dependem do tipo e composição do amido, como também dos parâmetros utilizados. Suspensões de amido sonicadas sob as mesmas condições, porém com maiores frequências, apresentam o mesmo comportamento de pasta que suspensões de amido não submetidas ao ultrassom (ZHU, 2015). Já a combinação de duas frequências causa maior impacto sobre os grânulos de amido, uma vez que podem aumentar a ocorrência da cavitação (HU et al., 2013; HU et al., 2015).

Figura 5 – Equipamento de Ultrassom



Fonte: A autora

4.4 TG/DTG

As curvas termogravimétricas foram obtidas por meio do sistema de análise térmica TGA-50 (Shimadzu, Japão). O equipamento (Figura 6) foi previamente calibrado com peso padrão conforme instruções do fabricante, e a verificação realizada com oxalato de cálcio. Uma massa de 7-10mg de cada amostra foi pesada em cadinhos de alumina abertos e aquecida de 30-650°C, com razão de aquecimento $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$, e fluxo de ar comprimido de 150 ml min^{-1} as porcentagens referentes à perda de massa e as curvas DTG são obtidas pelo software de análise de dados TA-60 WS (BET et al., 2018).

Figura 6 – Equipamento de TGA



Fonte: A autora

4.5 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

A calorimetria exploratória (DSC) tem como objetivo analisar os efeitos do calor nas mudanças físicas e químicas por meio da variação de entalpia (ΔH) entre uma amostra e um material sugerido, quando submetidos de forma simultânea a uma variação de temperatura (MITIĆ et al., 2017). A referência mais comumente utilizada é um cadinho de alumínio vazio. Uma curva característica é obtida ao final da análise representando em forma de picos, as variações do comportamento da amostra decorrentes da temperatura e tempo (COLMAN; DEMIATE; SCHNITZLER, 2014; BET et al., 2017).

Para as curvas DSC foi utilizado o equipamento (Figura 7) DSC-Q200 (TA-Instruments, EUA), previamente calibrado. As condições utilizadas foram: fluxo de ar de 50 ml min⁻¹, faixa de aquecimento de 20 a 100°C e razão de aquecimento de 10°C min⁻¹. Uma massa de aproximadamente 2,5 mg de cada amostra foi pesada e homogeneizada em 10 µL de água destilada (1:4) em cadinhos de alumínio posteriormente selados, e mantidos em repouso por 1 hora, visando-se equilibrar o teor de umidade e inchamento do grânulo.

Figura 7 – Equipamento DSC



Fonte: A autora

4.6 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

A Difractometria de raios X foi realizada utilizando-se o equipamento Ultima IV (Rigaku, Japão), localizado no Complexo de Laboratórios Multiusuários (C – LABMU) da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, e empregando-se radiação CuK α ($\lambda=1,541\text{\AA}$), sendo configurada a tensão de 40kV e corrente de 20mA. A radiação dispersa foi

detectada em um intervalo angular de 3° a 40° a $2(\theta)$ com velocidade de escaneamento de 2°min^{-1} , e um passo de 0,06 o (KUBIAKI et al., 2016).

A cristalinidade relativa (CR) foi calculada de acordo com a Equação 2 (NARA; KOMIYA, 1983).

Equação 2:

$$CR(\%) = \frac{Ac}{Ac + Aa} \times 100 \quad (2)$$

Onde CR= Cristalinidade relativa (%);

Ac=Área Cristalina

Aa= Área Amorfa

4.7 PROPRIEDADES DE PASTA (RVA)

É uma técnica utilizada para avaliar o perfil de pasta de amidos, além obter as propriedades viscoelásticas da pasta formada. Durante a análise, o equipamento detecta e registra as mudanças ocorridas na viscosidade do amido, em suspensão em água, durante aquecimento e cisalhamento.

Foi utilizado o viscosímetro, modelo RVA-4 (Newport Sei Austrália) da Figura 8, as suspensões das amostras nativas e modificadas são de 8% (g.g^{-1}), em base seca, em água deionizada até obter 28g de massa final. O sistema de aquecimento e arrefecimento controlado será realizado a partir de ciclos de agitação constante, mantendo a 50°C durante 2 minutos, sendo aquecido de 50°C a 95°C a 6°C.min^{-1} , mantido a 95°C por 5 minutos, resfriando a 50°C a 6°C.min^{-1} e mantendo a 50°C por 2 minutos novamente.

Figura 8 – Equipamento RVA

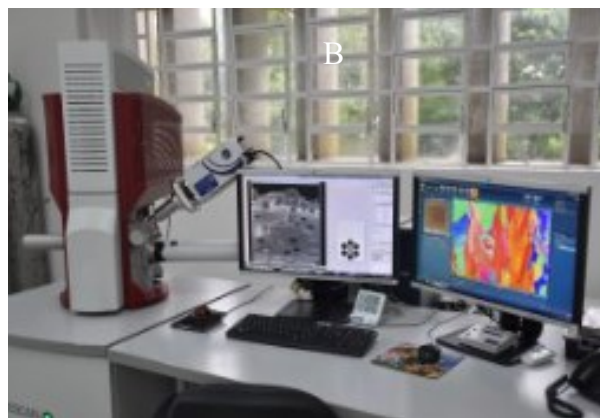


Fonte: A autora

4.8 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA COM EMISSÃO DE CAMPO (MEV- FEG)

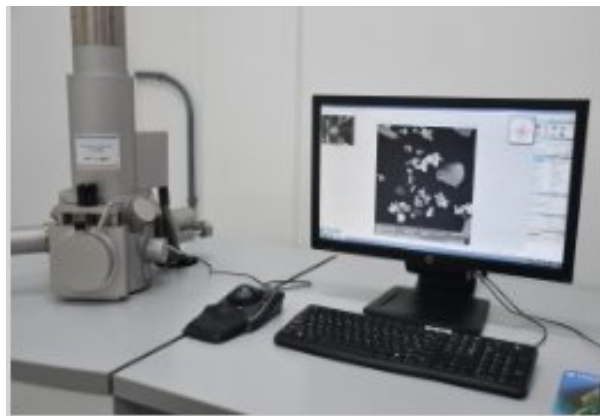
O diâmetro e a forma dos grãos de amido de mandioca-salsa foram observados por microscópio eletrônico de emissão de campo (Figura 9) (FEG-SEM) MIRA 3 (Tescan, República Tcheca). As amostras foram dispostas em fitas de carbono e metalizadas com plasma de ouro, promovendo, assim, a condutividade dos elétrons. A tensão de aceleração será de 20 kV com ampliação de 1000X e 2000X (Figura 10).

Figura 9 – Equipamento FEG



Fonte: C- LABMU- Complexo de Laboratórios, Multiusuários. Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG. Ponta Grossa, 2023.

Figura 10 – Equipamento MEV



Fonte: C- LABMU- Complexo de Laboratórios, Multiusuários. Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG. Ponta Grossa, 2023.

4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

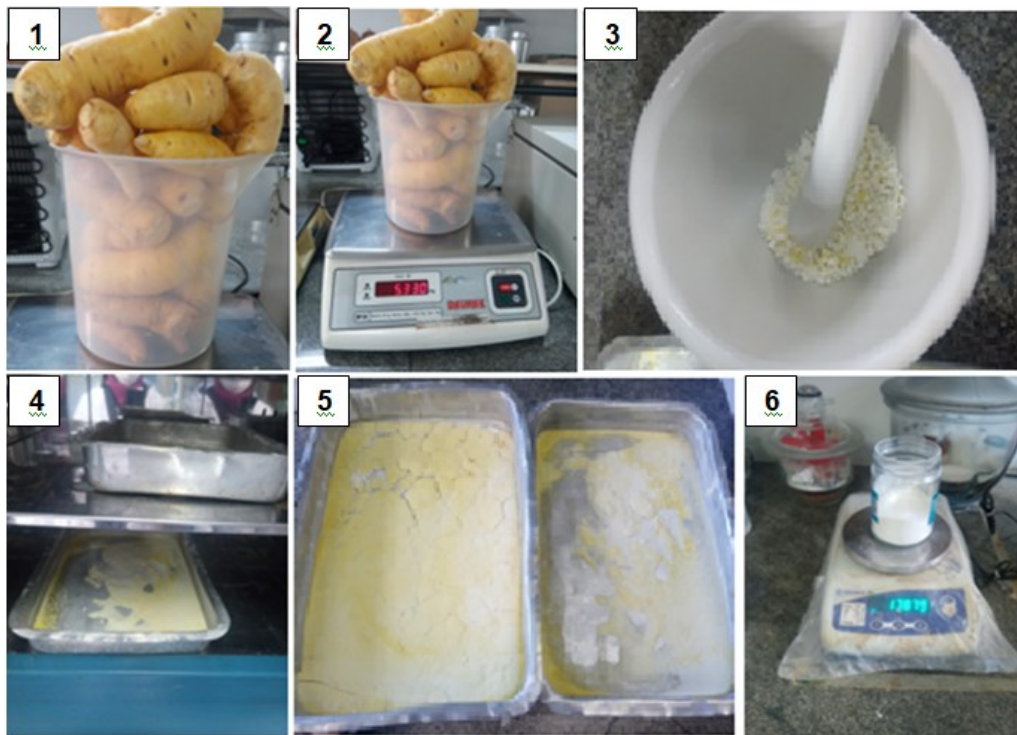
Os resultados das análises em triplicata foram avaliados por meio de análise estatística univariada (análise de variância – ANOVA) e teste de Tukey para comparação das médias, com nível de significância de 5%, utilizando o software SASM-AGRI v.8.2.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 EXTRAÇÃO E RENDIMENTO

O processo de extração do amido de mandioca-salsa (figura 11) foi realizado a partir de um peso bruto (matéria-prima) de 4,980g devidamente selecionados, que após a remoção de impurezas superficiais e das cascas e bagaços, resultaram e 3,580g de peso líquido de matéria-prima processável, ou seja, um desperdício aproximado de 28,11%. Ao final de todas as etapas do processamento de extração observou-se a quantidade de massa de amido nativo pesando 1,725kg. Tais números indicam um rendimento final de rendimento de 48,18% em relação à matéria-prima processável e 34,64% em relação à matéria-prima bruta.

Figura 11 – Extração de amido de mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*)



Fonte: A autora

Notas: 1 – Matéria prima; 2 – Pesagem da matéria prima; 3 – Matéria prima já moída no liquidificador e misturada a 12 g de NaHSO_3 (meta bissulfito de sódio), para 6L de água; 4 – Secagem; 5 – Matéria prima seca; 6 – Amido.

