



AMANDA LOGATO CUNHA

**CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DA ARARUTA
TIPOS SETA E REDONDA, VISANDO
UTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**

LAVRAS – MG

2016

AMANDA LOGATO CUNHA

**CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DA ARARUTA TIPOS SETA E
REDONDA, VISANDO UTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora
Dra. Joelma Pereira

**LAVRAS – MG
2016**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha
Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Cunha, Amanda Logato.

Caracterização do amido da araruta tipos seta e redonda,
visando utilização na indústria de alimentos / Amanda Logato
Cunha. – Lavras : UFLA, 2016.

112 p.

Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal de
Lavras, 2016.

Orientador(a): Joelma Pereira.

Bibliografia.

1. *Maranta arundinacea*. 2. Tipos de rizomas. 3. Hortaliça não
convencional. 4. Propriedades térmicas. 5. Propriedades reológicas.
I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

AMANDA LOGATO CUNHA

**CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DA ARARUTA TIPOS SETA E
REDONDA, VISANDO UTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 22 de fevereiro de 2016.

Dra. Luciane Vilela Resende UFLA

Dra. Marali Vilela Dias UFLA

Dr. Anderson Felicori Fernandes IF Sudeste MG – Rio Pomba

Dra. Joelma Pereira
Orientadora

LAVRAS – MG

2016

*Aos meus pais, Sérgio e Claudenilza, por todo amor, apoio e incentivo.
À minha irmã, Victória, pelo carinho e amizade.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por não me deixar desistir e pelas conquistas proporcionadas.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela estrutura e pela oportunidade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pela concessão de bolsa de estudos.

À minha orientadora, Dra. Joelma Pereira, por toda ajuda, todos os ensinamentos e toda paciência.

À Embrapa Hortaliças e ao Dr. Nuno Madeira, pela disponibilidade da matéria-prima.

Aos meus pais, por todo amor, carinho, paciência e apoio. Devo muito a vocês.

À minha irmã, Victória, por todo amor e descontração. A próxima será você e estarei ao seu lado.

A toda a minha família, pelo apoio e carinho.

Aos meus amigos de república, do LGC, de Lavras e de Campinas, por toda ajuda, por todos os momentos de descontração, toda amizade e companhia.

A todos que contribuíram com meu crescimento profissional e pessoal. Também torço por vocês.

“Mas os que confiam no Senhor recebem sempre novas forças. Voam nas alturas como águias, correm e não perdem as forças, andam e não se cansam”.

Isaiás 40:31

RESUMO

Amidos e seus derivados são utilizados em praticamente todos os setores industriais. Na indústria de alimentos podem ser empregados como ingredientes básicos de produtos ou aditivos, na melhoria de produtos, de sua apresentação ou conservação. Países tropicais, como o Brasil, têm grande variedade de espécies amiláceas que poderiam substituir amidos modificados em alimentos processados. Neste trabalho, amidos da araruta redonda e da araruta seta foram analisados e comparados, para que fosse realizado o estudo das características físico-químicas, térmicas, óticas e reológicas, e a verificação de sua aplicabilidade na indústria de alimentos. O trabalho consistiu na determinação de umidade, proteínas, extrato etéreo, fibra bruta, cinzas, fração glicídica, pH, acidez titulável, amido total, teor de fósforo, propriedades de pasta, capacidade de absorção de água e de óleo, poder de inchamento e índice de solubilização do amido, análise de imagem, FTIR, difração de raios X, propriedades térmicas (DSC e TG/DTA) e claridade de pasta. Os resultados da composição centesimal, dos poderes de inchamento e solubilidade, da capacidade de absorção de água e óleo e da claridade da pasta foram analisados pela observação de médias e desvios padrões de três repetições. A composição centesimal dos dois amidos mostrou altos teores de fibra bruta, o que pode ser atribuído ao avançado estágio de maturação dos rizomas de araruta. Os valores de pH foram baixos, enquanto a acidez estava de acordo com a literatura. Os dois teores de amido foram bem próximos, estando dentro do limite, enquanto os teores de fósforo estavam acima do encontrado em outros trabalhos. Ambos os amidos de araruta apresentaram fragilidade à temperaturas elevadas e à agitação mecânica, menor resistência à dissociação das ligações de hidrogênio e maior facilidade de expansão, maior capacidade de retenção de água antes de os grânulos se romperem e alta viscosidade final. O amido da araruta seta apresentou maior tendência a retrogradar que o da araruta redonda. Foram encontrados valores baixos para capacidade de absorção de água, poder de inchamento e índice de solubilidade, e altos para absorção de óleo. Os grânulos de amido apresentaram tamanho heterogêneo, com aparência oval e elipsoide, e cristalinidade do tipo C. Foram determinados os principais grupos químicos presentes em polissacarídeos. O amido da araruta redonda apresentou T_{onset} de 299 °C e 49% de perda de massa, durante a etapa de degradação, enquanto o amido da araruta seta apresentou T_{onset} de 293 °C e perda de 52%. A faixa de gelatinização para o amido da araruta redonda foi de 45,87 °C a 61,37 °C, com entalpia de 12,56 J g⁻¹, e para o amido da araruta seta, a faixa de gelatinização foi de 46,83 °C a 62,10 °C, e entalpia de 15,73 J g⁻¹. As duas pastas dos amidos apresentaram pouca transparência, podendo ser utilizados em molhos e na confecção de pudins e sobremesas prontas, além de produtos de panificação.

Palavras-chave: *Maranta arundinacea*. Tipos de rizomas. Hortaliça não convencional. Propriedades térmicas. Propriedades reológicas.

ABSTRACT

Starch and their derivatives are used in almost all industrial sectors. In the food industry, can be used as basic ingredients of products or additives, improving products, their presentation or conservation. Tropical countries such as Brazil, have great variety of starchy species that could replace modified starches in processed foods. In this work, starches of the redonda arrowroot and seta arrowroot were analyzed and compared, to be carried out the study of its physicochemicals, thermals, opticals and rheologicals characteristics, and the verification of their applicability in the food industry. The work consisted in the determination of moisture, protein, ethereal extract, crude fiber, ash, glycidic fraction, pH, titratable acidity, total starch, phosphorus content, pasting properties, ability to absorb water and oil, swelling power and starch solubilization rate, image analysis, FTIR, X-ray diffraction, thermal properties (DSC and TG / DTA), paste clarity. The results of the centesimal composition, the swelling power and solubility, water absorption capacity and oil and paste clarity were analyzed by the observation means and standard deviations of three replicates. The centesimal composition of the two starches showed high crude fiber content, which may be attributed to the advanced stage of maturity of arrowroot rhizomes. The pH value was below, while the acidity was in agreement with the literature. The two starch contents were very close, being within the limit, while phosphorus contents were higher than those found in other studies. Both arrowroot starch showed weakness at high temperatures and mechanical agitation; less resistance to dissociation of hydrogen bonds and ease of expansion; high water retention capacity of the granules before the rupture; and high viscosity end. The starch of seta arrowroot proved to be more tendency to retrograde the redonda arrowroot. Low values for capacity of water absorption, swelling power and solubility index were found, besides high values for oil absorption. Starch granules showed heterogeneous size, oval and ellipsoid appearance and crystallinity of type C. Main chemical groups present in polysaccharides were found. The redonda arrowroot presented T_{onset} 299°C and 49% mass loss during the degradation step, while seta arrowroot presented T_{onset} 293°C and 52% mass loss. The gelatinization range for the redonda arrowroot starch was 45.87°C to 61.37°C with enthalpy of 12.56 J g⁻¹, and gelatinization range of seta arrowroot starch was 46.83°C to 62.10°C, and enthalpy of 15.73 J g⁻¹. The two pastes of starches have low transparency, and can be used in sauces and in the production of puddings and ready desserts, and baked products.

Keywords: *Maranta arundinacea*. Types of rhizomes. Unconvencional vegetables. Thermal properties. Rheological properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Perfil de viscosidade obtido em <i>Rapid Visco Analyser</i> , apresentando os parâmetros comumente medidos e viscosidade em RVU.....	26
Figura 2	Ararutas antes da seleção e extração. A: Araruta seta (MG). B: Araruta redonda (BA).....	39
Figura 3	Perfil viscoamilográfico dos amidos de araruta redonda (AR) e de araruta seta (AS).....	57
Figura 4	Efeito da variação da temperatura no poder de inchamento nos amidos de araruta seta (AS) e araruta redonda (AR).....	66
Figura 5	Efeito da variação da temperatura no índice de solubilidade nos amidos de araruta seta (AS) e araruta redonda (AR).....	68
Figura 6	Fotomicrografias de MEV do amido de araruta redonda (A) e do amido de araruta seta (B). Aumento de 300x e escala de 100 μm	71
Figura 7	Fotomicrografias de MEV do amido de araruta redonda (A) e do amido de araruta seta (B), com aumento de 830x e escala de 20 μm	71
Figura 8	Espectro do FTIR para os amidos de araruta redonda (AR) e araruta seta (AS).....	75
Figura 9	Difratogramas de raios X dos amidos de araruta Redonda (AR) e seta (AS).....	76
Figura 10	Curvas TG/DTG/DTA do amido de araruta redonda.....	81
Figura 11	Curvas TG/DTG/DTA do amido de araruta seta.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Composição média dos amidos de araruta tipos redonda e seta	47
Tabela 2	Propriedades de pasta* de amidos de araruta redonda e araruta seta	56
Tabela 3	Propriedades de pasta de amidos de araruta observadas por diferentes autores*	56
Tabela 4	Valores médios* das capacidades de absorção em água e óleo dos amidos de araruta redonda e seta	63
Tabela 5	Valores médios do poder de inchamento (PI) e do índice de solubilidade (IS) dos amidos de araruta seta e redonda	65
Tabela 6	Propriedades térmicas de gelatinização de amidos de araruta redonda e araruta seta.....	84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Araruta	15
2.2	Amido	18
2.2.1	Amido de araruta	20
2.2.2	Características tecnológicas do amido.....	21
2.2.2.1	Difração de raios X.....	21
2.2.2.2	Propriedades de pasta.....	22
2.2.2.3	Propriedades morfológicas	27
2.2.2.4	Absorção de água.....	27
2.2.2.5	Clareza da pasta.....	29
2.2.2.6	Análises térmicas	30
2.2.2.7	Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier	34
2.2.3	Relação entre as propriedades do amido e suas aplicações	35
3	MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1	Matéria-prima	38
3.2	Delineamento experimental	39
3.3	Caracterização do amido	40
3.3.1	Extração do amido.....	40
3.3.2	Composição centesimal	40
3.3.3	pH.....	41
3.3.4	Acidez total titulável.....	42
3.3.5	Teor de amido	42
3.3.6	Determinação de fósforo	42
3.3.7	Propriedades de pasta	42
3.3.8	Capacidade de absorção em água (CAA) e em óleo (CAO).....	43
3.3.9	Poder de inchamento e índice de solubilização do amido	44
3.3.10	Análise de imagem.....	44
3.3.11	Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier	44
3.3.12	Difração de raios X.....	45
3.3.13	Análises térmicas	45
3.3.14	Clareza de pasta.....	46
3.3.15	Análise estatística	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	Composição química	47
4.2	Propriedades de pasta.....	55
4.3	Capacidade de absorção de água e de óleo.....	62

4.4	Poder de inchamento e Índice de solubilização do amido.....	64
4.5	Análise de imagem.....	70
4.6	Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier	73
4.7	Difração de raios X.....	76
4.8	Termogravimetria e análise térmica diferencial.....	80
4.9	Calorimetria exploratória diferencial.....	83
4.10	Claridade de pasta.....	87
6	CONCLUSÃO	90
	REFERÊNCIAS	91

1 INTRODUÇÃO

O amido é o principal carboidrato de reserva de energia das plantas, sendo encontrado em grandes quantidades, principalmente em raízes, tubérculos e cereais. Para o homem, o amido complementa a sua dieta diária, uma vez que a maioria das calorias ingeridas é proveniente dele, fornecendo energia biológica.

O homem o utiliza também como ingrediente ou aditivo para melhorar a produção, a apresentação e a conservação de produtos de diversos setores industriais, como indústrias de alimentos, têxtil, de construção civil, petrolífera, farmacêutica e de cosméticos, química e de papel, entre outras. Na indústria de alimentos, o amido é utilizado para modificar ou controlar características dos produtos, por meio do seu emprego como texturizante, espessante, estabilizante, retentor de umidade e gelatinizante.

As principais fontes de amido convencionais e comerciais são o milho, a mandioca e a batata. Apesar da ampla aplicação dos amidos dessas fontes nas indústrias, alguns produtos exigem que o amido apresente características que não são encontradas em sua forma nativa, sendo necessário modifica-las.

As modificações são alternativas desenvolvidas para superar limitações que os amidos nativos apresentam, utilizadas, principalmente, para modificar as características de cozimento, diminuir a retrogradação, aumentar a estabilidade das pastas durante o congelamento e p descongelamento, melhorar os grupamentos hidrofóbicos e introduzir poder emulsificante.

Existem muitos métodos de modificação de amidos, sendo uns mais simples e outros mais complexos e onerosos. Assim, essas modificações podem ser feitas por processos físicos (tratamento térmico, pré-gelatinização), processos químicos (ligação cruzada, oxidação, hidrólise ácida, esterificação) ou processos enzimáticos.

Pesquisas para encontrar novas fontes amiláceas com características atraentes para indústrias, sem que seja necessária qualquer modificação, se intensificaram. Para isso, é necessário que a indústria conheça as características dos amidos, principalmente suas propriedades funcionais, como intumescimento e solubilidade, propriedades de pasta, análises térmicas, claridade de pasta e textura, que irão determinar a qualidade do produto final e também delinear e aperfeiçoar processos.

Visando conhecer novas fontes, o Brasil, como os demais países localizados em regiões tropicais, tem vantagens, ao passo que detém grande diversidade biológica, apresentando diversos vegetais ricos em amido que poderiam ser prontamente utilizados por essas indústrias. Porém, está havendo uma diminuição no cultivo e no consumo de hortaliças em algumas regiões do país, resultado de um maior consumo de produtos industrializados. Hortaliças chamadas de não convencionais, que exercem influência na alimentação e na cultura de determinadas regiões onde são produzidas, estão em processo de extinção, devido, também, a essas mudanças no padrão alimentar dos brasileiros.

Uma dessas hortaliças não convencionais é a araruta (*Maranta arundinacea* L.), planta que produz rizomas que acumulam amido. Esse amido tem características consideradas inigualáveis, o que faz com que alcance preços elevados no mercado internacional, apesar de sua baixa produção mundial. São poucos os estudos sobre essa espécie, com escassos dados de produção.

Diante do elevado teor de amido na araruta, 24,23% de amido em base úmida, segundo Leonel e Cereda (2002) e do interesse de indústrias pela obtenção de novas fontes amiláceas, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar as características físicas, químicas, físico-químicas, térmicas, ópticas e reológicas do amido extraído da araruta fornecendo informações, verificando seu potencial para ser aproveitado pela indústria, disponibilizando novas fontes de amido, principalmente para a indústria alimentícia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Araruta

A araruta, *Maranta arundinacea*, é também conhecida como raruta, maranta, *arrowroot* ou *west indian arrowroot* (KINUPP; LORENZI, 2014). É uma planta originária da América do Sul, com ampla faixa de distribuição, que vai desde o nordeste ao sul do Brasil, e com cultivo em maior escala nas Antilhas, destacando-se Barbados, Jamaica, Bermudas e São Vicente (ALBUQUERQUE; PINHEIRO, 1970).

O termo “araruta” é atribuído a “arrow-root”, termo criado pelos ingleses com base nos termos indígenas. “Aru-arú” é a designação dada pelos nativos sul-americanos e que significa farinha, ou flecha, pois eles utilizavam a raiz da planta como antídoto contra o veneno de flechas, já que tem efeito balsâmico aliviante sobre as feridas (ALBUQUERQUE; PINHEIRO, 1970).

Sua difusão no mundo aconteceu com a descoberta da América, sendo propagada pelos portugueses, como aconteceu com a mandioca. Da África Ocidental passou ao resto do continente, à Índia Oriental, ao Sudeste Asiático e à Austrália (ALBUQUERQUE; PINHEIRO, 1970).

A araruta é uma planta herbácea perene rizomatosa, ou seja, forma rizomas, que são caules curvados que crescem horizontalmente sob o solo e que emitem raízes, folhas e ramos a partir de seus nós. Eles são fusiformes, muito fibrosos e acumulam amido, que servirá de reserva para o desenvolvimento de uma nova planta (NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005).

A araruta cresce formando touceiras que podem chegar a 1,2 m de altura. Suas folhas, em forma de lanças, são alternadas e com longos pecíolos; suas flores são pequenas, brancas e podem ser solitárias ou em conjunto de três

ou quatro; seu fruto é muito pequeno e as sementes são avermelhadas (PIO CORRÊA, 1984). A colheita ocorre de 9 a 10 meses após o plantio.

As plantas são multiplicadas por meio de rizomas que emitem brotação (PIO CORRÊA, 1984), e são duas as variedades mais encontradas, a ‘Comum’ e a ‘Creoula’. A ‘Comum’ produz rizomas claros, que são cobertos por uma escama muito fina que solta com facilidade e podem atingir até 30 cm. A ‘Creoula’ tem rizomas que crescem mais superficialmente e apresentam coloração escura e, se não forem muito bem lavados para retirar toda a película, produzem uma fécula escura de baixa qualidade (NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005).

Esses caules rizomatosos são a parte consumida das ararutas, utilizados, principalmente, para a extração de fécula, visando à fabricação de pães e biscoitos. Sua fécula tem ótima digestibilidade, o que faz com que seja bastante apreciada (BRASIL, 2010). Por sua leveza incomparável, os biscoitos fabricados com essa fécula derretem na boca. Também é tradicional o mingau de araruta, especialmente recomendado para crianças e idosos (SILVA; NEVES, 2005).

Algumas tribos indígenas brasileiras utilizavam o sumo da araruta contra picada de insetos, e a fécula contra diarreia. Já a fibra da araruta tem sido empregada para dar qualidade especial ao papel (COELHO et al., 2005). Mas, o uso mais comum é em forma de amido, extraído dos rizomas depois de triturados. A massa fibrosa que contém o amido é peneirada e lavada para a separação da fibra e a decantação do amido, que é seco e peneirado e utilizado para a confecção de bolos e biscoitos ou do mingau de araruta. A fibra já foi muito utilizada na alimentação de animais, porém, com a atual valorização das fibras na alimentação humana, estão buscando outros usos, como por exemplo, a farinha contendo tanto as fibras como o amido (NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005).

O amido da araruta tem características e qualidades que são consideradas inigualáveis, pois confere leveza e alta digestibilidade aos confeitos, além da ausência de glúten, o que os torna recomendáveis para pessoas que apresentam intolerância alimentar (NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005).

Pela maior facilidade de industrialização, o amido da araruta foi sendo gradualmente substituído pelo da mandioca, porém, não apresenta as mesmas características de fácil digestibilidade e capacidade de gelatinização. O pouco plantio e a dificuldade para obtenção do amido puro fizeram com que a indústria alimentícia abandonasse a comercialização do produto e a araruta praticamente desapareceu do mercado (NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005).

Assim, a araruta faz parte de um seleto grupo de hortaliças conhecidas como não convencionais, que são de distribuição limitada, restrita a determinadas localidades ou regiões, e exercem grande influência na alimentação e na cultura de populações tradicionais. Além disso, essas espécies não estão organizadas como cadeia produtiva e por isso não despertam interesse comercial por parte de empresas de sementes, de fertilizantes ou de agroquímicos, e não recebem, ainda, a devida atenção por parte da comunidade técnico-científica e da sociedade como um todo. Isso resulta em consumo localizado em algumas localidades ou regiões, com dificuldade de penetração nas demais regiões do país (BRASIL, 2010).

Por serem plantadas por meio de rizomas e tubérculos, essas espécies tradicionais podem facilmente desaparecer, pois dependem do replantio constante do material propagativo (NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005). Trata-se de uma questão de segurança e de soberania alimentar estimular a produção e o consumo das hortaliças não convencionais, em vista de suas características nutracêuticas e da sua rusticidade de cultivo (BRASIL, 2010), ao passo que o resgate da importância da araruta para a cultura brasileira e para a

agricultura familiar, em especial, tem se dado por meio de estímulo e orientações para seu plantio e também da participação em eventos e de publicações variadas que, inclusive, resgatam a culinária tradicional e os antigos sabores do tempo de nossos avós (COELHO et al., 2005). É estimulada a troca de materiais com as pessoas interessadas para que a diversidade genética possa ser preservada (NEVES; COELHO; ALMEIDA, 2005).

2.2 Amido

Segundo a Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005), amidos são os produtos amiláceos extraídos de partes comestíveis de cereais, tubérculos, raízes ou rizomas. Sua designação deve ser seguida do nome comum da espécie vegetal utilizada, e os amidos extraídos de tubérculos, raízes e rizomas podem ser designados de fécula. Os amidos de cereais devem ter umidade máxima de 15,0% (g /100 g), enquanto os de batata devem ter de 21,0% (g/100g) e os de mandioca, 18,0% (g/100g).

O amido é o principal carboidrato de reserva sintetizado pela maioria das plantas e representa o segundo polímero mais abundante na terra, abaixo apenas da celulose (ELIASSON, 2004). Ele desempenha importante papel como material funcional para as indústrias alimentares e não alimentares, e é fonte de energia essencial para nutrição humana e animal.

Quimicamente, o amido é sempre igual, independente de sua origem botânica (CEREDA, 1996), porém, a forma estrutural do amido é diferente, podendo ser formado de outros polímeros, como proteínas, lipídios e minerais, em diferentes proporções (COPELAND et al., 2009). Os grânulos de amido são birrefringentes e, quando observados sob luz polarizada, apresentam a típica cruz de malta. Os diferentes graus de ordenamento estrutural do grânulo são responsáveis pelas propriedades de birrefringência e cristalinidade.

O grânulo de amido é essencialmente constituído de dois polissacarídeos, a amilose e a amilopectina, que estão associadas entre si por ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxilas das unidades de glicose que estão unidas entre si por ligações glicosídicas. A proporção entre essas moléculas e sua organização dentro do grânulo está diretamente relacionada com a funcionalidade do amido (CEREDA et al., 2002; PERONI, 2003).

A amilose é uma molécula essencialmente linear formada por ligações D-glicose $\alpha(1-4)$, com apenas algumas ramificações (BULÈON et al., 1998), cerca de 2 a 8 pontos por molécula. Seu peso molecular é de 1×10^5 a 2×10^6 g/mol e seu comprimento pode variar de 4 a 100 unidades de glicose (JAYAKODY, 2001). Representa, em média, de 15% a 30% do amido (SRICHUWONG et al., 2005a) e esse conteúdo varia de acordo com a fonte botânica, a maturidade fisiológica e as condições de solo e clima (CEREDA et al., 2002). A molécula, geralmente, se apresenta em uma conformação helicoidal e, devido à disposição das unidades de glicose, tem um interior hidrofóbico (LACERDA, 2006). Sua configuração e natureza linear permitem ainda algumas propriedades únicas, como a capacidade de formar filmes e complexos com álcoois, lípídeos e ácidos (WHISTLER; DANIEL, 1984).

A amilopectina é formada por moléculas de D-glicose em ligações $\alpha(1-4)$, porém, diferentemente da amilose, é bastante ramificada devido a unidades de glicose em ligações $\alpha(1-6)$. A proporção entre amilose e amilopectina é variável e depende da origem botânica do amido. É considerada uma das maiores biomoléculas encontradas na natureza, com peso molecular podendo chegar a mais de 10^9 g/mol, e representa, em média, de 70% a 85% do grânulo de amido. As cadeias externas da amilopectina se organizam na forma de dupla hélice e algumas formam estruturas cristalinas (SRICHUWONG et al., 2005a). Um dos principais fatores que determinam as propriedades do grânulo de amido é o arranjo das moléculas lineares e ramificadas distribuídas dentro do grânulo.

A cristalinidade dos grânulos de amido é atribuída, principalmente, à amilopectina e não à amilose que, embora seja linear, apresenta uma conformação que dificulta sua associação regular com outras cadeias (BLANSHARD, 1987). Nessas áreas cristalinas existem regiões amorfas, nas quais as moléculas não têm orientação particular. Na região amorfa, as moléculas são menos fechadas, o que permite a entrada de água para a formação de ligações de hidrogênio com os grupos hidroxila livres das moléculas de amido. As áreas cristalinas mantêm a estrutura do grânulo e participam do comportamento do amido na água. Por este motivo é que o grânulo de amido nativo exibe capacidade limitada de absorção de água, embora seja constituído de polímeros solúveis ou parcialmente solúveis neste líquido (CIACCO; CRUZ, 1982).

São cinco as principais características físicas do amido, as quais determinam seu tipo de aplicação industrial: dilatância, gelatinização, retrogradação, claridade de pasta e suscetibilidade enzimática (ALVES, 2009).

2.2.1 Amido de araruta

A araruta pertence à família *Marantaceae* (Calanthea e Maranta), grupo das Zingiberales, que produz um rizoma rico em amido (ou fécula). O amido da araruta, apesar de apresentar características e qualidades consideradas inigualáveis, foi gradualmente substituído pelo amido da mandioca (NEVES et al., 2005).

Leonel et al. (2002), ao estudarem o processamento da araruta para a extração e a caracterização da fração amilácea, notaram que o amido apresentou composição centesimal dentro do previsto pela legislação brasileira da época (BRASIL, 1978) e encontraram teor de amilose de 23,9%. A observação dos grânulos de amidos em microscopia eletrônica mostrou grânulos de forma

circular e ovalada, com vasta distribuição de tamanho (nove μm a 42 μm), com predomínio de grânulos com 20 μm de diâmetro. A análise de propriedades da pasta revelou baixa estabilidade a quente frente à agitação, com temperatura de pasta de 67,1 °C e tendência à retrogradação semelhante à do amido de mandioca, de 79,8 RVU.

2.2.2 Características tecnológicas do amido

Compreender as propriedades tecnológicas do amido, como temperatura de gelatinização, tendência à retrogradação, índice de solubilidade em água, índice de absorção de água e claridade das pastas, é indispensável para efetivar seu emprego para fins industriais (SILVA; ASSUMPÇÃO; VEGRO, 2000). Ao mesmo tempo em que se busca manter e/ou realçar as características dos seus produtos, inclusive após armazenamento, estocagem e refrigeração e obter propriedades diferenciadas, além de otimizar o processo de produção (BOBBIO; BOBBIO, 1992).

2.2.2.1 Difração de raios X

Quando os raios X interagem com um material cristalino, eles geram um padrão de difração e cada substância tem o seu padrão, que é único e representa a sua identidade. Quanto maior o número de cristais em um plano de uma estrutura, mais intensos, pontiagudos e estreitos serão os picos na difração de raios X. As partes amorfas geram picos mais largos e menores (RIBEIRO NETO, 2003; THERMO ARL, 1999). Os grânulos de amido, por serem parcialmente cristalinos, proporcionam padrões específicos de difração de raios X (FRANCO et al., 2002). A cristalinidade exerce importante função na estrutura do grânulo e em suas características físico-químicas, como a

suscetibilidade a enzimas e a insolubilidade em água fria (TANG; MITSUNAGA; KAWAMURA, 2006). O polimorfismo dos padrões de amido é influenciado pelas condições ambientais, o tamanho das cadeias de glicose, a concentração de amido na solução e a presença de outros solventes e moléculas orgânicas (JAYAKODY, 2001).

2.2.2.2 Propriedades de pasta

O amido é largamente utilizado, pela indústria de alimentos nacional e internacional, como melhorador das propriedades funcionais em sistemas alimentícios. Relações entre as características estruturais de amidos e suas propriedades térmicas e de pasta têm recebido muita atenção (WHISTLER; BEMILLER, 1997), ao passo que as mudanças que ocorrem nos grânulos de amido, durante a gelatinização e a retrogradação, são as principais determinantes do comportamento de pasta desses amidos, as quais têm sido medidas, principalmente, pelas mudanças de viscosidade durante o aquecimento e o resfriamento de dispersões de amido, usando equipamentos como viscoamilógrafo Brabender e o Rapid Visco Analyser (RVA) (THOMAS; ATWELL, 1999).

Grânulos de amido são insolúveis em água fria, mas, quando aquecidos em excesso de água (maior que 60%), ocorre um inchamento irreversível, produzindo uma pasta viscosa (WHISTLER; BEMILLER, 1997). Este fenômeno é conhecido como gelatinização do amido e depende de vários fatores, como a fonte do amido, a concentração e a temperatura durante o aquecimento (MORIKAWA; NISHINARI, 2000).

Durante o início da gelatinização, quando as moléculas de água têm energia cinética suficiente para superar as ligações de hidrogênio entre as moléculas de amilose e amilopectina, a hidratação ocorre, o que causa o

intumescimento do grânulo. Com a continuação da expansão, o grânulo se rompe, liberando a amilose para a fase aquosa (ZHOU et al., 2002).

Em solução aquosa, o grânulo de amido é birrefringente, quando visto microscopicamente sob luz polarizada. A refração pelas suas regiões cristalinas resulta no modelo típico de cruz-de-malta, caracterizando a orientação radial das macromoléculas. O centro, ou “hilum”, encontrado no centro da cruz, é considerado o ponto original de crescimento do grânulo. Essa propriedade de birrefringência é devido ao alto grau de orientação molecular interna, não tendo qualquer relação com a forma cristalina em particular (ELIASSON, 2004; LAJOLO; MENEZES, 2006).

Com o inchamento do grânulo ocorre a perda da birrefringência ou da cristalinidade, formando uma solução viscosa ou um gel, dependendo do conteúdo presente na solução (SILVA, 2005). Os grânulos, devido à heterogeneidade dos seus cristais, não gelatinizam à mesma temperatura: os grânulos maiores, geralmente, gelatinizam primeiro. Isto se deve às regiões cristalinas dentro do grânulo, que são compostas por pequenos cristais, cada um exercendo um grau de diferença na composição cristalina. Cada cristal funde e torna-se desorganizado numa temperatura particular. Logo, a temperatura de gelatinização dos grânulos representa uma soma de eventos individuais (MACGREGOR; FINCHER, 1993).

Um pico de viscosidade é obtido durante o empastamento, quando a maioria dos grânulos está totalmente inchada, alguns grânulos ainda estão intactos e o alinhamento molecular de qualquer polímero solubilizado ainda não ocorreu dentro do campo de atrito do instrumento (TSAI; LI; LII, 1997; WHISTLER; BEMILLER, 1997).

Com o aquecimento à temperatura constante (95 °C), os grânulos começam a se quebrar e a solubilização dos polímeros continua. Neste ponto

ocorre uma quebra na viscosidade, seguida de diminuição, fase conhecida como quebra ou *breakdown* (WHISTLER; BEMILLER, 1997).

Durante a fase de resfriamento, polímeros de amilose e amilopectina solubilizados começam a se reassociar e outro aumento na viscosidade é registrado. Este segundo aumento da viscosidade é conhecido como tendência à retrogradação (*set back*). Geralmente, para aqueles amidos que são facilmente gelificados, quanto maior o teor de amilose, maior é a retrogradação (WHISTLER; BEMILLER, 1997).

A retrogradação é uma característica tecnológica importante das pastas de amido. O processo consiste, basicamente, em transformações que ocorrem durante o resfriamento e o armazenamento das pastas de amido que passaram pelo processo de gelatinização. Durante o armazenamento, as moléculas de amilose começam a se reassociar, fazendo com que ocorra a formação de cristais, favorecendo uma estrutura mais ordenada (ATWELL et al., 1988).

Essa transformação pode ser acompanhada da expulsão de água das moléculas de amilose, fenômeno conhecido por sinérese (JACOBS; DELCOUR, 1998). Com o resfriamento do gel, as cadeias do amido perdem energia e as ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxila das moléculas de amilose adjacentes ficam mais fortes, proporcionando firmeza do gel e aumento da opacidade do mesmo (FRANCO et al., 2001).