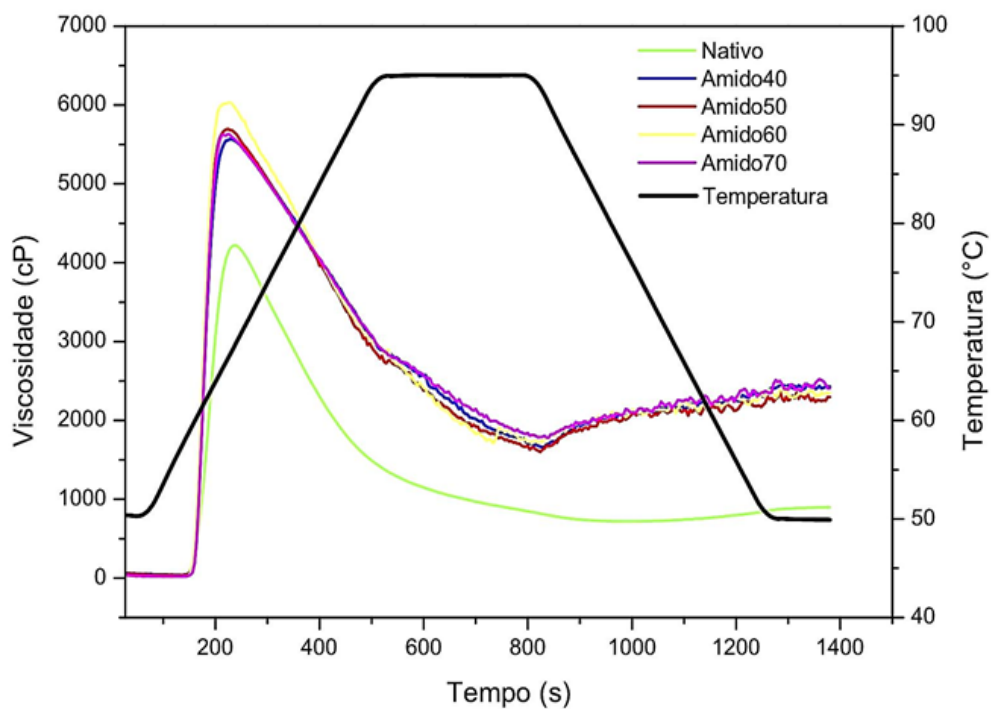
Observou-se, portanto que os valores obtidos ficaram abaixo do resultado de Leonel e Sarmiento (2008) quando obtiveram rendimento de 53,4% para extração aquosa de mandioca-salsa, indicando que alguns fatores que impactam o rendimento da extração de amido a partir de tubérculos, podem estar relacionados com a estrutura e composição do

vegetal, as condições de conservação pós-colheita, e a eficiência do método de isolamento conforme afirma Daiuto (2005).

5.2 VISCOAMILOGRAFIA (RVA)

O equipamento detectou e registrou durante a análise mudanças na viscosidade do amido em suspensão em água. Durante o aquecimento e o cisalhamento, conforme demonstrado através das curvas do gráfico (Figura 12), a viscosidade e a temperatura atingida pelo amido nativo e pelos amidos tratados a uma amplitude de 40, 50, 60 e 70%.

Figura 12 – Viscoamilograma do amido de mandioquinha-salsa.



Fonte: A autora

As mudanças estão relacionadas com a temperatura e tensão de cisalhamento de ambas, em função do tempo.

A hidratação dos grânulos e o rompimento da estrutura do material amiláceo ocasionou a formação da pasta.

O tratamento com menor amplitude de vibração (US40%) apresentou menor quebra (QV) e tendência a retroceder, sugerindo maior resistência ao cisalhamento durante o aquecimento e o resfriamento da pasta comparado as outras amostras (US50%, US60%, US70%).

O amido nativo alcançou a temperatura de 78°C atingindo a viscosidade 4000cP. O amido com amplitude 40% a temperatura foi de 88°C e o grau de viscosidade 5500cP. O amido com amplitude 50% alcançou a temperatura de 90°C, atingiu o grau de viscosidade 5600cP. O amido com amplitude de 60% alcançou a temperatura de 94°C, o grau de viscosidade 6000cP. E o amido com amplitude 70% alcançou a temperatura de 89°C, atingindo o grau de viscosidade 5550cP.

Foi realizada a análise viscoamilográfica (RVA) dos amidos de mandioquinha-salsa orgânica: amido nativo e com amplitudes 40, 50, 60 e 70%.

Na Tabela 5, é reportado que os amidos fisicamente modificados alcançaram um aumento no pico de viscosidade (PV). As viscosidades finais (VF) das amostras modificadas acabam apresentando valores maiores que os respectivos picos de viscosidades (PV). Estando provavelmente relacionado, com a alta suscetibilidade da região amorfa do grânulo, ao mesmo tempo em que a região cristalina se mantém durante o aquecimento, isso faz com que ocorra maior retenção de água, acarretando no aumento das viscosidades das amostras tratadas por ultrassom (HUANG, LI, FU, 2007). A menor tendência à retrogradação foi observada para o amido nativo.

Tabela 5 – Dados da Análise Viscoamilográfica RVA dos amidos de mandioquinha-salsa

Amostra	Temperatura de Pasta/ C°	Pico de Viscosidade	Quebra	Retrogradação	Viscosidade Final
Nativo	59,83± 0,01 ^a	4284±3,51 ^c	3570±1,52 ^c	185±2,51 ^d	904±4,00 ^c
Amido 40%	58,60±0,01 ^b	5568±3,51 ^d	3908±1,17 ^c	771±7,02 ^a	2429±4,16 ^a
Amido 50%	59,01±0,60 ^b	5692±3,00 ^b	4092±2,51 ^b	698±3,00 ^b	2294±3,51 ^d
Amido 60%	58,61±0,01 ^b	6029±4,04 ^a	4322±3,00 ^a	636±4,04 ^c	2345±1,52 ^c
Amido 70%	58,94±0,04 ^b	5630±1,52 ^c	3849±2,51 ^d	630±4,01 ^c	2414±4,50 ^b

Fonte: A autora

Nota: Os valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (p <0,05).

Foi analisado por Sit, Misra e Deka (2014), o rendimento e as propriedades funcionais do amido de taro do inhame (*Colocasia Esculenta*) da variedade *antiquorum*, foram tratados por ultrassom. Os valores de temperatura de pasta, viscosidade de pico, viscosidade final e retrogradação obtidos foram maiores em comparação com os amidos nativos.

No momento do processo de formação da pasta, ocorre um pico de viscosidade devido à maioria dos grânulos estarem totalmente inchada, porém, existem alguns intactos impossibilitando o total alinhamento molecular do amido no interior do campo de atrito do instrumento de análise (TSAI; LI; LII, 1997; WHISTLER; BEMILLER, 1997).

Ocorre o rompimento dos grânulos e a solubilização contínua devido ao aquecimento à temperatura constante, resultando então, na quebra de viscosidade, seguida de diminuição, fase denominada como quebra ou *breakdown*. No resfriamento ocorre a reassociação da amilose e amilopectina, registrando outro aumento na viscosidade, denominado como tendência à retrogradação ou *setback*. Geralmente, para amidos facilmente gelificados, o teor de amilose é diretamente proporcional a retrogradação (WHISTLER; BEMILLER, 1997).

Normalmente ocorre a temperatura de gelatinização entre 60°C e 70°C, o ponto em que forma o gel, o equipamento permanecendo com a temperatura 90°C por cerca de 6 minutos, continuando em constante agitação, fazendo ocorrer o resfriamento da amostra de suspensão entre amido e água. Esse resfriamento ocorre em 5°C por minuto, chegando a 50°C neste momento, conseguindo medir uma tendência à retrogradação.

A retrogradação leva muito mais do que 6 minutos de tempo para ocorrer e esta análise é muito importante para avaliar nas indústrias alimentícias onde o amido pode ser utilizado.

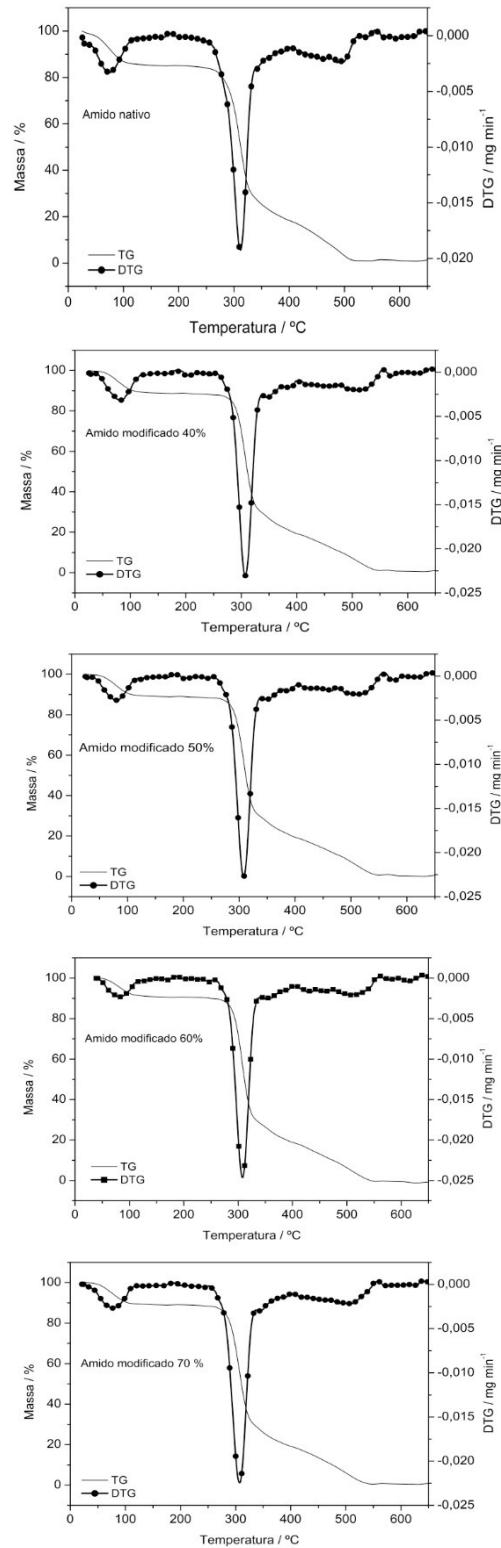
5.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TG)

Nas indústrias de alimentos, a exposição do amido em operações que envolvam altas e baixas temperaturas na produção, determinam a necessidade de monitoramento da degradação térmica e estabilidade dos materiais amiláceos. De acordo com Liu et al. (2013), é provável que ocorram degradações em processamentos térmicos nas estruturas do amido.