Com a formação de microcristais, em consequência da progressiva associação das moléculas em partículas maiores, ocorre a precipitação do amido da solução, parecendo voltar à condição de insolubilidade em água fria, característica típica do grânulo, daí o nome retrogradação (AMANTE, 1986; FRANCO et al., 2001).

A retrogradação desempenha importante influência na textura, digestibilidade e aceitabilidade do consumidor em produtos baseados em amido. Quanto à digestibilidade, principalmente da amilose, há menor disponibilidade

de nutrientes às enzimas digestivas. Esse evento torna a digestão e a absorção, especialmente do amido, menor e/ou mais lenta, resultando em menor resposta glicêmica, situação desejável em diversos indivíduos, como aqueles com sobrepeso ou problemas de glicemia (BJÖRCK et al., 1994).

A velocidade de retrogradação de pastas de amido depende de fatores inerentes ao grânulo ou aos seus componentes. Entre estes fatores destacam-se o tipo de amido, o peso molecular e a linearidade (CIACCO; CRUZ, 1982). Segundo Matsuguma (2006), moléculas de amilose muito grandes ou curvas têm dificuldade de se reassociar, o que diminui a velocidade de retrogradação mais rapidamente do que polímeros de cadeia linear. A reorganização das cadeias de amilopectina acontece de forma bem mais lenta que a associação da amilose, o que favorece o aumento da rigidez do gel, quando estocado por longo tempo (PEREIRA, 2004; SRICHUWONG et al., 2005b).

As características dos géis dependem da relação amilose/amilopectina. Amidos que têm elevadas concentrações de amilose apresentam maior resistência térmica e mecânica e são menos degradados, química ou enzimaticamente, quando comparados aos que são ricos em amilopectina (JAYAKODY et al., 2007; KROGARS, 2003).

As características viscoelásticas determinam a potencialidade de uso do amido. O amido de tubérculos apresenta géis mais fracos, pouco consistentes, porém, mais viscosos e transparentes, características altamente vantajosas para utilização na industrialização de alimentos e outros usos industriais, como engomagem de tecidos finos (CEREDA; NUNES; VILPOUX, 1995). A gelatinização é influenciada por alguns fatores, incluindo conteúdo de água no gel, conteúdo de amilose, grau de cristalinidade da fração de amilopectina e comprimento das cadeias de amilopectina (ZHOU et al., 2002).

Segundo Sandhu e Singh (2007), normalmente, os parâmetros que são determinados em análise das propriedades da pasta do amido, e que são

representados por meio da curva de empastamento (Figura 1), são: temperatura de pasta (temperatura inicial quando inicia a curva de gelatinização), pico de viscosidade ou viscosidade máxima (valor máximo alcançado pela curva viscoamilográfica), viscosidade mínima (resistência), quebra de viscosidade (etapa de desintegração do amido, sendo a diferença entre a viscosidade de pico e a viscosidade mínima), viscosidade final (capacidade do amido em formar uma pasta viscosa) e tendência à retrogradação (medida da sinérese depois do resfriamento da pasta de amido cozido, que corresponde à diferença entre a viscosidade mínima e a viscosidade final).

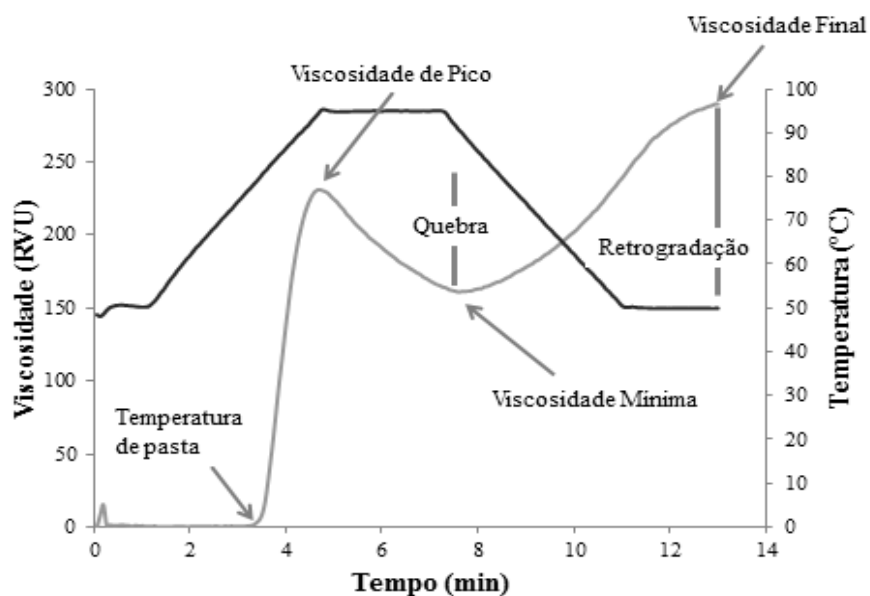


Figura 1 Perfil de viscosidade obtido em *Rapid Visco Analyser*, apresentando os parâmetros comumente medidos e viscosidade em RVU.

Fonte: Thomas e Atwell (1999)

Dentre os parâmetros do RVA analisados, a viscosidade final do amido é um parâmetro importante para fins alimentícios, uma vez que corresponde à viscosidade a ser obtida no produto final. A viscosidade de pasta, assim como a

final, é de interesse tecnológico porque, dependendo do tipo de alimento, tem-se a exigência de maior ou menor viscosidade de gelatinização (MOURA, 2008).

2.2.2.3 Propriedades morfológicas

A morfologia do amido é uma importante análise, obtida por meio da microscopia ótica, que permite observar o grau de organização dos grânulos por meio da presença da cruz-de-malta, visível sob luz polarizada. A microscopia eletrônica de varredura (MEV), em especial, permite a visualização do formato e do tamanho dos grânulos (ALVES, 2009).

2.2.2.4 Absorção de água

O amido tem propriedades funcionais, como capacidade de absorção de água, poder de intumescimento e solubilidade dos grânulos, a gelatinização, a viscosidade e a retrogradação. Estas propriedades podem ser influenciadas pela razão de amilose/amilopectina, a relação de água/amido, a taxa de aquecimento, a morfologia, o cisalhamento e a adição de outros componentes, como o açúcar, o sal e a proteína (KISLENKO; OLTYNYK; GOLACHOWSKI, 2006; THEBAUDIN; LEFEBRVE; DOUBLER, 1998).

A absorção de água está relacionada com a capacidade de intumescimento dos grânulos de amido, enquanto se mantém a morfologia dos mesmos, conforme constatado por González et al. (1986) e citado por Fernandes et al. (2003). O índice de absorção de água está relacionado com a viscosidade de pasta a frio porque somente os grânulos de amido danificados absorvem água à temperatura ambiente e incham, resultando num incremento da viscosidade (CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002).

A capacidade de absorção de água (CAA) é uma das principais propriedades funcionais do gel: a água é retida na estrutura do gel por forças de capilaridade ou simplesmente é aprisionada na malha gelificada. Na maior parte dos estudos efetuados, a CAA foi determinada empregando-se forças de centrifugação e a água liberada do gel é quantificada por diferença de massas. Vale salientar que, neste tipo de ensaio, a velocidade de centrifugação é relativamente elevada e a quantidade de água expelida vai depender não só da capacidade intrínseca do gel de reter a água, bem como da compressibilidade do próprio gel, sendo que maior a compressibilidade implicará em menor quantidade de água retida. Esta análise proporciona resultados importantes para resolver problemas práticos, como sinérese, textura sensorialmente arenosa e aumento de rendimento (HINRICHS; GOTZ; WEISSER, 2003; OTTE et al., 2000).

O poder de inchamento (PI) e o índice de solubilidade (IS) variam, de acordo com a fonte botânica, fornecendo evidências da magnitude de interação entre as cadeias de amido dentro dos domínios amorfos e cristalinos. A extensão dessas interações é influenciada pela proporção amilose:amilopectina e pela característica delas em termos de distribuição e massa molecular, grau de polimerização, comprimento das ramificações e conformação (FRANCO et al., 2001; HOOVER, 2001; SINGH et al., 2003).

Segundo Singh et al. (2003), quando moléculas de amido são aquecidas em excesso de água, elas irão inchar até que a pressão osmótica gerada pelos grânulos se iguale à firmeza da rede do gel gerada pelo intumescimento dos mesmos. Nesse momento, a estrutura cristalina é rompida e as moléculas de água formam pontes de hidrogênio com os grupos hidroxila expostos da amilose e a amilopectina, o que causa aumento no intumescimento e na solubilidade do grânulo e de sua água oclusa (PARKER; RING, 2001).

Esta propriedade de intumescimento do amido é, em parte, controlada pela estrutura da amilopectina (comprimento de cadeia, extensão de ramificação, massa molecular), a composição do amido e a arquitetura granular (proporção de regiões cristalinas e amorfas). A amilose age como diluente, mas pode ter essa ação inibida pela ligação com outros componentes presentes no amido ou acrescentada na suspensão, o que, conseqüentemente, dificultaria o intumescimento do amido. Em geral, elevadas temperaturas de transição têm sido associadas a altos graus de cristalinidade, os quais fornecem a estabilidade estrutural e tornam os grânulos mais resistentes à gelatinização (SINGH et al., 2003; ZOBEL, 1998).

2.2.2.5 Claridade da pasta

A claridade de pasta é um atributo importante para a aplicação do amido em alimentos. Dependendo do produto, pode ser preferível a característica de transparência ou opacidade. De maneira geral, amidos com alta tendência a retrogradação produzem pastas mais opacas (MATSUGUMA, 2006), pois a maior compactação das moléculas dificulta a passagem de luz. Segundo Craig et al. (2005), as pastas podem ser classificadas em duas categorias, dependendo da sua estrutura. A pasta transparente tem pouca associação das cadeias após a formação de pasta, sem estrutura granular, o que favorece a passagem de luz através dela. A pasta opaca apresenta uma estrutura granular mais organizada, com maior associação entre as cadeias, o que dificulta a passagem de luz. Entre essas classificações pode haver variações na claridade de acordo com a associação molecular.

2.2.2.6 Análises térmicas

Técnicas termoanalíticas têm tido espaço em pesquisas em alimentos, principalmente nas duas últimas décadas. Desenvolvimento de instrumentação sensível por técnicas térmicas, como análise termomecânica (TMA), análise térmica diferencial (DTA) e calorimetria exploratória diferencial (DSC), entre outros métodos, tem tido aplicação para o estudo do fenômeno do tratamento térmico em alimentos. Em particular para o estudo de amido, estas técnicas têm sido extensivamente utilizadas (CRUZ-OREA et al., 2002).

Análise térmica é o nome atribuído a um conjunto de técnicas que têm um princípio comum: quando uma determinada amostra é aquecida ou resfriada de acordo com uma programação controlada de temperatura, alguma propriedade física ou química pode ser observada e registrada (WENDLANDT, 1986).

A termogravimetria (TG) é a técnica na qual a variação de massa de uma substância é medida em função da temperatura (aquecimento ou resfriamento), enquanto esta substância é submetida a uma programação controlada de temperatura. O registro é a curva termogravimétrica, ou curva TG, por meio da qual é possível obter conclusões quanto à estequiometria, à estabilidade térmica da amostra, à composição e à estabilidade de compostos intermediários, bem como à composição do produto final (IONASHIRO, 2005; WENDLANDT, 1986).

O equipamento utilizado na termogravimetria é a termobalança, um instrumento que permite a pesagem contínua de uma amostra na medida em que ela é aquecida ou resfriada. Os componentes fundamentais das termobalanças modernas são: balança registradora, forno, suporte de amostra e sensor de temperatura, programador da temperatura do forno, sistema registrador e controle da atmosfera do forno. Os fornos são construídos para operar

temperaturas de 100 a 1.200 °C, sendo também disponíveis fornos que podem ser utilizados a até 1.600 °C ou, mesmo, 2.400 °C (BENINCA, 2008).

A termogravimetria derivada (DTG) é um recurso matemático que fornece a derivada primeira da curva TG em função do tempo ou da temperatura. O registro é a curva termogravimétrica derivada ou curva DTG. A área dos picos sob a curva DTG é proporcional à perda de massa durante um evento térmico (WENDLANDT, 1986).

A análise térmica diferencial (DTA) é uma técnica de medição contínua das temperaturas da amostra e de um material de referência termicamente inerte, à medida que ambos vão sendo aquecidos ou resfriados em um forno. Estas medições de temperatura são diferenciais, pois se registra a diferença entre a temperatura da referência e a da amostra, em função da temperatura ou do tempo, dado que o aquecimento ou resfriamento são sempre feitos em ritmo linear (IONASHIRO, 2005).

A calorimetria exploratória diferencial (DSC) é a técnica na qual a diferença de entalpia entre a amostra e um material de referência é medida em função da temperatura, enquanto ambas (amostra e referência) são aquecidas de acordo com uma programação controlada de temperatura. O registro é a curva DSC, em que a área dos picos tem caráter quantitativo de entalpia, visto que as medidas são obtidas em um calorímetro, sem perda de energia para o ambiente. Isto a diferencia da curva DTA (WENDLANDT, 1986).

Por meio da DTA e da DSC, pode-se acompanhar os efeitos de calor associados com alterações físicas ou químicas da amostra, tais como transições de fase (fusão, ebulição, sublimação, congelamento, inversões de estruturas cristalinas) ou reações de desidratação, de dissociação, de decomposição, de óxido-redução, etc., capazes de causar variações de calor. Em geral, transições de fase, desidratações, reduções e certas reações de decomposição produzem

efeitos endotérmicos, enquanto cristalizações, oxidações e algumas reações de decomposição produzem efeitos exotérmicos (IONASHIRO, 2005).

As técnicas termoanalíticas, normalmente, são utilizadas na análise de transições que ocorrem quando polímeros sintéticos são aquecidos. A gelatinização de amidos verificada por estas técnicas é muito importante, uma vez que define, proporcionalmente, a energia requerida para o cozimento (LACERDA, 2006).

A técnica mais utilizada em análise térmica de amidos é a DSC, que fornece informações valiosas sobre o fenômeno ordem-desordem dos grânulos de amido em soluções aquosas. Esta técnica detecta as mudanças do fluxo de calor associado com a fusão e a transição vítrea, e também fornece as temperaturas e as entalpias características da transição de fase (CRUZ-OREA et al., 2002). Ela mede a quebra de ligações (principalmente ligações de hidrogênio que estabilizam as duplas hélices) dentro dos grânulos de amido, quando eles são aquecidos em água e quantifica a temperatura e a energia envolvida (entalpia) na transição de um grânulo semicristalino para um gel amorfo. Esta técnica pode também ser empregada para medir maiores transições de temperaturas em amidos, quando complexos amilose-lipídeo se dissociam (TESTER, 1997). Contudo, os resultados reportados não são muito reprodutíveis e causam controvérsias devido à complexidade do comportamento térmico dos amidos e condições de medidas diferentes (PERONI, 2003).

Para cada medida, a entalpia de gelatinização ΔH_{gel} (expressa em joules por quilograma de amido seco) e as temperaturas de início - onset (T_o), de pico (T_p) e final (T_f) são determinadas. T_o é a temperatura em que a linha tangencial do lado de uma temperatura mais baixa do pico cruza com a linha de base; T_p é a uma temperatura na ponta do pico e T_f é a temperatura em que a linha tangencial do lado da temperatura alta do pico cruza com a linha de base. A ΔH_{gel} é a área

sob o pico limitado pela linha de base no gráfico (ALTAY; GUNASEKARAN, 2006).

A temperatura de pico T_p dá uma medida da qualidade cristalina (comprimento da dupla hélice). A entalpia de gelatinização ΔH_{gel} dá uma medida total da qualidade e da quantidade de cristalinidade e é um indicador da perda da ordem molecular dentro do grânulo. No caso do amido retrogradado, o valor da entalpia fornece uma medida da quantidade de energia de transformação que ocorre durante a fusão da amilopectina recristalizada, bem como médias precisas da temperatura de transição do evento endotérmico (SINGH et al., 2003). A fusão endotérmica dá informações da estabilidade, heterogeneidade, grau e perfeição da estrutura, que é fortemente ligada com a cristalinidade (ELFSTRAND et al., 2004).