De acordo com Beninca et al., (2019), a temperatura final da primeira perda de massa dos amidos de taro roxo relacionada à desidratação da amostra varia entre 152,6 a 160,4°C. Os amidos de mandioquinha-salsa obtiveram três eventos principais de perda de massa. A primeira perda é referente à desidratação, seguido por um período de estabilidade. A decomposição e oxidação da matéria orgânica são representadas em etapas consecutivas na segunda e terceira perda de massa (OLIVEIRA et al., 2014).

A Figura 13 mostra que alguns fatores podem acabar influenciando as curvas de TG/DTG, podendo ser instrumentais e/ou ligados às características da amostra do amido, como pode ser observado nos dados obtidos na Tabela 6.

Figura 13 - Curvas TG/DTG de amido nativo e modificados de mandioquinha-salsa



Fonte: A autora

O processo de despolimerização de amidos geralmente começa acima de 300°C e pode ser confirmado através do pico de temperatura (T_p) registrado pela DTG durante a

segunda perda de massa (OLIVEIRA et al., 2014). A amostra tratada com 40% de amplitude apresentou temperatura inicial (Ti) mais alta (382,38°C) de todos os amidos modificados, já a amostra com 50% de amplitude teve a maior temperatura final (Tf=596,44°C) entre todas as amostras.

Na primeira perda de massa por temperatura, que equivale à perda de água dos amidos, as temperaturas iniciais foram iguais para ambas às amostras (30°C), mas as amostras submetidas a 40% e 50% de amplitude obtiveram as maiores temperaturas finais, apresentando respectivamente 139,77°C e 139,28°C.

Tabela 6 – Resultados de TG/DTG de amidos nativo e modificados por ultrassom.

Amostra	T/°C	1°	Estabilidade	2°	3°
Nativo	Ti-Tf, °C	30- 137,19	137,19– 248,59	248,59- 386,10	386,10– 585,22
	Tp, °C	74,78		311,88	486,96
	Δm, %	14,10		66,15	18,85
Amido 40%	Ti-Tf, °C	30 – 139,77	139,77 – 254,24	254,24 –382,38	382,38 – 589,47
	Tp, °C	82,90		306,99	506,83
	Δm, %	10,60		68,10	20,80
Amido 50%	Ti-Tf, °C	30 – 139,28	139,28 – 253,87	253,87– 356,92	356,92 – 596,44
	Tp, °C	77,53		307,67	562,56
	Δm, %	10,30		63,80	25,60
Amido 60%	Ti-Tf, °C	30 – 137,12	137,12 – 254,76	254,76 – 380,42	380,42 – 571,44
	Tp, °C	84,14		308,10	507,34
	Δm, %	9,13		69,42	21,12
Amido 70%	Ti-Tf°C,	30 – 137,61	137,61 – 250,99	250,99 –351,50	351,50- 572,16
	Tp, °C	77,82		307,35	559,85
	Δm, %	10,90		65,20	23,60

Fonte: A autora

Nota: Δm, massa perdida (%); Ti, temperatura inicial; Tf, temperatura final; ΔT, diferença de temperatura (°C); Tp, temperatura de pico (°C). Valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (p <0,05).

Na segunda perda de massa que representa a degradação térmica o amido nativo teve a menor temperatura inicial (248,59°C) entre todas as amostras e o amido tratado a 60% de amplitude obteve a maior temperatura inicial (254,76°C).

Durante a terceira perda de massa, a amostra tratada com 40% de amplitude apresentou temperatura inicial (Ti) mais alta (382,38°C) do que os amidos modificados nas outras amplitudes enquanto a amostra de amplitude 50% obteve a maior temperatura final Tf (596,44°C) entre todas as amostras.

O maior intervalo de estabilidade foi para o amido modificado em 60%. O arranjo de amilose e amilopectina atua diretamente no efeito do ultrassom nas propriedades térmicas do

amido. Durante a cavitação a pressão aumenta e as ligações covalentes entre as macromoléculas são rompidas, permitindo a formação de novas ligações que podem favorecer o aumento da estabilidade. A menor temperatura na degradação iniciada foi detectada para o amido nativo (248,59°C) e menor perda de massa ($\Delta m=18,76\%$). A maior temperatura na degradação foi detectada no amido modificado com 60% de amplitude, apresentando a faixa de estabilidade térmica (137,12 – 254,76°C).

Com os resultados encontrados, as cinzas do amido nativo foram de 0,90%, foi de 0,5% a do (amido modificado 40%), no amido modificado 50% foi de 0,35%, no amido modificado 60% foi de 0,33% e do amido modificado 70% resultou em 0,3%.

Alguns fatores podem acabar influenciando o TG, estes podem ser instrumentais e/ou ligados às características da amostra. Os principais fatores instrumentais são o aquecimento do forno, atmosfera do forno, geometria do suporte de amostras e do forno. Entre os fatores relacionados às características da amostra estão: o tamanho das partículas; quantidades de amostra; natureza da amostra; e condutividade térmica da amostra. Segundo Matos, Maercuri e Barros (2009) o conhecimento detalhado é muito importante por parte do operador, pois através da ação destes fatores é possível tirar o máximo proveito das curvas obtidas.

Nas curvas TG, a perda de massa (expressa ao eixo vertical em porcentagem) é caracterizada por duas temperaturas (no eixo horizontal) T_i e T_f . Conforme Ionashiro, Caires e Gomes (2012), T_i é a temperatura inicial da decomposição e T_f é a temperatura final.

A termogravimetria derivada (DTG) é um recurso matemático utilizado em conjunto com a TG obtida por meio da primeira derivada em função do tempo possibilitando melhor visualização das perdas de massas das amostras (IONASHIRO; CAIRES; GOMES, 2012). Quando aplicada em amidos, a termogravimetria demonstra o perfil de estabilidade térmica do biopolímero por meio da curva estabelecido durante o aquecimento da amostra em razão da variação de temperatura ou tempo. Deste modo, é possível determinar quais e quantas foram às perdas de massas, variações de temperaturas e massas ocorridas durante o processo (AGGARWAL; DOLLIMORE, 1998).

5.4 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL

Uma das técnicas utilizadas atualmente para avaliar esse fenômeno é a calorimetria exploratória diferencial (DSC – Differential Scanning Calorimetry) (ROCHA; DEMIATE; FRANCO, 2008).

A calorimetria exploratória diferencial (DSC) é uma técnica termoanalítica que tem como objetivo analisar os efeitos do calor nas mudanças físicas e químicas por meio da variação de entalpia (ΔH) entre uma amostra e um material de referência, quando submetidos de forma simultânea a uma variação de temperatura (MITIĆ et al., 2017). Os valores de (T_0), (T_p) e (T_c) são correlacionados com as propriedades de cristalinidade do grânulo do amido, o padrão de difração, a relação amilose e amilopectina além de variar de forma significativa para os amidos modificados (LIN, WANG, 2012).

O processo de gelatinização dos grânulos de amido geralmente ocorre quando o amido está em presença de quantidade suficiente de água e ambos são submetidos ao aquecimento. A Tabela 7 descreve os valores obtidos durante o evento de gelatinização do amido da mandioquinha-salsa.

Tabela 7 – Dados da Análise (DSC) do amido da mandioquinha-salsa

Amostra	T_0 (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (J g ⁻¹)
Nativo	59,04±0,13 ^a	63,77±0,00 ^a	69,14±0,38 ^a	13,74±0,47 ^b
Amido 40%	56,55±0,05 ^b	60,96±0,01 ^b	65,93±0,10 ^b	12,61±0,07 ^c
Amido 50%	56,12±0,02 ^d	60,28±0,03 ^d	65,03±0,04 ^c	14,80±0,19 ^a
Amido 60%	56,28±0,00 ^d	60,26±0,02 ^d	65,21±0,03 ^c	12,82±0,11 ^c
Amido 70%	55,49±0,01 ^c	59,90±0,08 ^c	64,73±0,01 ^c	13,56±0,10 ^b

Fonte: A autora

Nota: (T_0) temperatura inicial, (T_p) pico de temperatura, (T_c) temperatura de conclusão, (ΔH_{gel}) entalpia de gelatinização. Os valores seguidos pela mesma letra na mesma coluna não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Apesar dos índices de entalpia de gelatinização entre as amostras não apresentarem diferenças significativas quando submetidos ao teste de Tukey ($p < 0,05$), a amostra de amido tratada a 40% de intensidade obteve o menor índice (12,61±0,07^c), indicando um menor consumo de energia no processo. O amido tratado a 50% teve o pior resultado da amostragem (14,80±0,19^a).

Zhu e Li (2019) observaram quando o US foi aplicado em farinha de quinoa, uma redução nas temperaturas de gelatinização e na entalpia. Eles apontam que os microjatos da sonicção, que impactam nas propriedades componentes não amiláceas, são afetados pelas forças de cisalhamento funcionais da farinha.

Os amidos estudados apresentaram um maior valor de entalpia de gelatinização quando comparado com amido de amaranto orgânico que apresentou valores entre 5,92 a 7,17

(BET, 2021) e com amido de arroz orgânico após tratamento com alcalase cujos valores ficaram entre 2,60 e 5,10 J g⁻¹ (BISINELLA et al., 2021).

Em estudos realizados com o DSC, visando à análise dos efeitos de diferentes hidrocolóides sobre a gelatinização dos grânulos de amido, a T₀ geralmente aumenta ou não é alterada (BEMILLER, 2011). Como exemplo comparativo cita-se o trabalho realizado por Ferrero, Martino, e Zaritsky (1994), no qual foram estudadas as gomas xantana, guar e de alfarroba além de carboximetilcelulose e alginato de sódio em sistemas mistos com amido de milho. Na proporção de hidrocolóide/amido de 1:2 a T₀ variou de 65,4°C (controle) para 67,1; 66,6; 67,5; 69,7 e 68,4°C respectivamente.

As faixas de temperatura de gelatinização personalizadas para os amidos das variedades AC e ASA foram de 7 e 7,39°C, respectivamente, mostrando serem mais estreitas que as faixas personalizadas por outros amidos como, por exemplo, 20°C para amido de batata (GARCIA; WALTER, 1998). Estes resultados sugerem uma maior perfeição e homogeneidade dos cristais no amido de mandioquinha-salsa. De acordo com Tester (1997), a extensão de perfeições cristalinas é refletida na faixa de temperatura de gelatinização por DSC.

De acordo com Zhu e Li (2019) observa-se uma redução nas temperaturas de gelatinização e da entalpia quando o US foi aplicado em farinha de quinoa. Eles apontam que os microjatos da sonicação, que impactam nas propriedades componentes não amiláceos são afetados pelas forças de cisalhamento funcionais da farinha.