A DSC tem sido de grande valor no estudo da perda da ordem cristalina durante a gelatinização, que ocorre quando o amido é aquecido na presença de água, e da reordenação do sistema durante envelhecimento. Esta técnica pode detectar transições térmicas de primeira ordem (fusão) e de segunda ordem (transição vítrea). Temperaturas de transição do amido e entalpia de gelatinização, medidas por DSC, podem relatar as características do grânulo do amido e o seu grau de cristalinidade. Entretanto, tem sido mostrado (por RMN e difração de raios X) que a transição deve-se, principalmente, à perda da ordem helicoidal da dupla hélice do que à cristalinidade (SINGH et al., 2003).

As propriedades de gelatinização e inchamento são controladas, em parte, pela estrutura da amilopectina. Como as regiões cristalinas do grânulo de amido são, geralmente, compostas de amilopectina e não de amilose, amidos com alto teor de amilose apresentam baixas temperaturas de gelatinização (inicial e de pico) e entalpia (NODA et al., 1998).

Por outro lado, a maior proporção de cadeias longas na amilopectina contribui para aumentar a temperatura de gelatinização, devido ao fato de essas

cadeias formarem duplas hélices longas, resultando em regiões cristalinas mais longas e, assim, mais energia térmica seria necessária para romper a barreira cinética, para que ocorra completa dissociação (FRANCO et al., 2002; YUAN; THOMPSON; BOYER, 1993). Já os grupos monoéster fosfato na amilopectina diminuem as temperaturas de gelatinização (MCPHERSON; JANE, 1999).

Defloor, Dehing e Delcour (1998) investigaram os efeitos das estações do ano no cultivo e no crescimento do amido de mandioca e em suas propriedades de gelatinização. Eles concluíram que fatores genéticos e condições ambientais afetam as temperaturas de gelatinização e entalpia. Observaram também que, para amostras de farinhas de raspa de mandioca obtidas de colheitas provenientes de estações secas, houve o aparecimento de picos múltiplos nas temperaturas de gelatinização.

O aparecimento de picos múltiplos é um fenômeno bem conhecido para amidos com um baixo teor de umidade. Donovan (1979) observou três endotermas durante a gelatinização a baixas concentrações de água. Duas dessas endotermas mostraram estar diretamente relacionadas à ruptura das regiões cristalinas do amido, enquanto a terceira ocorreu devido à fusão de complexos amilose-lipídio. Donovan (1979) sugeriu, ainda, que picos múltiplos ocorrem em sistemas com baixa quantidade de água, em que uma porção de cristais funde a temperaturas mais baixas, absorvendo mais água, ao passo que a temperatura de fusão de cristais não fundidos ocorre em valores mais altos à medida que a quantidade de água diminui.

2.2.2.7 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier

A técnica de espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) pode ser empregada para a identificação e a

determinação de grupos funcionais e em estudos de conformação e estrutura de macromoléculas (MENDES, 2009).

A radiação infravermelha (IR) corresponde à parte do espectro situada entre as regiões do visível e das micro-ondas. Embora o espectro de infravermelho seja característico da molécula, certos grupos de átomos dão origem às bandas que ocorrem na mesma frequência, independente da estrutura da molécula (MENDES, 2009).

Existem dois tipos de vibrações moleculares: as deformações axiais e as deformações angulares. Uma vibração de deformação axial é o movimento em que a distância interatômica aumenta e diminui alternadamente ao longo do eixo da ligação. As vibrações de deformação angular correspondem à variação de ângulos de ligação, em um conjunto de átomos (SILVERSTEIN; BASSLER; MORRILL, 1994).

2.2.3 Relação entre as propriedades do amido e suas aplicações

O amido, apesar de estar sendo estudado e discutido na literatura nos últimos dois séculos, é utilizado pelo homem há milênios; os egípcios e os romanos o utilizavam como agente viscoso, enquanto que os gregos o empregavam em preparações médicas. Já na Europa, por volta do século XIV, o amido já era utilizado como engomador de tecidos e no preparo de cosméticos (KAUR et al., 2006).

Na indústria de alimentos, os amidos e derivados podem ser utilizados com ingredientes, componentes básicos ou aditivos, visando à melhoria dos produtos, tanto na sua fabricação como na apresentação ou na conservação. De acordo com a Starch Europe (2016), os principais setores alimentícios que utilizam amidos são os produtos de panificação; os alimentos processados, como compotas, geleias e conservas de frutas, congelados, sopas instantâneas e

molhos, produtos de carne e peixe (29%); os confeitos, os chocolates e as bebidas (32%), além das sobremesas e dos produtos lácteos.

Além da indústria de alimentos, também são citados outros setores em que os produtos de amido são empregados, como papel (29%), produtos químicos e farmacêuticos (4%), aplicações industriais, rações animais (1%) e outros produtos (5%) (STARCH EUROPE, 2016).

Dentre os fatores de importância na determinação de usos potenciais de amidos estão o tamanho e a forma dos grânulos. Grânulos considerados pequenos, em torno de dois μm , podem ser utilizados como substitutos de gordura devido ao fato de o tamanho ser semelhante ao das gotículas de lipídios. Na produção de filmes plásticos biodegradáveis e na produção de papéis para fax, o tamanho do grânulo de amido é importante (MWETA, 2009).

A relação amilose/amilopectina influencia diretamente as propriedades físico-químicas e funcionais dos grânulos de amido, o que irá definir sua aplicação na indústria (ELIASSON, 1996; WANG; WHITE, 1994a, 1994b).

Segundo Cereda et al. (2002), a amilose é mais resistente do que a amilopectina, o que é desejado quando se necessita de um produto crocante e resistente, como na fabricação de salgados. Amidos com teor de amilose acima de 50% gelificam e formam filmes com facilidade, sendo utilizados, principalmente, em produtos como *nuggets*, aos quais confere crocância e previne a penetração excessiva de óleo durante a fritura. Este tipo de amido também é muito utilizado na indústria de balas de gomas, contribuindo com 25% a 50% do total de amido utilizado nessas formulações (COLLONA; LELOUP; BULÉON, 1992).

Já amidos com teores de amilose entre 20% e 30% se caracterizam pela formação de um gel consistente, sendo bastante utilizados para a fabricação de sopas desidratadas e molhos que requerem viscosidade a quente (PASCOAL, 2014).

Ainda segundo Cereda et al. (2002), a amilopectina permite melhor manutenção da forma da pasta, a qual resiste mais a tratamentos suplementares, tais como o corte e a secagem. A amilopectina, por ser ramificada, forma uma rede na matriz da pasta e, em consequência, ela colabora para a expansão da massa e aumenta a sua friabilidade.

Amidos que apresentam baixos picos de viscosidade podem ser utilizados em produtos alimentícios, quando for desejada baixa viscosidade, tais como sopas, molhos, alimentos infantis, rações e outros (ELIASSON, 2004).

Produtos que necessitam de armazenamento sob refrigeração precisam de amidos que apresentem baixa tendência à retrogradação, devido à sinérese (exsudação de água), casos em que se indicam amidos com alto teor de amilopectina, pois apresentam maior estabilidade a baixas temperaturas (BAHNASSEY; BREENE, 1994; PARKER; RING, 2001). A retrogradação irá influenciar na textura, na aceitabilidade e na digestibilidade dos alimentos que contêm amido (ELIASSON, 1996, 2004; THARANATHAN, 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Matéria-prima

Os rizomas de araruta dos tipos redonda e seta (Figura 2) foram fornecidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) - Hortaliças e enviados ao Laboratório de Grãos, Raízes e Tubérculos, no Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, Minas Gerais.

O plantio dos dois tipos de araruta foi simultâneo, realizado em meados de outubro de 2013 e com colheita no início de junho de 2014, sem dados de colheita e produtividade, pois foi realizado para manutenção de germoplasma.

O trabalho foi conduzido na Embrapa Hortaliças, Brasília, DF (15°56'S, 48°08'W, altitude de 997 m), em campo aberto. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, típico fase cerrado e textura argilosa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006).

Foi feita adubação orgânica com dois L/m linear de composto orgânico, com capinas periódicas, quando necessário. O plantio foi feito sem irrigação, visando aproveitar o período de chuvas (outubro a abril), porém, atipicamente, no ano agrícola de 2013, houve um período de seca intensa. Não foi utilizado nenhum agrotóxico, devido à sua rusticidade.

Os rizomas foram armazenados e só enviados para o local da realização do experimento três meses após a colheita, no fim de setembro de 2014, em estado de maturação avançada. Eles foram selecionados pela ausência de injúrias e deformidades e, logo após, foram pesados com casca e lavados com água corrente. Depois da lavagem, foram imersos em solução de hipoclorito de sódio (150 ppm), por um período de 15 minutos, para sanitização. Em seguida, foram

descascados manualmente com faca de aço inox, novamente lavados e pesados. Os rizomas foram cortados em rodelas de 0,5 cm de espessura, imersos em solução de metabissulfito de sódio (2 ppm), por 15 minutos, para evitar escurecimento.



Figura 2 Ararutas antes da seleção e extração. A: Araruta seta (MG). B: Araruta redonda (BA)

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), considerando os amidos de araruta do tipo redonda e do tipo seta, com três repetições para cada tratamento.

3.3 Caracterização do amido

3.3.1 Extração do amido

A extração do amido ocorreu em outubro de 2014, sendo os rizomas de araruta triturados em liquidificador industrial (Lucre, modelo C4, Brasil) na proporção de 1:1, com água destilada e, em seguida, filtrados em tecido de organza. A suspensão foi colocada em repouso (± 16 horas), em ambiente refrigerado (± 5 °C). O sobrenadante foi descartado e o amido precipitado ressuspenso com água destilada, para novamente ser decantado. Este procedimento de suspensão e decantação do amido foi repetido até que o produto apresentasse cor e textura características de amido. O material foi, então, seco em estufa de circulação de ar forçado, a 45 °C, até massa constante e resfriado à temperatura ambiente. Em seguida, foi reduzido a pó, utilizando-se gral e pistilo, peneirado em peneira de 0,350 mm e, enfim, acondicionado em frascos até a sua posterior utilização (DAIÚTO; CEREDA, 2003).

3.3.2 Composição centesimal

A umidade foi determinada pelo método gravimétrico com emprego de calor, baseando-se na perda de peso do material submetido ao aquecimento em estufa, a 105 °C, até peso constante, segundo metodologia da Association of Official Analytical Chemists - AOAC (2010) e os valores expressos em porcentagem.

O teor de proteínas foi obtido pela determinação da porcentagem de nitrogênio total da amostra, segundo o método de Kjeldahl (AOAC, 2010) e multiplicado pelo fator 6,25.

O teor de lipídios dos amidos foi determinado pelo método AOAC (2010), utilizando-se éter etílico como extrator.

A fibra bruta foi determinada pelo método gravimétrico, de Kamer e Ginkel (1952).

O resíduo mineral fixo (cinzas) foi determinado por incineração do material em mufla regulada a 550 °C, até peso constante, segundo método da AOAC (2010).

Já a fração glicídica foi obtida pelo cálculo de diferença, utilizando-se a metodologia proposta pela AOAC (2010), segundo a Equação (1).

$$\%FG = 100 - (U + EE + P + F + C) \quad \text{Equação (1)}$$

em que

FG = fração glicídica (%);

U = umidade (%);

EE = extrato etéreo (%);

P = proteína (%)

F = fibra bruta (%);

C = cinzas (%),

a partir da matéria integral. O resultado foi expresso em g 100 g⁻¹ de fração glicídica na matéria integral.

3.3.3 pH

O pH foi determinado em potenciômetro, modelo portátil DM pH-2, Hanna Instruments, com inserção do eletrodo diretamente na solução contendo

10 g de amido diluído em 100 mL de água destilada, segundo as norma do Instituto Adolfo Lutz (2008).

3.3.4 Acidez total titulável

O filtrado foi titulado com NaOH 0,1N, padronizado segundo técnica estabelecida pelas normas do Instituto Adolfo Lutz (2008) e os resultados expressos em mL de NaOH gastos na titulação.

3.3.5 Teor de amido

O teor de amido foi identificado segundo as normas do Instituto Adolfo Lutz (2008), por meio da lavagem para a retirada dos açúcares, autoclavagem, neutralização, desproteínização e determinação por leitura em espectrofotômetro, a 510 nm.

3.3.6 Determinação de fósforo

O elemento fósforo foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica com chama de acetileno, segundo metodologia estabelecida por Malavolta, Vitti e Oliveira (1989) e Sarruge e Haag (1974), no Laboratório de Análise Foliar, no Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras.

3.3.7 Propriedades de pasta

As análises foram realizadas na Embrapa Agroindústria de Alimentos, utilizando-se o analisador rápido de viscosidade (Rapid Visco Analyser – RVA; Newport Scientific) para determinar o perfil de viscosidade dos amidos,

seguindo a metodologia de Diniz (2006). Inicialmente, a viscosidade de pasta foi determinada à temperatura de 50 °C, durante 4 minutos. Posteriormente, o gel foi aquecido até a temperatura de 95 °C, por 3 minutos. Procedeu-se ao resfriamento a até 50 °C e, então, os géis foram mantidos nesta temperatura por mais 4 minutos. Nessa análise foram obtidos os valores de temperatura de pasta, viscosidades máxima, mínima e final, quebra de viscosidade (diferença entre a viscosidade máxima e mínima) e tendência à retrogradação (diferença entre a viscosidade final e mínima).

3.3.8 Capacidade de absorção em água (CAA) e em óleo (CAO)

A capacidade de absorção de água (CAA) e óleo (CAO) foi determinada de acordo com o método descrito por Beuchat (1977). A 1 g de amostra foram adicionados 10 mL de água destilada ou de óleo (óleo de soja Soya, Bunge – Indústria Brasileira), em tubos de centrífuga previamente secos em estufa e pesados. A suspensão foi homogeneizada durante 30 segundos e, em seguida, deixada em repouso por 30 minutos. Posteriormente, os tubos foram fechados e centrifugados, por 15 minutos, a 3.400 rpm. O sobrenadante foi descartado e os tubos foram invertidos para escoar a água, por 10 minutos. As paredes externas dos tubos foram secas e os tubos pesados. Para determinar a absorção de água ou óleo, a massa da água ou do óleo absorvidos foi expressa em g 100 g⁻¹ de amido em base seca, conforme cálculo realizado com base na Equação (2).

$$\text{CAA ou CAO (g 100g}^{-1}\text{)} = (\text{Pp} - \text{Pt}) \times 100 \quad \text{Equação (2)}$$

em que

Pp = peso do tubo com precipitado

Pt = peso do tubo com amostra em base seca.

3.3.9 Poder de inchamento e índice de solubilização do amido

O poder de inchamento (PI) e o índice de solubilização do amido (IS) foram determinados pelo método proposto por Leach, McCowen e Schoch (1959), sendo nas temperaturas de 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C e 90 °C, além da verificação à temperatura ambiente.

3.3.10 Análise de imagem

A análise foi realizada no Laboratório de Ultraestrutura e Microscopia Eletrônica, no Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras. Para a análise por microscopia eletrônica de varredura foi utilizado microscópio eletrônico de varredura, MEV LEO 40. A amostra em pó foi colocada sobre uma superfície de alumínio com a ajuda de uma fita metálica adesiva de carbono dupla face e coberta com ouro, por meio do evaporador de ouro SCD 050 da BAL-TEC. O tamanho dos grânulos foi determinado pela escala de medida da fotografia eletrônica.

3.3.11 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier

A análise foi realizada no Centro de Análise e Prospecção Química, no Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras. Os espectros FTIR-ATR foram coletados por meio de um espectrômetro IRAffinity-1, equipado com acessório de reflectância total atenuada (ATR) com cristal de ZnSe. Os espectros foram adquiridos com 64 scans e resolução de 4 cm⁻¹, na faixa espectral de 4.400 a 600 cm⁻¹.

3.3.12 Difração de raios X

Para determinar e estudar a forma de organização dos amidos foi utilizado um difratômetro de raios X Rigaku D-Max (Japão). A análise cristalográfica foi feita com a amostra sendo fixada em suporte de alumínio e analisada à temperatura ambiente. A análise foi realizada no Laboratório de Mineralogia, no Departamento de Solos do Centro de Ciências Agrárias na Universidade Federal de Viçosa.