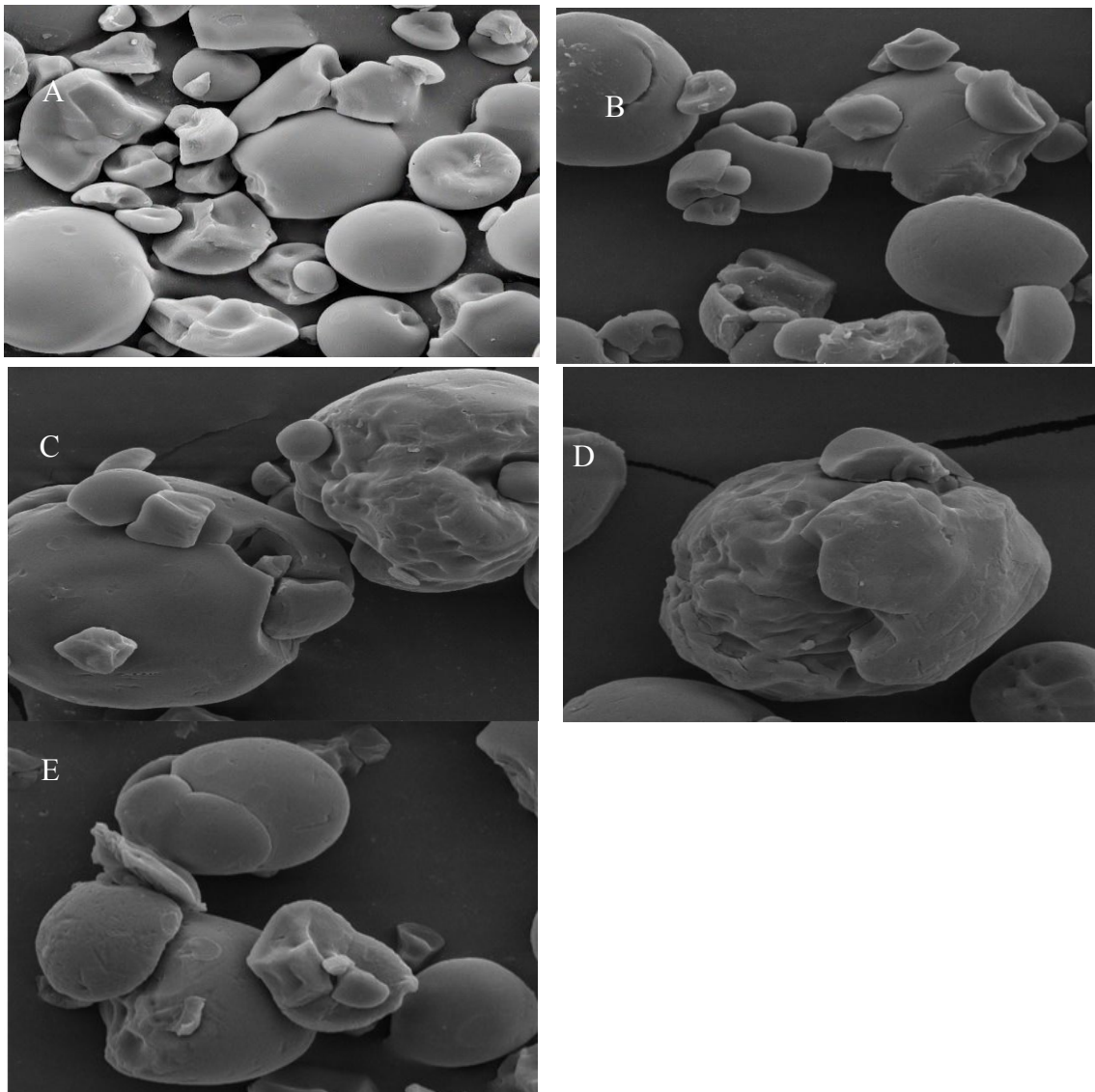
5.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA (MEV-FEG)

A microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo (MEV-FEG) é uma técnica para observação e caracterização de materiais orgânicos heterogêneos e inorgânicos onde a morfologia do composto é representada por meio de microimagens. O equipamento utilizado possui canhões de elétrons acoplados responsáveis por promover um feixe eletrônico estável, dentre esses canhões, (FEG) há os de emissão de campo (WANG; COPELAND, 2013; BARRERA et al., 2013).

O tamanho e a forma dos grânulos de amido variam com a espécie, e a distribuição de tamanho varia com o estágio de desenvolvimento da planta e forma de tuberação. Outro parâmetro interessante é a regularidade na forma, ou seja, diferença entre diâmetros, parâmetro que indica regularidade do tamanho, baixa variabilidade das medidas.

A microscopia eletrônica de varredura sendo utilizada (LEONEL; CEREDA; SARMENTO, 2002), para análise da forma e tamanho de grânulos de amido de araruta (*Maranta arundinacea*) e biri (*Canna edulis*), observaram grânulos das formas ovalada e circular com espessura visível e diâmetro maior médio variável de 9 a 65 μ m para amido de biri. Para amido de araruta observaram grânulos circulares e ovalados com diâmetro maior médio de 9 a 42 μ m.

Figura 14 – Microimagens (5kx) para amido nativo e amidos modificados.



Fonte: A autora (2023).

Nota: A – Amido Nativo, B – Amido modificado 40%; C – Amido modificado 50%; D – Amido modificado 60%, E – Amido modificado 70%.

As microimagens obtidas nas amostras do amido da mandioca-salsa são mostradas na Figura 14, e demonstram formas poligonais para todas as amostras. Os grânulos

de amido exibem uma estrutura tipo “cebola”, com variados números de anéis de crescimento concêntricos prontamente visíveis através.

O amido nativo (N) possui tamanhos médios de grânulos de 12,27 μ m. Para o amido modificado a 40% o tamanho encontrado foi de 13,26 μ m, para o amido modificado a 50% o tamanho foi de 17,77 μ m, para o amido modificado a 60% o tamanho foi de 15,93 μ m e para o amido modificado a 70% o tamanho foi de 14,46 μ m.

Conforme Rincón-Aguirre et al. (2018), os valores de 0,6 a 6 μ m para amidos de taro nativos e medidas de 5 μ m ou acima foram relatadas na literatura (PEREZ; SCHULTZ; DELAHAYE, 2005; ABOUBAKAR et al., 2008). A modificação pela técnica do ultrassom pode resultar em alterações na morfologia dos grânulos, criando trincas e poros e danificando os grânulos (ZHU et al., 2012; ZUO et al., 2012; SUJKA, JAMROZ 2013; ZHENG et al., 2013).

A aglomeração de granulação pode ocorrer após a modificação do ultrassom segundo Jambrak et al. (2010). Porém nenhuma característica semelhante foi observada neste estudo nas amplitudes de 40, 50, 60 e 70%.

5.6 DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X

A difratometria de raio aponta que os grânulos exibem uma estrutura lamelar com subunidades manométricas de 9-10nm. A região onde se encontra a amilopectina é mais densa ou cristalina. Sendo mais compacta, dificulta a penetração de água ou enzimas apresentando mais resistência ao processo de hidrólise, segundo Mestres (1996).

A cristalinidade do grânulo do amido que gira em torno de 15° a 45° se deve basicamente à amilopectina (ZOBEL, 1988) e pode ser caracterizada por difração de raios x em três padrões principais: A, B ou C, como consequência do empacotamento em dupla hélice das cadeias ramificadas desse polímero o padrão tipo A, presente na maioria dos cereais, como milho, arroz, trigo e aveia, padrão tipo B, presente em tubérculos, arroz com alto teor de amilose e amido retrogradado, e padrão tipo C um modelo intermediário entre os padrões de cristalinidade dos tipos A e B (DENARDIN; SILVA, 2009).

Segundo Mestres (1996), estes padrões têm as seguintes características:

- a) tipo A apresenta maiores pico de intensidade de refração para os ângulos a 2 Å, 15, 17 e 23 Å, sendo típico dos amidos de cereais;

- b) tipo B apresenta maiores picos de intensidade de refração para os ângulos a 2 Å, 5, 6, 15, 17, 22 e 23 Å, sendo o representante mais típico o amido de batata com o pico a 5, 6 Å;
- c) tipo C é uma mistura de precedentes sendo o amido de mandioca um exemplo típico. Classifica-se do tipo C com características de A e B, mas predominantemente A.

Este tipo compreende os amidos de ervilha e algumas variedades de feijão (ROSENTHAL et al. 1974). Quando a amilose estiver complexada com compostos orgânicos, água ou iodo do tipo V pode aparecer. Diferentemente dos tipos A, B, C, o tipo V pode existir na forma anidra (Va) ou hidratada (Vh).

Os padrões de difração de Raios-X dos amidos são determinados, utilizando-se uma unidade RINT 2000 (Wide Angle Goniometer) com radiação de Cu, linha K, $L=1,542\text{Å}$. A velocidade de varredura foi de 1° por minuto e as condições de uso foram de 50 kV e 100mA. O Índice de Cristalinidade Relativa (IC) foi quantitativamente estimado como padrão (HAYAKAWA et al., 1997).

Baumhardt Neto (2003) relata que as áreas cristalinas do amido é que mantêm a estrutura do grânulo, que controlam o seu comportamento na presença de água e a resistência aos ataques enzimáticos ou químicos, porém um excesso de cristalinidade pode resultar em fragilidade.

Na Tabela 8 estão os dados encontrados nos raios-X da cristalinidade e os picos para o padrão de difração, do amido nativo e dos amidos modificados.

Tabela 8 – Cristalinidade e Picos para o padrão de difração

Amostra	Cristalinidade Relativa	Desvio Padrão
Nativo	26,34	0,01
Amido 40%	24,03	0,01
Amido 50%	24,71	0,011
Amido 60%	25,67	0,0039
Amido 70%	25,86	0,0032

Fonte: A autora

Muitos estudos relacionados a outras fontes botânicas de amido como milho, batata e trigo, relatam que o tratamento por descongelamento (*freeze-thaw*) pode fazer alterações físicas não reversíveis nas regiões cristalinas dos grânulos de amido, ocasionando um aumento das proporções relativas das regiões amorfas e diminuição das proporções relativas das regiões cristalinas (SZYMOŃSK et al., 2003; ZHAO et al., 2018; WANG et al., 2019).

A cristalinidade das amostras aumentou ao decorrer do número de congelamento e descongelamento, o amido nativo obteve o maior aumento e o amido com amplitude 40% alcançou a menor taxa de cristalinidade.

Dependendo dos parâmetros determinados durante a aplicação do ultrassom a cristalinidade dos grânulos podem diminuir ou aumentar enquanto o polimorfo de amido pode permanecer inalterado (HUANG; LI; FU, 2007; ZHENG et al., 2013).

6 CONCLUSÃO

A extração do amido da mandioca-salsa aquosa resultou em índices de aproveitamento bem próximos aos citados em literatura, através de um processo relativamente simples. A inativação enzimática por de meta bissulfito de sódio respeitada as normas de segurança alimentar. Ambos os processos demonstram viabilidade em aplicações industriais.

Após a extração os grânulos de amido foram modificados por aplicação do ultrassom, realizado com o auxílio do equipamento Vibra-Cell 500 W (Sonics & Material Inc, EUA), na frequência de 20 kHz. As ondas de ultrassom foram aplicadas na suspensão de amido e água deionizada (10% m/v), mantida em banho de gelo a fim de evitar a gelatinização do amido durante o processo.

Análises foram realizadas a partir de viscoamilografia RVA, análise termogravimétrica, TG/DTG, análise da calorimetria exploratória diferencial DSC, microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo FEG e por difratometria de raios X.

Na viscoamilografia RVA, identificou-se que o tratamento com amplitude de vibração de 40% apresentou menor quebra (QV) e tendência a retroceder, sugerindo maior resistência ao cisalhamento durante o aquecimento e o resfriamento da pasta, comparado as outras amostras. Os amidos fisicamente modificados (40%, 50%, 60% e 70%) apresentaram valores de viscosidades final (VF) ainda maiores que nos picos de viscosidade (PV). A menor tendência à retrogradação foi observada para o amido nativo.

Pela análise das curvas termogravimétrica TG/DTG, determinaram-se dados relevantes acerca da estabilidade térmica das amostras e as zonas limítrofes dos três estágios de perda de massa por temperatura. A maior temperatura de degradação foi detectada no amido modificado com amplitude de 50%, enquanto o tratado a 60% apresentou a maior faixa de estabilidade, compreendida entre 137,12°C e 254,76°C.

O DSC demonstrou que a amostra de amido tratada a 40% de intensidade obteve o menor índice de entalpia de gelatinização ($12,61 \pm 0,07^\circ$), indicando um menor consumo de energia no processo. O amido tratado a 50% teve o pior resultado da amostragem ($14,80 \pm 0,19^a$).

A Microscopia Eletrônica (MEV-FEG) revelou formas poligonais em todas as amostras de amido observadas, e alterações nos tamanhos médios de grânulos devido ao tratamento por ultrassom. O menor grânulo médio foi de 12,27µm para o amido nativo, aumentando gradativamente até o tratamento a 50% de intensidade (17,77µm) sofrendo após

esta intensidade uma redução de tamanho gradativa até atingir 14,46 μ m para a amostra modificada a 70% de intensidade. Nenhuma aglomeração de granulação decorrente do uso de ultrassom foi observada neste estudo.

A difratometria de raios-X demonstrou que os grânulos das amostras sofrem aumento de cristalinidade relativa gradualmente de acordo com o aumento das intensidades do tratamento, entretanto todas as amostras tratadas tem cristalinidade menor que a amostra nativa.

Este trabalho apresentou satisfatoriamente os objetivos propostos para a caracterização dos amidos modificados fisicamente por ultrassom e do amido nativo extraído da mandioquinha-salsa (*Arracacia Xanthorrhiza*).

Após modificação os valores de temperatura de pasta, viscosidade de pico, viscosidade final e viscosidade foram maiores em comparação com o amido nativo. Uma diminuição foi observada nos picos e nas faixas de temperaturas de gelatinização e também no grau de cristalinidade relativa após modificação com um aumento no pico e nas viscosidades finais. Portanto pode-se afirmar que o uso desta técnica de tratamento promove alterações na estabilidade térmica e na estrutura do amido de mandioquinha-salsa.

Possuindo fácil cozimento, a mandioquinha-salsa apresenta baixa temperatura de gelatinização e maior viscosidade de pico, denotando que possa ser aplicado como ingrediente ou base para alimentos que necessitem de refrigeração. O amido resultante de mandioquinha-salsa orgânica (*Arracacia xanthorrhiza*) apresentou também boas características como maior poder de inchamento e solubilidade, menor sinérese, menor capacidade de absorção de água.

Se tratando de uma fonte de amido pouco utilizada, os dados referentes o uso de ultrassom para seu tratamento são incipientes, fato que aponta para uma demanda de estudos para esse material, tanto científico (modificações químicas, enzimáticas) quanto tecnológicos (desenvolvimento de produto, aplicação do amido como ingrediente) que poderão servir de apoio para novos desenvolvimentos na indústria de alimentos.

Destaca-se que o ultrassom é uma técnica considerada segura para modificação de amidos que possuem destino alimentício, uma vez que substitui a necessidade do uso de componentes químicos, que possam representar danos à saúde, também é um processo com boa eficiência energética, portanto é uma alternativa viável economicamente e em consonância com os critérios de sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- ADEKUNTE, A.O. et al. Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. **Food Chemistry**, v.122, n.3, p.500-507, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.026>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- AGGARWAL, P.; DOLLIMORE, D. A thermal analysis investigation of partially hydrolyzed starch. **Termochimica Acta**, v. 319, n. 1, p. 17-25, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(98\)00355-4](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(98)00355-4). Acesso em: 01 jun. 2023.
- ALCÁZAR-ALAY, Sylvia Carolina; MEIRELES, Maria Angela Almeida. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. **Food Science and Technology**, v. 35, n. 2, p. 215-236, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6749>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- ALMEIDA, F. J. Incremento no consumo de mandioquinha-salsa. In: Encontro Nacional Sobre Mandioquinha-Salsa, 7. e Seminário de Integração do Fumo, Milho e Mandioquinha-Salsa, 1, 2000, Rio Negro, PR. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, n. 3, p. 245-246, 2000.
- ALSAFFAR, Ayten Aylin. Effect of food processing on the resistant starch content of cereals and cereal products – a review. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, n. 3, p. 455-462, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02529.x>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- ALVES, L.L. CICHOSKI, A. J.; BARIN, J. S.; RAMPELOTTO, C.; DURANTE, E. C. et al. O ultrassom no amaciamento de carnes. **Ciência Rural**, v. 43, n.8, p.1522-1528, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000800029>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- ASHOGBON, A. O. Dual modification of various starches: Synthesis, properties and applications. **Food Chemistry**, v. 342, p. 128325, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128325>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- ASHOGBON, A. O.; AKINTAYO, E. T. Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources: A review. **Starch/Stärke**, v. 66, n. 1–2, p. 41–57, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.201300106>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- ASHOGBON, A. O. Dual modification of various starches: Synthesis, properties and applications. **Food Chemistry**, v. 342, p. 128325, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128325>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- BARRERA, G. N.; CALDERÓN-DOMINGUEZ, G.; CHANONA-PÉREZ, J.; GUTIERRÉZ-LÓPEZ, G. F.; LÉON, A. E.; RIBOTTA, P. D. Evaluation of the mechanical damage on wheat starch granules by SEM, ESEM, AFM and texture image analysis. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, n. 2, p. 1449–1457, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.07.056>. Acesso em: 01 jun. 2023.

BAUMHARDT NETO, R. Raio-X *In*: CANEVAROLO JR., S. V. (Ed). **Técnicas de Caracterização de polímeros**. São Paulo: Artiber Editora, p.41-60, 2003.

BEMILLER, J. N. Pasting, paste, and gel properties of starch–hydrocolloid combinations. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n. 2, p. 386–423, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.05.064>. Acesso em: 03 jun. 2023.

BEMILLER, J. N. Starch modification: challenges and prospects. **Starch/Stärke**, v.49, n.4, p.31-127, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.19970490402>. Acesso em: 01 jun. 2023.

BEMILLER, J. N. Physical Modification of Starch. **Starch in Food**, v. 2, p. 223–253, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100868-3.00005-6>. Acesso em: 01 jun. 2023.

BEMILLER, J. N. Starches: molecular and granular structures and properties. **Carbohydrate chemistry for food scientists**, v. 3, p. 159-189, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812069-9.00006-6>. Acesso em: 01 jun. 2023.

BEMILLER, J. N.; HUBER, K. C. Physical Modification of Food Starch Functionalities. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 6, n. 1, p. 19–69, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022814-015552>. Acesso em: 01 jun. 2023.

BERNARDO, C. O.; ASCHERI, J. L. R.; de CARVALHO, C. W. P. Efeito do ultrassom na extração e modificação de amidos. **Ciência Rural**, v. 46, n. 4, p.739-746, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150156>. Acesso em 01 jun. 2023.

BENINCA, C.; BARBOZA, R. A.; OLIVEIRA, C. S.; BET, C. D.; BISINELLA, R. Z. B.; SCHNITZLER, E. Corn and Pinhão Starches Modified with Sodium Tripolyphosphate: Thermal, Pasting, Structural and Morphological Properties. **Starch/Stärke**, v. 71, n. 7-8, p. 1800290, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.201800290>. Acesso em: 01 jun. 2023.

BET, C. D.; OLIVEIRA, C. S.; WAIGA, L. H.; OLIVEIRA, C. S.; LACERDA, L. G.; SCHNITZLER, E. Morphological and Thermoanalytical study of Modified Avocado Seeds Starch with Lactic Acid. **Chemistry Journal of Moldova**, v. 12, p. 13-18, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.19261/cjm.2017.438>. Acesso em: 01 jun. 2023.

BET, C. D.; OLIVEIRA, C. S.; COLMAN, T. A. D.; MARINHO, M. T.; LACERDA, L. G.; RAMOS A. P.; SCHNITZLER, E. Organic amaranth starch: a study of its technological properties after heat moisture treatment. **Food Chemistry**, v. 264, p. 435-442, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.021>. Acesso em: 01 jun. 2023.

BET, C. D. **Extração de amido de *Amaranthus caudatus* orgânico por irradiação ultrassônica e incorporação de frutooligossacarídeos por ultrassom e liofilização**. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/43eqB0n>. Acesso em: 10 nov. 2022.

BISINELLA, R. Z. B. **Desenvolvimento de um produto simbiótico em pó de *Lactobacillus casei* e suco de yacon**. Tese (Doutorado em Engenharia dos Alimentos) – Universidade

Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/3pQ9fZ9>> Acesso em: 20 fev. 2023.

BISINELLA, R. Z. B.; BENINCA, C.; BET, C. D.; OLIVEIRA, C. S. de; DEMIATE, I. M.; SCHNITZLER, E. Thermal, structural and morphological characterisation of organic rice starch after physical treatment. **J Therm Anal Calorim**, v. 147, p. 3615-3623, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10973-021-10712-7>. Acesso em: 01 jun. 2023.

BORBA, V. S.; SILVEIRA, C. O.; ALVES, J. B.; GRUPELLI, V. M.; BADIALE-FURLONG, E. Experimental design applied in the semolina pasta cooking to increase the resistant starch formation. **LWT – Food Science and Technology**, v. 138, p. 110708, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110708>. Acesso em: 01 jun. 2023.