3.3.13 Análises térmicas

As análises térmicas foram realizadas no Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras. O equipamento TG/DTA 60 (Shimadzu) foi calibrado seguindo as normas do fabricante. As amostras foram mantidas em dessecador até serem pesadas e acondicionadas em microcadinhos pré-tarados na balança. Os equipamentos foram dotados de cadinho de referência (vazio e idêntico ao da amostra) e o programa TA 60 (Shimadzu) foi utilizado para a obtenção dos valores observados nas curvas.

A termogravimetria (TG) foi realizada nas seguintes condições: massa da amostra de, aproximadamente, 9,0 mg; atmosfera de ar sintético a uma vazão de 100 mL min⁻¹ e razão de aquecimento de 20 °C min⁻¹, de 30 °C a 600 °C.

A análise de calorimetria diferencial exploratória foi realizada em um calorímetro diferencial de varredura DSC Q200 (TA Instruments, New Castle, EUA), de acordo com a metodologia (FAKIROV et al., 1997), sendo a amostra preparada em suspensão com água destilada, na proporção de 3:1, mantidas em repouso, por 30 minutos, a 5 °C. O instrumento foi calibrado utilizando indium como padrão. Para a determinação da temperatura de gelatinização da fécula, foram colocados, aproximadamente, 5,0 mg de amostra de umidade conhecida

em um cadinho de alumínio hermeticamente selado. O perfil de varredura utilizado foi aquecimento até 120 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C/min, sob fluxo de 50 mL de nitrogênio/minuto. A entalpia de gelatinização foi calculada com a ajuda do software Universal Analysis versão 4.3A.

3.3.14 Claridade de pasta

A claridade de pasta foi determinada como descrito por Craig et al. (1989), utilizando suspensões de amido (1% p/v) em água deionizada. A suspensão foi gelatinizada e mantida, durante 30 minutos, em banho com água fervente, com agitação de 30 segundos a cada 5 minutos. A solução foi agitada e resfriada à temperatura ambiente e a transmitância (% T) determinada a 650 nm utilizando espectrofotômetro (Varian Indústria e Comércio Ltda., Inc., modelo Cary 50, Brasil), com sistema computadorizado.

3.3.15 Análise estatística

Os resultados da composição centesimal, dos poderes de inchamento e solubilidade, da capacidade de absorção de água e óleo e da claridade da pasta foram analisados com observação de médias e desvio padrão de três repetições. Foi utilizada a análise de variância, aplicando-se o teste de F, a 5% de significância. As análises foram realizadas utilizando-se o programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2010).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Composição química

Os resultados obtidos para a composição média dos amidos nativos de araruta tipos redonda e seta, referentes aos percentuais de umidade, lipídios, proteínas, fibras, cinzas, extratos não nitrogenados, amido, pH, acidez titulável e fósforo, estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 Composição média dos amidos de araruta tipos redonda e seta

Constituinte g 100g ⁻¹ *	Araruta	
	Redonda	Seta
Umidade	10,56 ^a ±0,03	10,12 ^b ±0,02
Lipídios	0,35 ^a ±0,03	0,48 ^b ±0,08
Proteína	0,85 ^a ±0,01	0,85 ^a ±0,01
Cinzas	0,03 ^a ±0,00	0,12 ^b ±0,01
Fibra bruta	1,63 ^a ±0,18	1,06 ^b ±0,07
Extrato não nitrogenado	87,40 ^a ±0,68	95,58 ^b ±2,51
Teor de amido	83,09 ^a ±4,97	83,67 ^a ±5,85
pH	5,80 ^a ±0,23	6,01 ^b ±0,16
Acidez	0,71 ^a ±0,07	0,67 ^b ±0,00
Fósforo (mg g ⁻¹)	0,04±0,00	0,05±0,00

*Valores médios (base seca) obtidos em triplicata, seguidos de desvio padrão

**Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si, a 5% de significância

Os valores observados para umidade foram de 10,56 g 100 g⁻¹ e 10,12 g 100 g⁻¹, para os amidos de araruta redonda e seta, respectivamente (Tabela 1), semelhante aos valores encontrados por Ferrari, Leonel e Sarmiento (2005), de 10,49 g 100 g⁻¹, para ararutas cultivadas por 12 meses; por Clemente Granados

et al. (2014), que encontraram $10,4 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$; por Hernandez-Medina et al. (2007), $10,5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e por Soares et al. (2014), de $10,2 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$.

Segundo a legislação (BRASIL, 2005), farinhas, amido de cereais e farelos devem ter umidade máxima de $15,0\% \text{ (g } 100 \text{ g}^{-1})$; para amido ou fécula de batata, de $21,0\% \text{ (g } 100 \text{ g}^{-1})$ e para amido ou fécula de mandioca a umidade máxima é de $18,0\% \text{ (g } 100 \text{ g}^{-1})$. Os amidos analisados apresentaram valores abaixo de todas as percentagens máximas exigidas pela legislação, estando dentro do recomendado e permitindo um armazenamento seguro. Em valores acima deste teor de água, o desenvolvimento de bactérias e, principalmente, fungos e leveduras é propício.

Entre os amidos analisados houve diferença significativa nos teores de umidade, o que pode ser resultado da diferença inerente às próprias amostras.

Durante o processo de extração do amido pode ocorrer o carreamento de substâncias consideradas contaminantes no produto, como proteínas, lipídios e sais minerais. Apesar de esses contaminantes serem encontrados em pequenas quantidades, eles podem interferir nas propriedades físico-químicas e tecnológicas dos mesmos (LEONEL; CEREDA, 2002). Assim, o grau de pureza do amido pode ser avaliado pela quantidade desses componentes, pois, segundo Peroni (2003), quanto menor for o teor dessas substâncias, melhores são a qualidade e a pureza do amido. Quando a soma destes constituintes for menor que 1% do total, indica que o amido apresenta alto grau de pureza e que o processo de extração foi eficiente (ROCHA; DEMIATE; FRANCO, 2008). Neste trabalho observou-se (Tabela 1) que o somatório dos resultados apresentados foi superior a 1% , nos dois amidos analisados, podendo ter sido afetado pelo estágio de maturação dos rizomas ou, ainda, pelo processo de extração, uma vez o amido foi purificado apenas por decantação e não por centrifugação, o que, talvez, garantisse maior pureza.

Desses constituintes considerados contaminantes, os lipídios são aqueles que mais influenciam as propriedades tecnológicas do amido. A maioria dos lipídios está presente no grânulo do amido como complexo de inclusão com a amilose, podendo influenciar negativamente o inchamento do grânulo e alterar a temperatura de gelatinização, além de alterar a textura e a viscosidade do amido e de limitar a amilose à retrogradação (SINGH et al., 2003; THOMAS; ATWEEL, 1999).

Observando-se a Tabela 1, nota-se que os valores obtidos para teor de lipídios foram de $0,35 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e $0,48 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, para os amidos de araruta redonda e seta, respectivamente, havendo diferença significativa entre eles. De acordo com Moorthy (2001), o teor de lipídios pode ser considerado baixo quando apresentar valores menores que 1%, o que ocorreu neste trabalho. Em comparação com dados encontrados na literatura, os valores deste trabalho estão acima dos observados na maioria dos trabalhos, os quais estão próximas de 0,1%. Já Clemente Granados et al. (2014) e Hernandez-Medina et al. (2014) encontraram valores próximos dos da araruta redonda, de 0,36%. Para o amido de jacatupé, Leonel et al. (2003) encontraram teor de lipídios de 0,41%, que se situa entre os encontrados neste trabalho.

Pomeranz (1992) e Skrabanja e Kreft (1998) constataram importante influência dos lipídios sobre a gelatinização e a retrogradação do amido. O mecanismo de interação entre a amilose e os lipídios atribui-se à formação de associações por inclusão do lipídio no interior da cadeia de amilose, que adota uma conformação em dupla hélice com estrutura parcialmente cristalina. Este complexo compete com a cristalização da amilose, deixando menor quantidade deste polissacarídeo livre para a formação de ligações de hidrogênio com outras cadeias de amilose.

De acordo com Hoover (2001), proteínas e cinzas estão presentes em quantidades reduzidas em amidos de raízes e tubérculos, e quantidades elevadas

poderiam interferir no processo de extração, reduzindo seu rendimento final. Para Peroni (2003), a pureza do amido é um importante parâmetro de qualidade, facilitando as aplicações industriais. Os teores de proteína observados nos amidos de araruta redonda e seta foram de $0,85 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, para os dois (Tabela 1), não diferindo entre si. Esses valores situaram-se acima dos encontrados na literatura para ararutas, em que os maiores foram de 0,65%, nos trabalhos de Clemente Granados et al. (2014) e Hernandez-Medina (2014).

O teor de proteínas encontrado no amido do taro macaquinho, de Almeida (2012), foi de 2,36% e é um percentual considerado elevado para amidos em geral, tendo em vista que este componente é considerado como impureza. Lawal (2004) citou valores médios de proteínas de 0,62% em amido de milho híbrido; Leonel, Sarmento e Ferrari (2005) citaram 0,70% em gengibre e Carmona-Garcia et al. (2009) relataram 1,0% em banana.

De acordo com Leonel e Cereda (2002), quanto menor o teor de cinzas, melhor a qualidade do amido, tendo em vista que é contabilizada a quantidade de minerais na amostra. As quantidades de cinzas encontradas foram de $0,03 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e $0,12 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, para os amidos de araruta redonda e seta, respectivamente (Tabela 1), diferindo entre si.

Na literatura foram encontrados 0,12% de cinzas em mandioquinha-salsa (ROCHA; DEMIATE; FRANCO, 2008), 0,21% em amido de araruta (FERRARI; LEONEL; SARMENTO, 2005) e 0,35% amido de taro (ALMEIDA, 2012). Os valores de cinzas obtidos neste trabalho são consideravelmente baixos. Entre os trabalhos em que a araruta foi estudada, o menor valor encontrado foi de 0,14% (SOARES et al., 2014) e o maior, de 0,37% (COSTA, 2015).

De acordo com os dados da Tabela 1, os teores de fibra bruta foram de $1,63 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e $1,06 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, para os amidos de araruta redonda e seta, respectivamente, diferindo entre si, e podendo ser considerados elevados,

considerando-se que, apesar de não existirem limites na legislação brasileira quanto ao teor de fibras, a legislação da Malásia determina o máximo de 0,8% (LEONEL; SARMENTO; CEREDA, 2002).

Segundo Vilpoux e Cereda (1995), teores de fibras acima de 0,59% são considerados elevados, significando que o amido não foi bem purificado. Isto restringiria, por exemplo, o uso deste amido na indústria papelreira (LEONEL; SARMENTO; CEREDA, 2002). Esses últimos autores encontraram valores de fibra em amido de araruta de 0,99%, enquanto Ferrari, Leonel e Sarmiento (2005) encontraram 1,30% e 1,05%, para cultivares de 12 e 14 meses, respectivamente. Para amidos de jacatupé, Leonel et al. (2003) encontraram 1,69%, próximo ao valor de amido da araruta Redonda.

Os teores de amido observados na Tabela 1 (83,09 g 100 g⁻¹ para araruta redonda e 83,67 g 100 g⁻¹ para araruta seta) diferiram entre si, mas foram próximos aos resultados encontrados por Leonel, Sarmiento e Cereda (2002), de 84,30% para amidos de araruta, e por Ferrari, Leonel e Sarmiento (2005), de 84,95% para ararutas cultivadas por 12 meses e 85,69% para ararutas cultivadas por 14 meses. Tendo em vista que os amidos foram extraídos e analisados após 12 meses do plantio, o teor de amido está relativamente próximo ao valor encontrado nas ararutas cultivadas por 12 meses.

Já para Costa (2015), o teor de amido total encontrado em amido de araruta foi de, aproximadamente, 99,0%, valor elevado comparado com os valores encontrados neste trabalho. Já os encontrados por Schirmer et al. (2013), para amido de batata e amido de milho normal, foram de 93,4% e 96,3%, respectivamente, e, por Almeida (2012), em amido de taro foi de 74,65%. Para os amidos de jacatupé, Leonel et al. (2003) relataram 83,71%, valor também semelhante aos encontrados no trabalho.

Observa-se que os valores do pH encontrados para a araruta redonda e seta foram inferiores a 7,0, como mostrado na Tabela 1 (5,8 para araruta redonda

e 6,01 para a araruta seta, diferindo entre si), sendo que a maioria dos amidos nativos apresenta pH próximo da neutralidade (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

Para Feltran, Lemos e Vieites (2004) e Fernandes et al. (2010), os parâmetros de pH e acidez titulável podem interferir de forma indireta em sua qualidade tecnológica. Segundo Feltran, Lemos e Vieites (2004) e Nardin (2009), o valor de pH para tubérculos em bom estado de maturação se encontra em/ou acima de 6,0, sendo que pH entre 4,7 e 5,5 é ótimo para a ação de enzimas que degradam o amido.

Já a acidez titulável apresentada pelos amidos foi de 0,71 e 0,67, para a araruta redonda e para a araruta seta, respectivamente, havendo diferença significativa. Na literatura, para amidos de araruta encontram-se valores de acidez titulável que variam de 0,027% a 1,24%, segundo Soares et al. (2014) e Costa (2015), respectivamente. O valor de acidez relatado por Leonel et al. (2003), para amido de jacatupé, foi o que mais se aproximou com a acidez das amostras deste estudo, que foi de 0,67.

Feltran, Lemos e Vieites (2004) e Nardin (2009) estudaram diferentes cultivares de batatas, encontrando valores de pH variando entre 5,50 e 5,94 e valores de acidez titulável máxima de 0,178%, para a cultivar IAC Aracy Ruiva, sendo esses valores inferiores aos aqui descritos. Isso caracteriza que, dentro de uma mesma espécie, há variações que, de acordo com Smith (1977) diferenças podem ocorrer em função da época do plantio, do tipo de solo, da estação, da localização, da nutrição mineral e do tempo de colheita.

Para a indústria de alimentos, um amido que tenha maior resistência à acidez pode servir como estabilizador de emulsão em molhos de salada, devendo ser capaz de resistir à elevada acidez e também resistir a ações mecânicas durante a sua homogeneização (AMIDOS..., 2009). Para molhos de pratos prontos e de maionese, ele deve apresentar pH de acidez média, em torno de 4,5

(VILPOUX, 2005), portanto, nenhum dos amidos de araruta estudados seria indicado.

Os valores de fósforo encontrados para os amidos de araruta redonda e seta (0,04% e 0,05%, respectivamente) foram maiores dos que os encontrados na literatura: 0,024% (PEPE, 2011) e 0,018% (PERONI, 2003). Essas variações podem estar relacionadas às diferentes variedades das plantas, como também com a composição do solo e as condições de cultivo (PEPE, 2011).

Amidos de raízes e tubérculos, geralmente, apresentam valores elevados deste mineral, como é o caso do amido de batata, que tem 0,089% (LIM; KASEMSUWAN; JANE, 1994) e o amido de biri, 0,031% (PERONI; ROCHA; FRANCO, 2006).

O fósforo pode ser encontrado nos amidos em três formas principais: monoéster fosfato, lisofosfolipídios e fosfatos inorgânicos. Em tubérculos e raízes tuberosas, o fósforo está na forma de monoéster fosfato ligado covalentemente ao amido, promovendo sua natureza hidrofílica por introduzirem nas cadeias de amido os grupos fosfatos, carregados negativamente, aumentando a sua capacidade de ligação com a água, poder de inchamento e claridade de pasta (FRANCO et al., 2001).

De acordo com Hoover (2001) e Moorthy (2001), um elevado teor de fósforo em amidos de raízes e tubérculos pode contribuir para alta viscosidade, claridade de pasta (transparência), aumento da capacidade de ligação com a água e poder de inchamento, e consistência e estabilidade da pasta, sendo uma vantagem para muitas aplicações industriais. Noda et al. (2005) observaram que, à medida que o tamanho do grânulo diminui, ocorre incremento de grupamentos fosfato ligado ao amido. Os autores observaram um aumento do conteúdo de fósforo entre 0,0715%, para grânulos grandes, até 0,1128%, para grânulos extremamente pequenos. No caso dos amidos estudados, o fósforo não exerceu influência sobre as características que poderiam se tornar vantagens, do ponto de

vista industrial, podendo ser explicado pela grande quantidade de grânulos grandes.