BORBA, V.S; SILVEIRA, C. O.; ALVES, J. B.; GROPELLI, V.M.; BADIALE-FURLONG, E. Modificações do amido e suas implicações tecnológicas e nutricionais. In: Carlos Alberto Martins Cordeiro; Evaldo Martins da Silva; Bruna Almeida da Silva (orgs). *Ciência e Tecnologia de Alimentos: pesquisa e práticas contemporâneas*. Científica Digital, 2021. disponível em: <<https://www.editoracientifica.com.br/livros/livro-ciencia-e-tecnologia-de-alimentos-pesquisa-e-praticas-contemporaneas>>.

BUENO, S. C. S. **Produção de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*) usando diferentes tipos de produtos**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2004. Disponível em: <<https://bit.ly/3OB9L4B>> Acesso em: 10 nov. 2022.

C- LABMU- Complexo de Laboratórios, Multiusuários. Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG. Ponta Grossa, 2023.

CARMONA-GARCÍA, R.; BELLO-PÉREZ, L. A.; AGUIRRE-CRUZ, A.; APARICIO-SAGUILÁN, A.; HERNÁNDEZ-TORRES, J.; ALVAREZ-RAMIREZ, J. Effect of ultrasonic treatment on the morphological, physicochemical, functional, and rheological properties of starches with different granule size. **Starch/Stärke**, v. 68, n. 9-10, p. 972–979, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.201600019>. Acesso em: 01 jun 2023.

CEREDA, M. P. (Coord.). **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, , 2001. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americans, 1)

CHAN, H.-T.; BHAT, R.; KARIM, A. A. Effects of sodium dodecyl sulphate and sonication treatment on physicochemical properties of starch. **Food Chemistry**, v. 120, n. 3, p. 703-709, 2010. Disponível em : <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.066>. Acesso em: 01 jun. 2023.

CHEMAT, F.; ZILL-E-HUMA.; KHANA, M. K. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, n. 4, p. 813-835, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>. Acesso em: 01 jun. 2023.

CHEN, H.-M.; HUANG, Q.; FU, X.; LUO, F.-X. Ultrasonic effect on the octenyl succinate starch synthesis and substitution patterns in starch granules. **Food Hydrocolloids**, v. 35,

p.636-643, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.08.009>. Acesso em: 01 jun. 2023.

COLMAN, T. A. D.; DEMIATE, I. M.; SCHNITZLER, E. The effect of microwave radiation on some thermal, rheological and structural properties of cassava starch. **J Therm Anal Calorim**, v. 115, p. 2245-2252, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10973-012-2866-5>. Acesso em: 01 jun. 2023.

COPELAND, L.; BLAZEK, J., SALMAN, H., TANG, M. C. Form and functionality of starch. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 6, p.1527-1534, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.016>. Acesso em: 01 jun. 2023.

DAIUTO, E. R. **Características de féculas de tuberosas e suas relações com resistências dos géis sob condições de estresse aplicada na industrialização de alimentos**. 2005. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/101682?locale-attribute=en>. Acesso em: 01 jun. 2023.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v.39, p. 945-954, 2009.

DOLMATOVA, L.; RUCKEBUSCH, C.; DUPUY, N.; HUVENNE, J.-P.; LEGRAND, P. Identification of modified starch using infrared spectroscopy and artificial neural network processing. **Applied Spectroscopy**, v. 52, n. 3, p. 329-338, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1366/0003702981943752>. Acesso em: 01 jun. 2023.

ELIASSON, A. C. **Carbohydrates in food**. New York: Marcel Dekker, 1996.

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

ENCONTRO Nacional de Mandioquinha-Salsa, 9.; Encontro Latino Americano de Arracacha, 1. Pouso Alegre/MG, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/3OaSnnl>> Acesso em: 01 jan. 2022

EMBRAPA Hortaliças. **Sistemas de Produção**, n. 4. ISSN 1678-880X. Versão Eletrônica, Jun./2008

ESCARPA, A.; GONZÁLEZ, M. C.; MORALES, M. D.; SAURA-CALIXTO, F. An approach to the influence of nutrients and other components on the resistant starch formation. **Food Chem**, v. 60, n. 4, p. 527-532,1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(97\)00025-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(97)00025-3). Acesso em: 01 jun. 2023.

FAYAD, J.A.; COMIN, J.J.; KURTZ, C.; MAFRA, A.; MADEIRA, N.R. (Orgs.) Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH): O cultivo da Mandioquinha-salsa. Epagri, 2018. 68p. <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/BD/issue/download/72/194>

FERRERO, C.; MARTINO, M. N.; ZARITSKY, N. E. Corn starch-xanthan gum interaction and its effect on the stability during storage of frozen gelatinized suspensions. **Starch/Stärke**,

v. 46, n. 8, p. 300-308, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.19940460805>. Acesso em 03 jun. 2023.

FERRONATTO, A.N.; ROSSI, R.C., CAPPELLARI, F. Amido resistente: alternativa de alimento funcional para a homeostase da glicose, redução do perfil lipídico e modulação da microbiota intestinal. *Revista Saúde e Desenvolvimento Humano*. v.8, n. 2, p. 109-120, 2018. Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/saude_desenvolvimento/article/view/5180>

FIDELES, M. C. **Modificação física de farinha de araruta para aplicação em massa alimentícia enriquecida com coprodutos agroindustriais**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/42Xjcmf>> Acesso em: 10 nov. 2022.

FLORES-SILVA, P. C.; ROLDAN-CRUZ, C. A.; CHAVEZ-ESQUIVEL, G.; VERNON-CARTER, E. J.; BELLO-PEREZ, L. A.; ALVAREZ-RAMIREZ, J. In vitro digestibility of ultrasound-treated corn starch. *Starch/Stärke*, v. 69, n. 9-10, p. 1-9, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.201700040>. Acesso em: 01 jun 2023.

FRANCO, C. M. L. et al. Propriedades do Amido. *In: Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, Propriedades Gerais do Amido*. Campinas: Fundação Cargill, v.1, 2001.

GALEANO, E. A. V. **Boletim da Conjuntura Agropecuária Capixaba**. Vitória, ES: Incaper, ano 2, n. 12, dez. 2017. 14p. Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br/>> Acesso em: 10 nov. 2022

GANI, A.; BASHIR, M.; WANI, S. M.; MASOODI, F. A. Modification of bean starch by irradiation: Effect on functional and morphological properties. *LWT-Food Science and Technology*, v. 49, n. 2, p.162-169, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.04.028>. Acesso em: 01 jun. 2023.

GENKINA, N. K.; WIKMAN, J.; BERTOFT, E.; YURYEV, V. P. Effects of structural imperfection on gelatinization characteristics of amylopectin starches with a- and b type crystallinity. *Biomacromolecules*, v. 8, p. 2329-2335, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/bm070349f>. Acesso em: 01 jun. 2023.

GARCIA, A. M.; WALTER JR., W. M. Physicochemical Characterization of Starch From Peruvian Sweetpotato Selections ASA Alimentos S.A., Lima, Peru. *Starch/Stärke*, v. 50, n. 8, p. 331-337, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-379X\(199808\)50:8%3C331::AID-STAR331%3E3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-379X(199808)50:8%3C331::AID-STAR331%3E3.0.CO;2-J). Acesso em: 01 jun. 2023.

GONÇALES, P. M.; NOREÑA, C. P. Z.; SILVEIRA, N. P.; BRANDELLI, A. Characterization of starch nanoparticles obtained from *Araucaria angustifolia* seeds by acid hydrolysis and ultrasound. *LWT – Food Science and Technology*, v. 58, n. 1, p. 21-27, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.03.015>. Acesso em: 01 jun. 2023.

HAN, J.-A.; BEMILLER, J. N. Preparation and physical characteristics of slowly digesting modified food starches. *Carbohydrate Polymers*, v. 67, n. 3, p. 366-374, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.06.011>. Acesso em: 01 jun. 2023.

HARALAMPU, S.G. Resistant starch—a review of the physical properties and biological impact of RS3. **Carbohydrate Polymers**, v. 41, n. 3, p. 285-292, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(99\)00147-2](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(99)00147-2). Acesso em: 01 jun. 2023.

HAYAKAWA, K.; TANAKA, K.; NAKAMURA, T.; ENDO, S.; HOSHINO, T. Quality Characteristics of Waxy Hexaploid Wheat (*Triticum aestivum* L.): Properties of Starch Gelatinization and Retrogradation. **Cereal Chemistry**, v. 74, n. 5, p. 576-580, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.5.576>. Acesso em: 01 jun. 2023.

HERMANN, M. *Arracacha (Arracacia xanthorrhiza Bancroft)*. In: HERMANN, M; HELLER, J. (ed). **Andean roots and tubers: ahipa, arracacha, maca and yacón**. Roma: IPGRI, p. 75-172, 1997.

HIZUKURI, S. Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin and the crystalline structure of starch granules. **Carbohydrate Research**, v.141, n. 2, p. 295-305, 1985. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(00\)90461-0](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)90461-0). Acesso em: 01 jun. 2023.

HIZUKURI, S. Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectin and its significance. **Carbohydrate Research**, v.147, n. 2, p. 342-347, 1986. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(00\)90643-8](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)90643-8). Acesso em: 01 jun. 2023.

HODGE, W. H. La *Arracacha* Comestible. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 10, n. 35, p. 232–254, 1949. Disponível em: <https://bit.ly/3zQIEiQ>. Acesso em: 11 fev. 2022.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate polymers**, v.45, n. 3., p.253-267, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00260-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00260-5). Acesso em: 01 jun 2023.

HU, A. et al. Ultrasonically aided enzymatical effects on the properties and structure of mung bean starch. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 20, p. 146-151, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.08.005>. Acesso em: 01 jun. 2023.

HU, A. et al. Ultrasonic frequency effect on corn starch and its cavitation. **LWT - Food Science and Technology**, v. 60, n. 2-1, p. 941-947, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.048>. Acesso em: 01 jun. 2023.

HUANG, Q.; LI, L.; FU, X. Ultrasound effects on the structure and chemical reactivity of cornstarch granules. **Starch/Stärke**, v. 59, n. 8, p. 371-378, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.200700614>. Acesso em: 01 jun. 2023.

IONASHIRO, M.; CAIRES, F. J.; GOMES, D. J. C. **Giolito: Fundamentos da termogravimetria e análise térmica diferencial/calorimetria exploratória diferencial**. 2. ed. São Paulo, Brasil: Éspers, 2012.