De acordo com Pereira e Costa (1997), a composição físico-química de batatas pode variar em função de fatores como condições climáticas, práticas culturais, condições do solo, estágio de maturação, efeito do armazenamento, excesso ou falta de adubação e da cultivar. E, como já mencionado, os rizomas das ararutas analisados foram submetidos a estresse hídrico, além de terem sido há muito tempo colhidos, podendo estas condições ter influenciado as características dos amidos.

Bervaldo et al. (2010) verificaram que existe variação genética entre os genótipos de batata, mesmo antes do armazenamento, mostrando que existe variação de componentes dentro da própria espécie, antes e durante o armazenamento. No trabalho de Contado (2009), foi encontrada grande variação entre a composição centesimal dos tubérculos de yacon, que foram analisados em função do tempo de armazenamento e do tamanho do tubérculo, mostrando que, além de mudanças relacionadas com o tempo de armazenamento, também ocorrem mudanças devido às características da amostra.

Ferrari, Leonel e Sarmiento (2005) caracterizaram rizomas de araruta com 10, 12 e 14 meses do plantio. Os rizomas de araruta com 10 meses de plantio apresentaram maior teor de umidade (79,7%) e menor teor de outros componentes, mostrando estar em processo de crescimento e tuberização nesse estágio. Ocorreu decréscimo significativo do teor de umidade nos rizomas aos 12 meses (71,9%), mantendo-se até os 14 meses. Os rizomas com 14 meses apresentaram aumento significativo do teor de fibras, o que confirma as observações feitas durante o acompanhamento do desenvolvimento das plantas, quando se observou que os rizomas estavam murchos e em início de decomposição. O teor de amido teve aumento acentuado aos 12 meses, não apresentando diferença significativa, quando comparado com 14 meses. Foram

observados decréscimo dos açúcares solúveis totais e aumento dos açúcares redutores nos rizomas, com o desenvolvimento da planta. Já a caracterização dos amidos mostrou diferenças significativas quanto à composição química entre os amidos extraídos de rizomas aos 12 e aos 14 meses, com diminuição no teor de umidade, cinzas e fibras, e aumento nos teores de açúcar total, lipídios e amido.

Portanto, a variação dos componentes gerais dos amidos de araruta de diferentes tipos obtidos nesta pesquisa, em relação aos valores reportados por outros estudos, é explicável pelo fato de que sua composição pode variar em função, dentre outros, do tipo, do estágio de desenvolvimento da planta, do tipo de solo, das condições de cultivo e das condições climáticas. Em estudos anteriores (SRIROTH et al., 1999) foi demonstrado que estes fatores influenciaram as propriedades funcionais do amido e que os mesmos podem também influenciar a distribuição e o tamanho dos grânulos, a estrutura cristalina e as propriedades de pasta.

4.2 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta e os perfis viscoamilográficos dos amidos, determinados por meio da utilização do rápido visco analisador (RVA), são apresentados na Tabela 2 e na Figura 3. Na Tabela 3 há uma comparação de propriedades de pasta, observadas por diferentes autores para amidos de araruta.

Tabela 2 Propriedades de pasta* de amidos de araruta redonda e araruta seta

Parâmetros	Amido	
	Araruta redonda	Araruta seta
Temperatura inicial de pasta (TIP) (°C)	69,85	68,95
Viscosidade máxima (RVU)	563,15	481,55
Temperatura da viscosidade máxima (°C)	78,05	84,60
Viscosidade mínima (RVU)	184,35	221,98
Temperatura da viscosidade mínima (°C)	89,90	91,50
Viscosidade final (RVU)	357,63	432,46
Breakdown (RVU)	378,79	259,57
Set back (RVU)	173,28	210,47

*Cada valor representa a média de duas determinações

Tabela 3 Propriedades de pasta de amidos de araruta observadas por diferentes autores*

Parâmetros	Autores							
	1	2	3	4	5	6	7	8
T inicial de pasta (°C)	68,2	71,7	71,2	74,5	61,45	67,1	73,6	73,4
Viscosidade máxima (RVU)	233	339	197	110	399,97	364,1	214	166
Viscosidade final (RVU)	113,6	197	102	-	224,58	206,2	134	94
Breakdown (RVU)	158,1	204	132	10	263,11	237,8	133	108
Set back (RVU)	38,8	62	37	70	87,72	79,8	52	36

*Fonte: 1- Daiuto (2005); 2- Peroni (2003); 3- Pepe (2011); 4- Hernández-Medina et al. (2008); 5- Amaral et al. (2011); 6- Leonel, Cereda e Sarmento (2002); 7- Ferrari, Leonel e Sarmento (2005) (12 meses); 8- Ferrari, Leonel e Sarmento (2005) (14 meses)

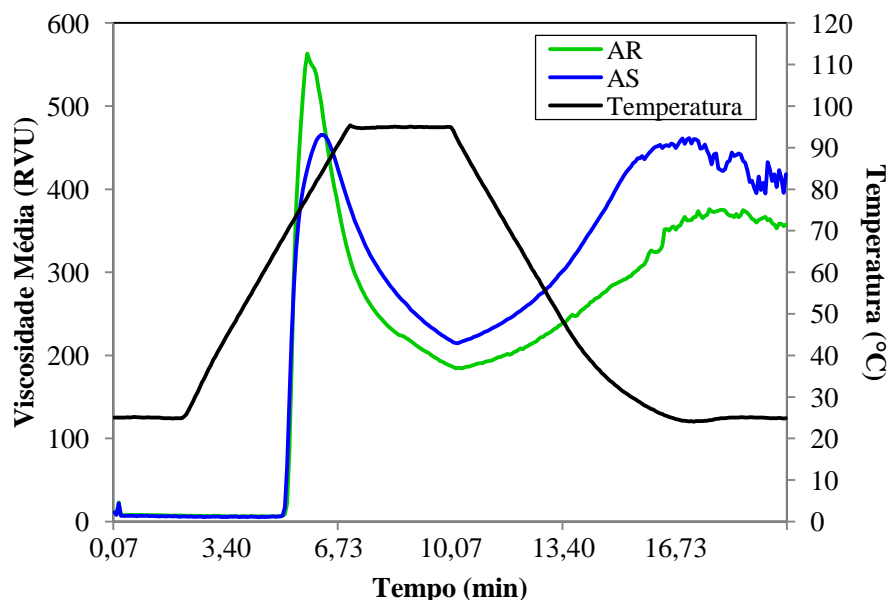


Figura 3 Perfil viscoamilográfico dos amidos de araruta redonda (AR) e de araruta seta (AS)

Com o aumento da temperatura, ocorre a gelatinização do amido, provocando o aumento da viscosidade devido ao inchamento dos grânulos (THOMAS; ATWELL, 1999). A temperatura em que os grânulos começam a inchar é a temperatura de pasta, que foi de 69,85 °C e 68,95 °C, para os amidos de araruta redonda e seta, respectivamente. Em comparação com os dados encontrados na literatura sobre araruta, indicados na Tabela 3, apenas Daiuto (2005) obteve um valor aproximado dos encontrados neste trabalho, enquanto a maioria encontrou valores maiores.

De acordo com o trabalho feito por Shirai et al. (2007), os amidos nativos de batata, mandioquinha-salsa e mandioca apresentaram temperaturas menores, de 65,2 °C, 59,1 °C e 66,7 °C, respectivamente. Já a batata-doce, o milho e o milho-ceroso apresentaram temperaturas de pasta maiores, de 73,5 °C,

82,6 °C e 71,1 °C, respectivamente. Para amidos de taro, essa temperatura foi de 78,45 °C (ALMEIDA, 2012).

Temperaturas mais baixas de empastamento, em que se enquadram os dois amidos estudados, podem indicar menor resistência à dissociação das ligações de hidrogênio intramoleculares e maior facilidade de expansão dos amidos. Do ponto de vista energético, esses amidos que apresentam menores temperaturas de pasta são mais interessantes, já que produzem pastas viscosas mais rapidamente. Matsuguma (2006) relata que eles podem ser potencialmente úteis para utilização em alimentos de preparo instantâneo, como sopas e pudins.

Com relação ao valor do pico de viscosidade, ou viscosidade máxima, observa-se que as amostras apresentaram picos de formato agudo, característicos de grânulos que apresentam homogeneidade estrutural, mais evidente na araruta redonda. A araruta redonda apresentou um maior pico, chegando a 563,15 RVU, em 5,8 minutos, enquanto a araruta seta apresentou um menor pico, 481,55 RVU, mas que demorou mais para ser atingido, em 6,27 minutos (Figura 4). Em relação aos outros amidos de araruta estudados, apresentados na Tabela 3, os dois valores encontrados são maiores.

No trabalho de Shirai et al. (2007), apenas a viscosidade máxima da batata foi maior que a dos amidos estudados aqui, sendo de 727 RVU. O amido de mandioca-salsa foi o que mais se aproximou do amido da araruta seta, com 440 RVU, enquanto a batata-doce, a mandioca, o milho e o milho-ceroso apresentaram picos de viscosidade de 296, 303, 230 e 285 RVU, respectivamente. Portanto, os dois amidos de araruta estudados apresentam picos de viscosidade menores que o da batata, mas, ainda assim, podem ser considerados altos. Esses altos valores de viscosidade representam a maior capacidade de retenção de água antes de os grânulos se romperem.

A viscosidade de pasta é importante na avaliação da qualidade do amido, uma vez que a fluidez pode interferir nos equipamentos a serem utilizados e

dimensionados em uma linha de produção, até no produto a ser fabricado (BELLO-PÉREZ et al., 2006). Nesse contexto, pode-se dizer que o amido de araruta é uma importante alternativa para o desenvolvimento de produtos que requerem alta viscosidade, sob temperaturas de processo não muito altas, assim como para produtos com ingredientes termolábeis.

Alta viscosidade é desejável para usos industriais, nos quais o objetivo é o poder espessante. Para isso, é necessário o controle da retrogradação no resfriamento (AMIDOS..., 2009).

Antes de atingir 95°C, ocorre queda acentuada de viscosidade, indicando uma fragilidade dos grânulos a temperaturas mais elevadas e a altas taxas de agitação. Esta quebra de viscosidade é característica do amido de fontes vegetais subterrâneas, como a mandioca e a batata (LEONEL; CEREDA, 2002).

Com a temperatura constante a 95 °C, os grânulos de amido começam a se dissociar, o que faz com que ocorra uma queda na viscosidade. A diferença entre as viscosidades de pico (máxima) e a mínima é conhecida como “quebra”, ou “breakdown”, que simula a resistência do amido à agitação mecânica e a estabilidade dos grânulos a altas temperaturas (THOMAS; ATWELL, 1999). Quando o amido é submetido à ação da energia mecânica e/ou térmica de maior grandeza, o índice de absorção de água decresce, indicando destruição da integridade molecular do amido (SRIBURI; HILL, 2000).

Neste caso, a quebra do amido da araruta redonda se apresentou maior (378,79 RVU), caracterizando maior fragilidade quando cozido em água e menor resistência à agitação a quente, seguida de uma viscosidade mínima de 184,35 RVU. A araruta seta foi a única que obteve valores aproximados (259,57 RVU) aos da Tabela 3, de 263,11 RVU (AMARAL et al., 2011) e viscosidade mínima maior que a do amido de araruta redonda, de 221,98 RVU.

A quebra do amido de batata encontrada por Shirai et al. (2007) se apresentou maior que a dos dois amidos de araruta, com 542 RVU, enquanto a

quebra da mandioca foi de 299 RVU, maior apenas que a da araruta Seta. Porém, a batata-doce, a mandioca, o milho e o milho-ceroso apresentaram valores abaixo dos encontrados, 183, 208, 110 e 177 RVU, respectivamente. Apenas a viscosidade mínima da batata se aproximou da viscosidade mínima da araruta redonda, sendo de 184 RVU, tendo as das outras amostras sido menores.

Com a posterior diminuição da temperatura, ocorrem a reassociação das moléculas e o consequente aumento da viscosidade, devido à reorganização das cadeias lineares que foram solubilizadas durante o aquecimento. Produz-se grande número de ligações cruzadas que formam uma rede que retém grande quantidade de água em seu interior, fenômeno conhecido como retrogradação ou *set back* (MUCCILLO, 2009). A formação desta rede durante o resfriamento resulta no aparecimento de gel (HOOVER, 2001).

O amido da araruta seta mostrou ser o de maior tendência a retrogradar, em função do maior valor encontrado para *set back*, de 210,47 RVU, enquanto o da araruta redonda obteve valor de 173,28 RVU. Os dois valores encontrados são maiores que os encontrados por Shirai et al. (2007), em cujo trabalho batata, batata-doce, mandioca, milho e milho-ceroso obtiveram retrogradação de 67, 68, 63, 115, 103 e 13 RVU, respectivamente. O trabalho de Moura (2008) mostrou maior retrogradação para amidos de *Hedychium coronarium*, de 245 RVU, enquanto, para Peroni (2003), o amido de *Curcuma longa* obteve 283 RVU de tendência à retrogradação.

Baixas tendências à retrogradação indicam severidade dos tratamentos com degradação dos polímeros, rompimento das estruturas moleculares e redução da capacidade de recristalização dos mesmos (LEONEL; CEREDA; SARMENTO, 2002). Maior tendência à retrogradação, como no caso dos amidos de araruta redonda e seta, indica menor estabilidade dos grânulos ao trabalho mecânico e maior capacidade de recristalização da amilose. Para Yuan

et al. (2007), quanto maior o *set back*, maiores os diâmetros dos grânulos, devido à maior fragilidade.

Em relação aos trabalhos relacionados na Tabela 3, tanto o amido de araruta redonda (357,63 RVU) quanto o amido de araruta seta (432,46 RVU) apresentaram maior viscosidade final. Quanto aos amidos analisados por Shirai et al. (2007), todos apresentaram viscosidade final menor que as encontradas: 251 RVU para batata, 181 RVU para batata-doce, 204 RVU para mandioquinha-salsa, 210 RVU para mandioca, 223 RVU para milho e 121 RVU para milho-ceroso. Já *H. coronarium* e *C. longa* obtiveram viscosidade final de 548 e 779 RVU, respectivamente (MOURA, 2008; PERONI, 2003). No trabalho de Garcia (2013), com diferentes cultivares de batata, os valores de viscosidade final variaram de 322 a 448 RVU, aproximando-se dos valores encontrados.

A viscosidade final é um parâmetro importante no uso de amido em alimentos, pois corresponde à viscosidade do produto final. De acordo com o tipo de produto, uma viscosidade maior ou menor pode ser desejável; sopas prontas não devem apresentar viscosidade final muito elevada, o que causaria uma sensação desagradável e recheios de tortas necessitam de maior viscosidade, o que evitaria o transbordamento durante o transporte. Deve-se considerar também que o processamento industrial reduz a viscosidade e, portanto, essa queda deve ser ponderada no cálculo da viscosidade desejada (DAIUTO, 2005).

A araruta redonda apresentou temperatura de pasta mais elevada, além de viscosidade máxima e *breakdown*, ao passo que a araruta seta apresentou maior viscosidade mínima, maior viscosidade final e maior tendência à retrogradação. Todas as diferenças entre os resultados analisados dos amidos de araruta, tanto entre os tipos aqui analisados quanto entre os de outros autores, podem decorrer, em parte, devido às variações observadas na composição (teor de amilose e de lipídeos), no tamanho dos grânulos de amidos (FERRARI;

LEONEL; SARMENTO, 2005) e no estágio de maturação fisiológica dos rizomas. Os teores de fósforo e de lipídios em grande quantidade poderiam influenciar nas características de pasta.

Amidos que apresentam menores picos de viscosidade, menor resistência à agitação mecânica (quebra) e menor tendência a retrogradar podem ser utilizados em alimentos congelados e refrigerados, devido a essa baixa tendência em retrogradar; na indústria de balas, por sua baixa viscosidade e retrogradação e em sopas desidratadas, pela baixa temperatura de formação do gel. Os valores elevados de pico de viscosidade, quebra de viscosidade e tendência a retrogradação das amostras de amido de araruta possibilitam sua utilização em cereais matinais fortificados, alimentos infantis ou como ingredientes para a sua formulação, assim como em produtos cárneos e de panificação (MAIA et al., 1999).