JAMBRAK, A. R.; HERCEG, Z.; ŠUBARIĆ, D.; BABIĆ, J.; BRNČIĆ, M.; BRNČIĆ, S. R.; BOSILJKOV, T.; ČVEK, D.; TRIPALO, B.; GELO, J. Ultrasound effect on physical

properties of corn starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, n.1, p. 91-100, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.07.051>. Acesso em: 01 jun. 2023.

JARAMILLO, R. La *Arracacha* Comestible. **Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín**, v. 12, n. 41, p. 258-261, 1952. Disponível em: <<https://bit.ly/3pQiTej>> Acesso em: 10 mai. 2022.

JIANG, Q.; GAO, W.; LI, X.; XIA, Y.; WANG, H.; WU, S.; HUANG, L.; LIU, C.; XIAO, P. Characterizations of starches isolated from five different *Dioscorea L. species*. **Food Hydrocolloids**, v.29, n.1, p.35-41, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.01.011>. Acesso em: 01 jun. 2023.

KARAMAN, M.; TUNCEL, N. B.; TUNCEL, N. Y. The effect of ultrasound assisted extraction on yield and properties of some pulse starches. **Starch/Stärke**, v. 69, n. 9-10, p. 1-9, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.201600307>. Acesso em 01 jun. 2023.

KAUR, L.; SINGH, J. Starch: Modified Starches. **Encyclopedia of Food and Health**, p. 152-159, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00659-0>. Acesso em: 01 jun. 2023.

KIM, H.-Y.; PARK, S. S.; LIM, S.-T. Preparation, characterization and utilization of starch nanoparticles. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v.126, p.607-620, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2014.11.011>. Acesso em 01 jun. 2023.

KUBIAKI, F. T.; FIGUEROA, A. M.; OLIVEIRA, C. S.; DEMIATE, I. M.; SCHNITZLER, E.; LACERDA, L. G. Effect of acid-alcoholic treatment on the thermal, structural and pasting characteristics of European chestnut (*Castanea sativa*, Mill) starch. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 131, p. 587-594, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5832-9>. Acesso em: 01 jun. 2023.

LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos em alimentos regionais ibero-americanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; ROAU, X.. **Cassava bagasse as a dietary food product**. *Tropical Science*, v. 38, n. 4, p. 224-228, 1998. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/65385>. Acesso em: 20 fev. 2023.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S. B. S. Processamento de araruta (*Maranta arundinacea*) para extração e caracterização da fração amilácea. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 5, n. 93, p. 151-155, 2002. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001280322>. Acesso em: 01 jun. 2023.

LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S. Isolamento e caracterização do amido de mandioca-salsa (*Arracachia Xanthorrhiza*). **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v 4, p. 1-13, 2008. Disponível em: <https://energia.fca.unesp.br/index.php/rat/article/view/1148/1150>. Acesso em: 02 jun. 2023.

LIN, L.; GUO, D.; HUANG, J.; ZHANG, X.; ZHANG, L.; WEI, C. Molecular structure and enzymatic hydrolysis properties of starches from high-amylose maize inbred lines and their

hybrids. **Food Hydrocolloids**, v. 58, p. 246–254, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.03.001>. Acesso em: 01 jun. 2023.

LIN, S. Y.; WANG, S. L. Advances in simultaneous DSC–FTIR microspectroscopy for rapid solid-state chemical stability studies: Some dipeptide drugs as examples. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 64, n. 5, p. 461-478, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.01.009>. Acesso em 01 jun. 2023.

LIU, X; WANG, Y.; YU, L.; TONG, Z.; CHEN, L.; LIU, H.; LI, X. Thermal degradation and stability of starch under different processing conditions. **Starch/Stärke**, v. 65, n. 1-2, p. 48–60, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.201200198>. Acesso em: 01 jun. 2023.

LIU, P.; WANG, R.; KANG, X.; CUI, B.; YU, B. Effects of ultrasonic treatment on amylose-lipid complex formation and properties of sweet potato starch-based films. **Ultrasonics – Sonochemistry**, v. 44, p. 215-222, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.02.029>. Acesso em: 01 jun. 2023.

LUENGO, R. F A. et al. **Tabela de composição nutricional das hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2000. (Embrapa Hortaliças. Documentos, 26). Disponível em: <https://bit.ly/2wBOeSG>. Acesso em: 04 fev. 2023.

MADEIRA, N. R. et al. **Proposição de um sistema de produção de mudas de mandioquinha-salsa**. Brasília, DF: EMBRAPA/CNPH, 2017. (Circular Técnica, 161). Disponível em: <https://bit.ly/3biCNat>. Acesso em: 01 mai. 2023.

MADEIRA, N. R.; CARVALHO, A. D. F. Produção de mudas de mandioquinha-salsa. In: NASCIMENTO, W. M.; PEREIRA, R. B. (eds.). **Hortaliças de propagação vegetativa: tecnologia de multiplicação**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, p. 129-150, 2016.

MADEIRA, N. R. et al. **Mandioquinha-salsa *Arracacia Xanthorrhiza* Bancroft**. Brasília, DF: EMBRAPA/CNPH, 2021. ISSN 2763-6801. Disponível em: <https://bit.ly/3Nv1v52>. Acesso em: 28 ago. 2021.

MARTINS, A. **Caracterização e modificação do amido de taro roxo (*Colocasia esculenta* b. tini) por ultrassom e congelamento e descongelamento**. Tese (Mestrado em Engenharia dos Alimentos) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3Ous920>. Acesso em: 28 ago. 2021.

MASON, T.J. A general introduction to sonochemistry. In: MASON, T.J. (Ed.). **Sonochemistry: the uses of ultrasound in chemistry**. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, p.18. 1990.

MASON, T. J. Power ultrasound in food processing- the way forward. In: POVEY, M.J.W.; MASON, T.J. (Eds.). **Ultrasound in food processing**. London: Thomson Science, p. 105-126, 1998.

MATOS, J. R.; MAERCURI, L.; BARROS, G. Análise térmica aplicada a fármacos e medicamentos. In: STRPIRTIS, S.; GONÇALVES, J. E.; GAI, M. N. **Ciências Farmacêuticas – Biofarmacotécnica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. p.32-65

MESTRES, C. Los estados físicos del almidón. *In*: Conferencia Internacional del almidón. Quito. **Anais...** Quito, p.2, 1996.

MINAKAWA, A. F. K.; FARIA-TISCHER, P. C. S.; MALI, S. Simple ultrasound method to obtain starch micro- and nanoparticles from cassava, corn and yam starches. **Food Chemistry**, v. 283, p.11-18, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.015>. Acesso em: 01 jun. 2023.

MITIĆ, Z.; STOLIĆ, A.; STOJANOVIĆ, S.; NAJMAN, S.; IGNJATOVIĆ, N.; NIKOLIĆ, G.; TRAJANOVIĆ, M. Instrumental methods and techniques for structural and physicochemical characterization of biomaterials and bone tissue: A review. **Materials Science and Engineering**, v. 79, p. 930–949, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.05.127>. Acesso em: 01 jun. 2023.

MONROY, Y.; RIVERO, S.; GARCÍA, A. M. Microstructural and Techno functional properties of cassava starch modified by ultrasound. **Ultrasonics – Sonochemistry**, v. 42, p. 795-804, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.12.048>. Acesso em: 01 jun. 2023.

MUN, S.H.; SHIN, M. Mild hydrolysis of resistant starch from maize. **Food Chemistry**, v. 96, n. 1, p. 115-121, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.015>. Acesso em: 01 jun. 2023.

NARA, S.; KOMIYA, T. Studies on the Relationship Between Water-saturated State and Crystallinity by the Diffraction Method for Moistened Potato Starch. **Starch/Stärke**, v. 35, n. 12, p. 407–410, 1983. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.19830351202>. Acesso em: 01 jun. 2023.

NATIONAL Starch & CHEMICAL Industrial. **Como escolher: um guia profissional para amidos alimentícios**. 8 p., 1997.

NAWAZ, H.; WAHEED, R.; NAWAZ, M.; SHAHWAR, D. Physical and Chemical Modifications in Starch Structure and Reactivity. **Chemical Properties of Starch**. **IntechOpen**, 2020. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/68720>. Acesso em: 01 jun. 2023.

NELSON, D. L.; COX, M. N. **Princípios de bioquímica de lehniger**. 6. ed. Artmed: Porto Alegre, 2014.

NORMAS de classificação da mandioquinha-salsa. **São Roque: Instituto Brasileiro de Qualidade em Horticultura**. 2002. Disponível em: <http://www.hortibrasil.org.br/classificacao/mandioquinha/arquivos/morfologia.html>. Acesso em: 10 jan. 2023.

NUGENT, A. P. Health properties of resistant starch. **Nutrition Bulletin**, v. 30, n. 1, p. 27-54, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nbu.12244>. Acesso em: 01 jun. 2023.

OH, S-M.; KIM, H-Y.; BAE, J-E.; YE, S-J.; KIM, B-Y.; CHOI, H. D.; CHOI, H-W.; BAIK, M-Y. Physicochemical and retrogradation properties of modified chestnut starches. **Food**

Science and Biotechnology, v. 28, n. 6, p. 1723–1731, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00622-8>. Acesso em: 01 jun. 2023.

OJOGBO, E.; OGUNSONA, E. O.; MEKONNEN, T. H. Chemical and physical modifications of starch for renewable polymeric materials. **Materials Today Sustainability**, v. 7–8, p. 100028, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2019.100028>. Acesso em: 01 jun. 2023.

OLIVEIRA, C. S.; ANDRADE, M. M. P.; COLMAN, T. A. D.; COSTA, F. J. O. G.; SCHNITZLER, E. Thermal, structural and rheological behaviour of native and modified waxy corn starch with hydrochloric acid at different temperatures. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 15, p. 13-18, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10973-013-3307-9>. Acesso em: 01 jun. 2023.

OSSWALD, T. A.; MENGES, G. **Material Science of Polymers for Engineers**. Minich, Viena, New York: Carl Hanser Verlag, 1996.

PARK, E. Y.; MA, J. G.; KIM, J.; LEE, D. H.; KIM, S. Y.; KWON, D. J.; KIM, J. Y. Effect of dual modification of HMT and crosslinking on physicochemical properties and digestibility of waxy maize starch. **Food Hydrocolloids**, v. 75, p. 33-40, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.017>. Acesso em: 01 jun. 2023.

PARKER, R.; RING, S. G. Aspects of the physical chemistry of starch. **Journal of Cereal Science**, v.34, n. 1, p.1-17, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/jcrs.2000.0402>. Acesso em: 01 jun. 2023.

PEREIRA, A. S.; SANTOS, F. F. Processamento industrial da mandioquinha-salsa. **Informe Agropecuário**, v. 19, n. 190, p. 56-60, 1997.