Ao fim das duas curvas, houve um “ruído”, em que as viscosidades não se apresentaram com aumento ou diminuição constantes. Não foi encontrado nenhum relato a respeito deste resultado. Uma hipótese pode ser a formação de aglomerados de amilose retrogradada, que foram registrados pelo equipamento.

4.3 Capacidade de absorção de água e de óleo

As capacidades de absorção de água e de óleo, a 22 °C, dos amidos de araruta redonda e seta são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 Valores médios* das capacidades de absorção em água e óleo dos amidos de araruta redonda e seta

Capacidade de absorção	Amido	
	Araruta redonda	Araruta seta
Em água (g 100 g ⁻¹)	93,08 ^a ±1,75	104,64 ^b ±1,49
Em óleo (g 100 g ⁻¹)	106,73 ^a ±4,52	106,22 ^a ±1,60

*Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si, a 5% de significância

A capacidade de absorção de água (CAA) está relacionada à disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) em se ligar às moléculas de água e à capacidade de formação de gel das moléculas de amido (COLLONA et al., 1984). A araruta redonda apresentou capacidade de absorção de 93,08 g 100 g⁻¹, enquanto a da araruta seta foi de 104,64 g 100 g⁻¹, diferindo entre si a 5% de significância. Valores mais altos que os apresentados pelas amostras em estudo foram encontrados no trabalho com amido de araruta de Clemente Granados et al. (2014), de 162,8 g 100 g⁻¹.

Poucos foram os trabalhos que apresentaram resultados semelhantes aos obtidos neste estudo. Mendes (2011) encontrou CAA de 98,58 g 100 g⁻¹, em amido de amêndoa de semente de manga; Stahl et al. (2007) encontraram 88,04 g 100 g⁻¹, em amido de milho e Singh et al. (2009) encontraram 88,50 g 100 g⁻¹, em amido de inhame. Já no trabalho de Lima, Silva Júnior e Sá (2014), a CAA para amidos nativos de feijões-andu foi de 175 g 100 g⁻¹ e, no trabalho de Albuquerque (2011), o amido de semente de jaca-mole teve absorção de água de 123,18 g 100 g⁻¹ e o valor para jaca-dura foi de 77,36 g 100 g⁻¹.

As capacidades de absorção de óleo (CAO) nos amidos, de 106,73 g 100 g⁻¹, para a araruta redonda e de 106,22 g 100 g⁻¹, para araruta seta não diferiram entre si, e foram mais altas do que a encontrada por Clemente Granados et al. (2014), de 51 g 100 g⁻¹, para amido de araruta; por Almeida (2012), para amido de taro, de 91,26 g 100 g⁻¹ e por Silva et al. (2013), de 82,71 g 100 g⁻¹, para

amido de semente de abacate. No trabalho de Albuquerque (2011), a CAO do amido de semente de jaca-mole foi de 99,58 g 100 g⁻¹ e a da jaca-dura foi de 73,15 g 100 g⁻¹. Para os amidos de feijão-andu, Lima, Silva Júnior e Sá (2014) encontraram 127 g 100 g⁻¹.

Menores valores de capacidade de absorção podem ser devido à região amorfa nos grânulos de amido, ou seja, redução do número de locais obrigatórios disponíveis para a água e para o óleo no grânulo (RIBEIRO, 2006).

Com base nos resultados reportados, observou-se que o amido de araruta redonda e seta apresenta boa capacidade de se ligar à água e ao óleo, em comparação com outras pesquisas realizadas em outras espécies, para estes parâmetros, apesar de existirem espécies com maior capacidade. Essa boa capacidade de absorção de água é desejável para o preparo de pães, bolos e biscoitos e na produção de produtos expandidos como *snacks* (RIBEIRO, 2011).

A absorção de óleo é uma propriedade importante na indústria alimentícia, bem como nas formulações dos alimentos, pois as gorduras melhoram o sabor e o paladar dos alimentos (KINSELLA, 1984). Além disso, uma menor CAO favorece o uso do amido em produtos fritos, proporcionando crocância (RIBEIRO, 2011).

4.4 Poder de inchamento e Índice de solubilização do amido

Os resultados obtidos para o poder de inchamento (PI) dos amidos de araruta redonda e seta, em função da temperatura, estão expostos na Figura 4 e para índice de solubilidade (IS), na Figura 5. Essas figuras foram configuradas com base nos dados fornecidos pela Tabela 5.

Tabela 5 Valores médios do poder de inchamento (PI) e do índice de solubilidade (IS) dos amidos de araruta seta e redonda

Temperatura (°C)	Poder de inchamento (g/g)		Índice de solubilidade (%)	
	A. Redonda	A. Seta	A. Redonda	A. Seta
22	2,39a±0,14	2,64b±0,381	0,41a±0,04	0,47b±0,02
50	4,20a±0,10	2,92b±0,447	0,86a±0,10	0,50b±0,04
60	4,64a±0,16	6,47b±0,119	1,12a±0,04	4,80b±0,06
70	10,28a±0,12	10,09a±0,368	-	1,27±0,97
80	10,42a±0,09	10,44a±0,014	-	-
90	10,26a±0,15	10,31a±0,038	-	-

*Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si, a 5% de significância (-) Pela metodologia empregada, não foi possível notar separação de fases necessária para a análise

O poder de inchamento e a solubilidade evidenciam a dimensão da interação entre as redes da área cristalina e da área amorfa do grânulo de amido, sendo influenciados pela razão amilose/amilopectina e suas características, como o peso molecular e sua distribuição, grau, comprimento e conformação da ramificação (HOOVER, 2001; MATSUGUMA, 2006; PERONI, 2003). O poder de inchamento se relaciona com a capacidade de absorção de água, enquanto o índice de solubilidade é a capacidade de reagir com a água e dissolver-se, indicando a extensão da associação existente (amilose/amilopectina) (MEDINA et al., 2010).

De acordo com os dados da Tabela 5, os dois amidos estudados não mostraram grande variação no PI e no IS, até atingirem 50 °C. Porém, acima dessa temperatura as alterações foram maiores, indicando ruptura das ligações internas do grânulo. Esse comportamento não surpreende, uma vez que a temperatura inicial de gelatinização observada na calorimetria exploratória diferencial (DSC) foi também próxima a 50 °C. Tanto o PI quanto o IS

dependem do arranjo das moléculas de amilose e amilopectina nos grânulos de amido, que controlam o comportamento do amido em água (AMANTE, 1986).

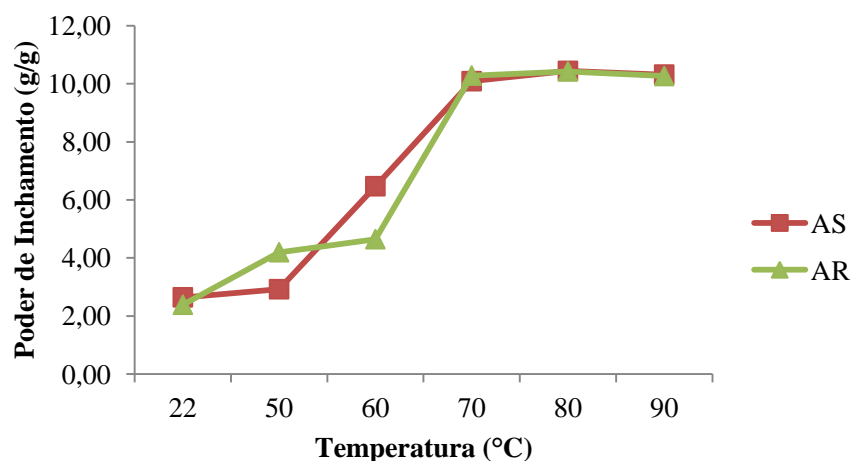


Figura 4 Efeito da variação da temperatura no poder de inchamento nos amidos de araruta seta (AS) e araruta redonda (AR)

As curvas de poder de inchamento dos dois amidos mostraram um crescimento contínuo com o aumento da temperatura, com pico em 80 °C e uma pequena queda na temperatura de 90 °C. Os valores de poder de inchamento dos amidos de araruta Seta e Redonda não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$) aos 70 °C, bem como aos 80 °C e aos 90 °C (Figura 4).

À temperatura de 90 °C, o amido de araruta redonda apresentou valor de PI de 10,26 g/g, enquanto o amido da araruta seta apresentou valor de 10,31 g g⁻¹. Santos (2009), em amido de fruto-do-lobo, encontrou valores de PI de 8,97 g g⁻¹. Peroni (2003) estudou várias fontes de amido e encontrou os mais baixos valores de PI para amido de gengibre, de 9,06 g/g, a 90 °C e os maiores para mandioca, de 78,33 g/g. A comparação desses dados indica que os amidos de araruta têm inchamento limitado, ou seja, baixa absorção de água.

O lento aumento do poder de inchamento com o aumento da temperatura indica que as forças associativas internas que mantêm a estrutura do grânulo eram intensas, mantendo a estrutura destes grânulos e, portanto, resistindo ao inchamento. Já a queda sutil dos valores deste parâmetro ocorreu, provavelmente, devido à quebra da estrutura do amido e sua solubilização, o que é comum em alguns amidos que têm tendência ao rompimento após alcançar o inchamento máximo na temperatura de gelatinização, o que faz com que sua capacidade de absorver água diminua (MENDES, 2011).

O aumento do poder de inchamento com o aumento da temperatura indica certa influência nessa capacidade de retenção de água. Este fato está relacionado à maior vibração das moléculas do grânulo de amido sob altas temperaturas, o que causa o rompimento das ligações intermoleculares e permite que os sítios de ligação liberados possam realizar a união de ligações do hidrogênio com a molécula de água (FENNEMA, 2000). De acordo com Hashim et al. (1992), durante a faixa de temperatura de gelatinização, o grânulo de amido tem um limitado inchamento, no qual somente uma pequena quantidade de carboidratos é solubilizada. Com o aumento da temperatura, acima da faixa de temperatura de gelatinização ocorrem um aumento do poder de inchamento e uma grande quantidade de carboidratos é lixiviada a partir do grânulo de amido.

O inchamento do grânulo ocorre simultaneamente com a perda de birrefringência e precede a solubilização. O PI, geralmente, é influenciado pela força de ligação entre as moléculas e pela estrutura molecular da amilopectina. Um baixo PI pode ser atribuído à presença de vários cristais formados pela associação de longas cadeias de amilopectina. Maior cristalinidade implica em maior estabilidade granular, o que, conseqüentemente, reduz a capacidade de inchamento do grânulo (SINGH et al., 2004).

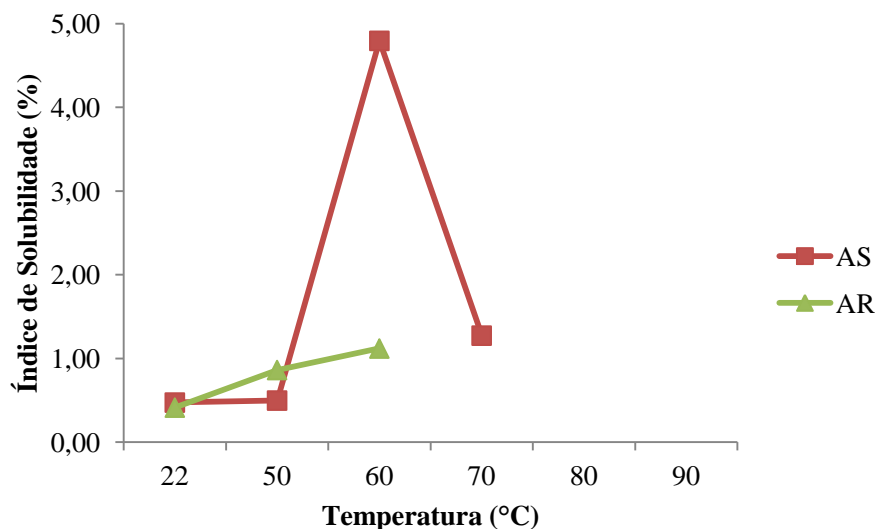


Figura 5 Efeito da variação da temperatura no índice de solubilidade nos amidos de araruta seta (AS) e araruta redonda (AR)

Para a solubilidade, o maior índice foi a 60 °C, havendo uma queda logo após, chegando à solubilidade máxima a 70 °C, para o amido de araruta redonda e 80 °C para o amido de araruta seta (Figura 5).

O IS encontrado a 90 °C, nos trabalhos com amidos de araruta de Clemente Granados et al. (2014), foi de 4 g/100 mL; no de Costa (2015), foi de 50%; no de Peroni (2003), de 19,47% e no de Hernandez-Medina et al. (2008), de 20%, que são valores bem variados.

O amido de pinhão estudado por Muccillo (2009) apresentou IS semelhante ao da araruta seta, com solubilidade de 0,31% a 25 °C, de 0,12% a 50 °C, de 4,02% a 60 °C e queda de até 1,45% a 70 °C. À temperatura de 90 °C, o amido do fruto-do-lobo apresentou valores de IS de 6,14% (SANTOS, 2009). Peroni (2003) encontrou, para amido de gengibre, 2,13%, a 90 °C, e, para mandioca, 30,47%, enquanto Ratnayake et al. (2001) encontraram valor de IS de 27,2% para amido de lentilha, a 95 °C. Portanto, até as temperaturas nas quais houve resultados, os amidos de araruta apresentaram baixa solubilidade.

Nas temperaturas de 70 °C a 90 °C, para a araruta redonda e de 80 °C e 90 °C, para a araruta seta, não foi possível quantificar o índice de solubilidade pela metodologia utilizada, pois não ocorreu separação das fases, o que indica a solubilidade foi de 100%.

Segundo Swinkels (1985), o complexo amilose-lipídio pode restringir o inchamento e a solubilização de amidos e, de acordo com o grau de associação, os amidos podem ser divididos em três grupos: com alto, médio e baixo grau de associação. Assim, amidos de cereais que têm maior grau de associação têm menor poder de inchamento e índice de solubilidade, seguidos dos amidos de raízes e tubérculos (BALAGOPALAN et al., 1988).

Segundo Guillon e Champ (2000), a solubilidade tem efeito na funcionabilidade do amido e, principalmente, na estabilidade da viscosidade, diminuindo o *breakdown*. Portanto, de acordo com a literatura, o valor obtido para estes índices neste trabalho foi pequeno, indicando a baixa capacidade destes amidos de absorver água e a baixa estabilidade.

A qualidade de um alimento é frequentemente associada à retenção de água pelos grânulos de amido expandidos, ao passo que a consequência direta do intumescimento é o aumento na solubilidade, na transparência e na viscosidade da pasta de amido (CIACCO; CRUZ, 1982). O intumescimento contribui para importantes características na maioria dos produtos alimentícios à base de amido, tais como empastamento e comportamento reológico. O fluxo de água restrito devido ao enorme inchaço do grânulo ocupando mais espaço contribui para o aumento da viscosidade do amido em sistemas em aquecimento (MILES et al., 1985).

O aumento da solubilidade com a gelatinização é base para a confecção de alimentos amiláceos pré-preparados. Após cocção, algumas farinhas de cereais são secas e vendidas como farinhas pré-gelatinizadas. Estas farinhas, devido à gelatinização prévia, são parcialmente solúveis em água fria,

facilitando o preparo de certos alimentos, como, por exemplo, pudins, purê de batata pré-preparado, polenta e cuscuz (CIACCO; CRUZ, 1982). Assim, quando suspensões do amido de araruta redonda forem submetidas a temperaturas maiores que 60 °C e os da araruta seta a temperaturas maiores que 70 °C, os amidos poderão ser utilizados para a confecção desses alimentos, uma vez que estas temperaturas estão relativamente próximas às temperaturas de gelatinização.

A diferença encontrada nos valores de PI e IS para os tipos de araruta estudados deve-se, basicamente, às suas diferentes porcentagens de amilose, amilopectina e tamanho e compactação de grânulos (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007). Tem sido demonstrado em estudos que variações genéticas, condições climáticas e de solo, idade da cultura e época de colheita também afetam as características reológicas, principalmente viscosidade, poder de inchamento, retrogradação (FRANCO et al., 2001).