PEREIRA, A. S. Mandioquinha-salsa: alimento proteico, energético ou nutracêutico? **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 3, p. 246-249, nov. 2000. VII Encontro Nacional da Mandioquinha-Salsa e I Seminário de Integração do Fumo, Milho e Mandioquinha-Salsa. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362000000300021>. Acesso em: 01 jun. 2023.

PEREIRA, D. K. Amido resistente, a última geração no controle de energia e digestão saudável, **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, 27(supl.), p. 88-92, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000500016>. Acesso em: 01 jun. 2023.

PEREZ, E.; SCHULTZ, F. S.; DELAHAYE, E. P. Characterization of some properties of starches isolated from *Xanthosoma sagittifolium* (tannia) and *Colocasia esculenta* (taro). **Carbohydrate Polymers**, v. 60, n. 2, p. 139-145, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.11.033>. Acesso em: 01 jun. 2023.

PÉREZ, S.; BERTOFT, E. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. **Starch/Stärke**, v.68, n. 8, p. 389-420, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.201000013>. Acesso em: 01 jun. 2023.

PINTO, Z. V.; VANIER, L. N.; DEON, G. V.; MOONMAND, K.; HALAL, EL. M. L. S.; ZAVAREZE, R. E.; LIM, L.; DIAS, G. R. A. Effects of single and dual physical

modifications on pinhão starch. **Food Chemistry**, v. 187, p. 98-105, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.037>. Acesso em: 01 jun. 2023.

PUNIA, S. Barley starch modifications: Physical, chemical and enzymatic - A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 144, n. 1, p. 578–585, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.088>. Acesso em: 01 jun. 2023.

QIU, C.; HU, Y.; JIN, Z.; MCCLEMENTS, D. J.; QIN, Y.; XU, X.; WANG, J. A review of green techniques for the synthesis of size-controlled starch-based nanoparticles and their applications as nanodelivery systems. **Trends in Food Science and Technology**, v. 92, p. 138–151, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.007>. Acesso em: 01 jun. 2023.

RATNAYAKE, W. S.; JACKSON, D. S. Phase transition of cross-linked and hydroxypropylated corn (*Zea mays* L.) starches. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 2, p. 346-358, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.03.008>. Acesso em: 01 jun. 2023.

RINCÓN-AGUIRRE, A. PÉREZ, L. A. B.; MENDOZA, S.; DEL REAL, A.; GARCÍA, M. E. R. Physicochemical Studies of Taro Starch Chemically Modified by Acetylation, Phosphorylation, and Succinylation. **Starch/Stärke**, v. 70, n. 3-4, p.1-9, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.201700066>. Acesso em: 01 jun. 2023.

ROCHA, T. S.; DEMIATE, I. M.; FRANCO, C. M. L. Características estruturais e físico-químicas de amidos de mandioca-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 620-628, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300018>. Acesso em: 01 jun. 2023.

ROSENTHAL, F. R. T.; NAKAMURA, T.; SPÍNDOLA, A. M. C.; JOCKIMEK, M. R. Structure of starch granules. Part 3. Some considerations of *leguminosae* and *tuberosae*. **Starch/Stärke**, v. 26, n. 2, p. 50-56, 1974. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.19740260205>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SANTOS, F. F. dos; CARMO, C. A. S. do; VILELA, N. J. Colheita, classificação, embalagem e comercialização. In: SANTOS, F. F. dos, CARMO, C. A. S. do. (Ed.). **Mandioquinha-salsa: manejo cultural**. Brasília, DF: Embrapa-SPI: Embrapa-CNPQ, p. 64-79. 1998.

SANTOS, F. F.; COSTA, G. P.; MACEDO, P.; KRIECK, R. S. **Mandioquinha-salsa no agronegócio do estado do Paraná**. Curitiba: EMATER-PR: Embrapa Hortaliças, 2000. 56 p. (EMATER-PR. Informação Técnica, 51).

SANZ, T.; SALVADOR, A.; BAIXAULI, R.; FISZMAN, S.M. Evaluation of four types of resistant starch in muffins. II. Effects in texture, colour and consumer response. **European Food Research and Technology**, v. 229, p. 197-204, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1040-1>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SCHMIELE, M.; SAMPAIO, U. M.; CLERICI, M. T. P. S. Basic Principles: Composition and Properties of Starch. **Starches for Food Application**, p. 1-22, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809440-2.00001-0>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SINGH, N. et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, n. 2, p. 219-231, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8). Acesso em: 01 jun. 2023.

SIT, N.; MISRA, S.; DEKA, S. C. Yield and Functional Properties of Taro Starch as Affected by Ultrasound. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 7, p. 1950-1958, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1192-7>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de análise instrumental**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 836 p, 2002.

SPINK, C. H. Differential Scanning Calorimetry. **Methods in Cellular Biology**, v. 84, p. 115-141, 2008. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0091-679x\(07\)84005-2](https://doi.org/10.1016/s0091-679x(07)84005-2). Acesso em: 01 jun. 2023.

SUI, Z.; SHAH, A.; BEMILLER, J. N. Crosslinked and stabilized in-kernel heatmoisture-treated and temperature-cycled normal maize starch and effects of reaction conditions on starch properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n. 4, p. 1461-1467, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.022>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SUJKA, M.; JAMROZ, J. Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional behaviour. **Food Hydrocolloids**, v. 31, n. 2, p. 413-419, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.11.027>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SUSLICK, K.S. Ultrasound: its chemical, physical, and biological effects. *In*: SUSLICK, K. S. (Ed.). **Ultrasound**. New York: VCH, 1988. p.123-164

SZYMOŃSKA, J.; KROK, F.; KOMOROW-CZEPIRSKA, E.; RBILAS, K. Modification of granular potato starch by multiple deep freezing and thawing. **Carbohydrate Polymers**, v. 52, n. 1, p. 1-10, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)00263-1](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00263-1). Acesso em: 03 jun. 2023.

TAO, Y.; SUN, D.-W. Enhancement of food processes by ultrasound: a review. **Food Science and Nutrition**, v.55, n.4, p.570-594, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.667849>. Acesso em: 01 jun. 2023.

TATTIYAKUL, J.; NAKSRIARPORN, T. X-ray Diffraction Pattern and Functional Properties of Dioscorea hispida Dennst Starch Hydrothermally Modified at Different Temperatures. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p. 964-971, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0424-3>. Acesso em: 01 jun. 2023.

TESTER, R. F. Properties of damaged starch granules: composition and swelling properties of maize, rice, pea and potato starch fractions in water at various temperatures. **Food Hydrocolloids**, v. 11, n. 3, p. 293-301, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(97\)80059-8](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(97)80059-8). Acesso em: 01 jun. 2023.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch – composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v.39, n. 2, p.151-165, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>. Acesso em: 01 jun. 2023.

TSAI, M. L.; LI, C. F.; LII, C. Y. Effects of granular structures on the pasting behaviors of starches. **Cereal Chemistry**, v. 74, p. 750-757, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.6.750>. Acesso em: 01. jun. 2023.

VANDEPUTTE, G. E.; DELCOUR, J. A. From sucrose to starch granule to starch physical behavior: a focus on rice starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 58, n. 3, p.245-266, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.06.003>. Acesso em: 01. jun. 2023.

VAMADEVAN, V.; BERTOFT, E. Structure-function relationships of starch components. **Starch/Stärke**, v. 67, n. 1-2, p. 55-68, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.201400188>. Acesso em: 01. jun. 2023.

YING, Z.; HAN, X.; LI, J. Ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from mulberry leaves. **Food Chemistry**, v. 127, n. 3, p. 1273–1279, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.083>. Acesso em: 01 jun 2023.

WANG, S.; COPELAND, L. Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review. **Food Funct.**, v. 4, n. 11, p.1564-1580, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/c3fo60258c>. Acesso em: 01 jun. 2023.

WANG, M.; BAI, X.; JIANG, Y.; LANG, S.; YU, L. Preparation and characterization of low oil absorption starch via freeze-thawing. **Carbohydrate Polymers**, v. 211, n. 1, p. 266–271, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.020>. Acesso em: 03 jun. 2023.

WATERSCHOOT, J.; GOMAND, S. V.; FIERENS; DELCOUR, J. A. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. **Starch/Stärke**, v. 67, n. 1-2, p.1-16, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.201300238>. Acesso em: 01 jun 2023.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. **Carbohydrate chemistry for food scientists**. Eagen Press, St Paul, 117-151, 1997.

ZANIN, A. C. W.; CASALI, V. W. D. Origem, distribuição geográfica e botânica da mandiquinha-Salsa. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 10, n. 120, p. 9-11, 1984.

ZHAO, A.-Q.; YU, L.; YANG, M.; WANG, C.-J.; WANG, M.-M.; BAI, X. Effects of the combination of freeze-thawing and enzymatic hydrolysis on the microstructure and physicochemical properties of porous corn starch. **Food Hydrocolloids**, v. 83, p. 465–472, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.041>. Acesso em: 03 jun. 2023.

ZHENG, J.; LI, Q.; HU, A.; YANG, L.; LU, J.; ZHANG, X.; LIN, Q. Dual frequency ultrasound effect on structure and properties of sweet potato starch. **Starch/Stärke**, v. 65, n. 7-8, p. 621-217, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.201200197>. Acesso em: 01 jun. 2023.

ZHU J.; LI, L.; CHEN, L.; LI, X. Study on supramolecular structural changes of ultrasonic treated potato starch granules. **Food Hydrocolloids**, v. 29, n. 1, p. 116-122, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.02.004>. Acesso em: 01 jun. 2023.

- ZHU, F. Isolation, Composition, Structure, Properties, Modifications, and Uses of Yam Starch. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, n. 4, p. 357-386, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12134>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- ZHU, F.; LI, H. Modification of quinoa flour functionality using ultrasound. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 52, p. 305-310, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.11.027>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- ZHU, F. Structure, Physicochemical Properties, Modifications, and Uses of Sorghum Starch. **Food Science and Food Safety**, v. 13, n. 4, p. 597-610, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12070>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- ZIA-UD-DIN; XIONG, H.; FEI, P. Physical and chemical modification of starches: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 12, p. 2691–2705, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1087379>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- ZOBEL, H. F. Molecules to granules: A comprehensive starch review. **Starch/Stärke**, v. 40, n. 2, p. 44-50, 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/star.19880400203>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- ZUO, J. Y. et al. The pasting properties of sonicated waxy rice starch suspensions. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 16, n. 4, p.462-468, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.01.002>. Acesso em: 01 jun. 2023.
- ZUO, Y. Y. J.; HÉBRAUD, P.; HEMAR, Y., ASHOKKUMAR, M. Quantification of high-power ultrasound induced damage on potato starch granules using light microscopy. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 19, n. 3, p. 421-426, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.08.006>. Acesso em: 01 jun. 2023.