4.5 Análise de imagem

O tamanho e a forma dos grânulos de amido das ararutas redonda e seta são apresentados nas Figuras 6 e 7.

O tamanho dos grânulos de amido pode variar de um a 110 µm, sendo considerados pequenos os de tamanho entre um e 20 µm e grandes os que variam entre 20 e 110 µm. Variações no tamanho e na forma dos grânulos de amido são relacionadas à origem biológica da planta, enquanto a morfologia depende da bioquímica do cloroplasto ou amiloplasto, assim como da fisiologia da planta (SINGH et al., 2003).

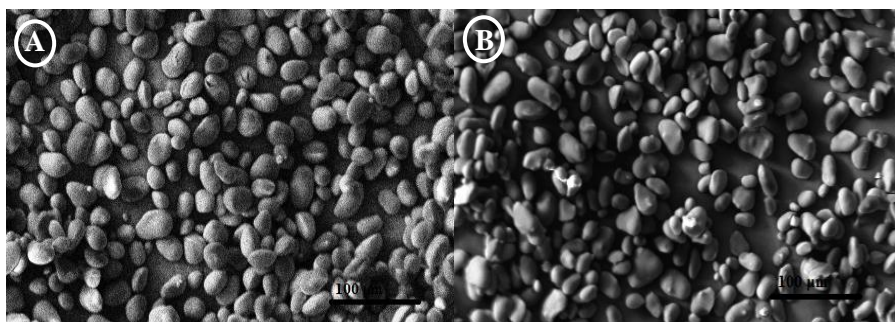


Figura 6 Fotomicrografias de MEV do amido de araruta redonda (A) e do amido de araruta seta (B). Aumento de 300x e escala de 100 μm

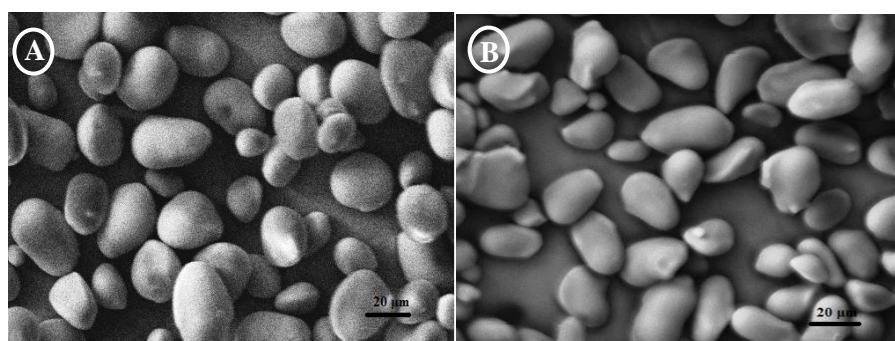


Figura 7 Fotomicrografias de MEV do amido de araruta redonda (A) e do amido de araruta seta (B), com aumento de 830x e escala de 20 μm

Com relação à morfologia dos grânulos dos amidos dos dois tipos de ararutas, de acordo com as Figuras 6 e 7, pode-se evidenciar que as formas geométricas predominantes são ovais e elipsoides. O tamanho característico se encontra na faixa de oito a 45 μm , com predominância de grânulos de, aproximadamente, 30 μm , tanto para a araruta redonda quanto para a seta, podendo ser considerados grânulos grandes. Também se pode observar que a superfície dos grânulos é bastante lisa, sem apresentar irregularidades ou porosidade superficial, o que demonstra grânulos íntegros e não danificados.

Dentre as literaturas consultadas, o diâmetro de grânulos de amido de araruta variou de quatro a 42 μm e seu formato foi definido como elipsoide, circular e oval, ou cilíndrico e oval (DAIUTO, 2005; ERDMAN, 1986;

HERNÁNDEZ-MEDINA et al., 2008; LEONEL, 2007; LEONEL; CEREDA; SARMENTO, 2002; NOGUEIRA; PEREIRA; FAKHOURI, 2014; PÉREZ; LARES; GONZÁLEZ, 1997). No trabalho de Ferrari, Leonel e Sarmento (2005) foi demonstrado que houve diferença de tamanho nos grânulos de araruta cultivada por 12 e por 14 meses, com predomínio de grânulos de amido com diâmetros na faixa de 20 a 27 μm , em plantas de araruta com 12 meses e de 25 a 32 μm , aos 14 meses. Portanto, os amidos aqui estudados podem ter apresentado diâmetros maiores do que se tivessem sido analisados anteriormente.

Segundo Fennema (2000), o diâmetro médio do grânulo de amido de milho está em 15 μm , o de batata-branca em 33 μm , o de batata-doce entre 25 e 50 μm , o da mandioca de 20 μm , o do trigo entre 20 e 22 μm e do arroz em 5 μm .

Alguns autores mencionam a relação entre o tamanho do grânulo de amido e a digestibilidade (RILEY; WHEATLEY; ASEMOTA, 2006), a percentagem de transmitância, o conteúdo de amilose, o poder de intumescimento, a solubilidade, a capacidade de absorção de água (KAUR et al., 2009; SINGH; SINGH, 2001) e a textura (KAUR; SINGH; SODHI, 2002). Quanto à digestibilidade, quanto menor o grânulo, mais fácil sua digestão. No entanto, outros fatores, como o conteúdo de fósforo, amilose, a estrutura da amilopectina e a própria estrutura interna do grânulo, podem ser considerados como os principais responsáveis pela maioria dessas propriedades (YAMANI, 2010).

Estudos determinaram que as propriedades térmicas de amidos estejam estreitamente relacionadas com o tamanho e a distribuição de tamanho dos grânulos, ao passo que os amidos nativos de maior tamanho de grânulo tendem a inchar a temperaturas menores (MADSEN; CHRISTENSEN, 1996), o que pode ser observado neste trabalho, com os amidos dos dois tipos de araruta.

O tamanho do grânulo de amido é importante em diversas aplicações, influenciando a superfície de reação e interferindo na velocidade de decantação durante os processos industriais. Grânulos com diâmetro homogêneo influenciam a biodegradabilidade dos amidos contidos em polímeros, enquanto grânulos grandes de amido têm sido evitados em produtos comestíveis, como molhos e sobremesas lácteas, que exigem uma sensação de maciez na boca (KAMP et al., 1997).

Grânulos pequenos (2 μm), por exemplo, podem ser utilizados como substitutos de gordura devido ao tamanho ser semelhante ao dos micélios de lipídeos (CEREDA; VILPOUX, 2003). Grânulos maiores, como no caso dos amidos de araruta redonda e seta, podem ser empregados na manufatura de filmes plásticos biodegradáveis, além de produtos de panificação.

Amidos com pequenas diferenças entre o maior e o menor diâmetro, que apresentam formato mais regular, são desejáveis para a fabricação de papéis químicos, como os usados para cópias e fax (LEONEL; SARMENTO, 2004).

4.6 Espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier

Os amidos foram avaliados para determinar a presença de grupos funcionais por meio de bandas, que explicam sua estrutura (Figura 8). Os espectros de FTIR representam um comportamento típico do amido, como descrito na literatura, não sendo possível observar grandes diferenças entre as amostras nas bandas de absorção, havendo apenas pequenas mudanças em suas transmitâncias.

A análise dos espectros dos amidos de araruta redonda e araruta seta analisados neste trabalho indicou a presença de grupos funcionais predominantes de amido (as bandas entre 1.200 e 800 cm^{-1}), lipídios (2.929 e 2.922 cm^{-1}) e

proteínas (1.651 cm^{-1}) nas duas amostras, e pequenas diferenças, quantitativas ou estruturais, foram difíceis de detectar (MARCON, 2009).

A larga banda de 3.305 cm^{-1} , para AR e AS, pode ser atribuída à ligação OH e a sua largura atribuída à formação de ligações de hidrogênio inter e intramoleculares (SAIKIA; KONWAR, 2012). A larga banda na região de $3.400\text{-}3.300\text{ cm}^{-1}$ corresponde à absorção dos grupos hidroxilas da D-glicose presente no amido (WANG et al., 2009).

Já as bandas encontradas em 2.922 e 2.929 cm^{-1} são atribuídas à deformação axial da ligação C-H, característica da região entre 3.000 e 2.800 cm^{-1} (SANTHA et al., 1990). Bandas referentes às deformações moleculares existentes nas moléculas de amido a 3.400 e 1.650 cm^{-1} são atribuídas ao estiramento e à deformação angular de ligações -OH (LIMA et al., 2012).

Bandas de absorção em 1.651 cm^{-1} correspondem à água ligada na região amorfa dos grânulos de amido. Como esta banda está relacionada com a cristalinidade de cada amido, suas variações têm o potencial de afetar esta banda (KIZIL; IRUDAYARAJ; SEETHARAMAN, 2002). As absorções em $1.339\text{-}1.337\text{ cm}^{-1}$ têm sido relacionadas a deformações de grupos C-OH (DANTAS et al., 2013).

As bandas encontradas na região 1.200 a 1.000 cm^{-1} são consideradas bandas características do amido e são atribuídas a vibrações de deformação axial de C-O em álcoois e a vibrações de deformação axial do sistema O-C-O (LIMA et al., 2012). Segundo Soest et al. (1995), a região próxima a 992 cm^{-1} pode ser estimada como ligações de hidrogênio. Já a banda proeminente em 927 a 922 cm^{-1} refere-se à sensibilidade à água, mostrando a presença desta molécula na estrutura dos dois amidos (DEEPIKA; JAYARAM KUMAR; ANIMA, 2013).

Bandas localizadas a, aproximadamente, 860 cm^{-1} são designadas como vibrações associadas com grupos CH₂ (DANTAS et al., 2013).

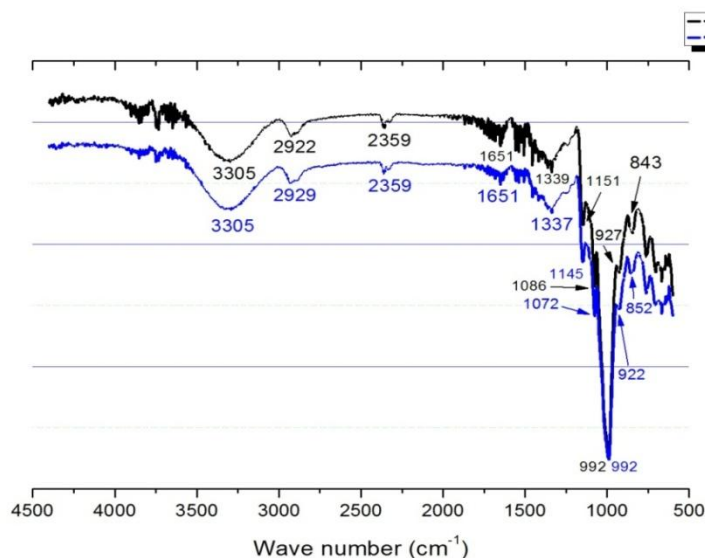


Figura 8 Espectro do FTIR para os amidos de araruta redonda (AR) e araruta seta (AS)

Os espectros no infravermelho dos amidos de mandioca e milho nativo analisados por Ramírez (2011) foram semelhantes aos encontrados neste trabalho. Neles pode ser observado seguinte: uma banda larga entre 3.000 e 3.500 cm^{-1} , correspondente ao estiramento dos grupos hidroxila O-H, que participam de formação de ligações de hidrogênio inter e intramoleculares; bandas entre os picos 2.883 e 2.993 cm^{-1} , que são referentes ao estiramento assimétrico C-H do grupo metila; em 1.635 cm^{-1} aparece uma banda referente à água na amostra; uma banda de 1.325 a 1.462 cm^{-1} , pertencente à deformação angular da ligação C-H; de 950 a 1.153 cm^{-1} , que aparecem pelos estiramentos de álcoois secundários e primários e de éteres C-O-C presentes nas cadeias poliméricas do amido; picos entre 990 e 1.060 cm^{-1} , que podem ser atribuídos à vibração O-C no carbono 1 e 5 do oxigênio do anel cíclico da glicose; a banda em 1.047 cm^{-1} , que corresponde à parte ordenada ou cristalina do amido; a banda em 1.022 cm^{-1} , que é característica da parte amorfa ou desordenada, enquanto o

pico a 995 cm^{-1} é relacionado à união intramolecular do hidrogênio de grupo hidroxila no C6, sensível à água, picos característicos de polissacarídeos atribuídos à deformações de tensão de C-O-C e de flexão de O-H.

4.7 Difração de raios X

Os difratogramas de raios X dos amidos de araruta redonda e araruta seta e suas cristalinidades relativas são apresentados na Figura 9.

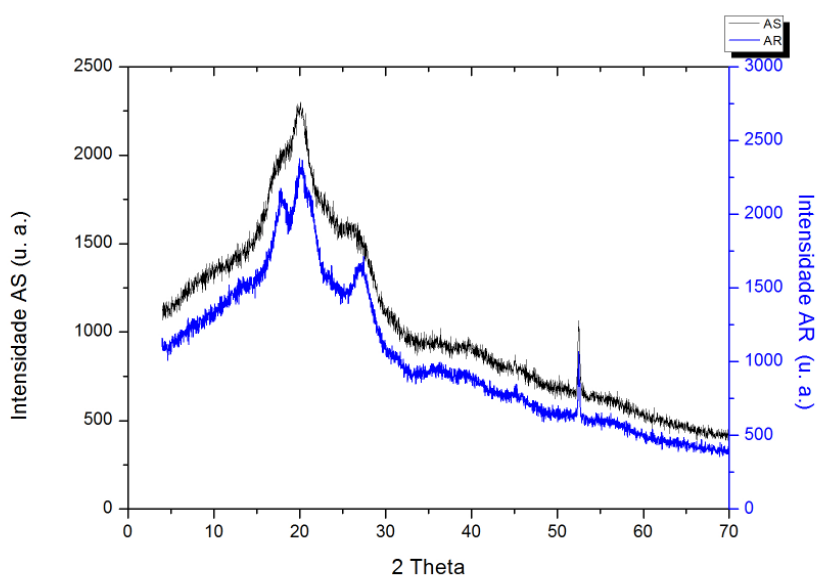


Figura 9 Difratogramas de raios X dos amidos de araruta Redonda (AR) e seta (AS)

O grânulo de amido consiste de camadas concêntricas que contêm micelas cristalinas agrupadas (HOOVER, 2001; JANE et al., 1999). Por serem parcialmente cristalinos, fornecem resultados particulares de difração de raios X. Esta análise permite a identificação da natureza botânica de amidos (ORTIZ et al., 2013).

A amilopectina é a principal responsável pela cristalinidade do amido, que varia entre 15%-45% e pode ser caracterizada em três principais padrões, por meio de difração de raios X, os tipos A, B e C (YONEMOTO, 2006). Amidos com comprimento de cadeias entre curto e médio exibem um padrão de cristalinidade tipo A, enquanto os padrões tipo B e C são encontrados em amidos com médio e grande comprimento de cadeia, respectivamente (KUAKPETOON; WANG, 2001).

O padrão cristalino tipo A consiste de duplas hélices formadas por amilose e amilopectina compactadas, dispostas em arranjo monocíclico, sendo mais denso, apresentando menos espaço para moléculas de água e é comum em cereais. O tipo B tem uma estrutura aberta e altamente hidratada com duplas hélices dispostas em arranjo hexagonal, pode prender quatro vezes mais moléculas de água que o tipo A e é encontrado em amidos de tubérculos, variedades com alto teor de amilose e amidos retrogradados. O tipo C corresponde a uma forma polimórfica, podendo ser considerada uma mistura dos tipos A e B (PERONI, 2003; SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006). Há, ainda, o padrão cristalino tipo V, quando o amido é recristalizado na presença de ácido graxo ou de álcool de cadeia longa e é atribuído a um amido complexo, no qual as cadeias de resíduos de glicose formam uma hélice com o exterior hidrofílico e um centro hidrofóbico, contendo uma molécula apolar como um lipídeo. Este tipo de estrutura é semelhante ao complexo iodo-amido e é parcialmente resistente à digestão enzimática (ELFSTRAND et al., 2004; LOBO; SILVA, 2003; THOMAS; ATWELL, 1999).

De acordo com Cereda et al. (2002), o padrão do tipo A apresenta picos de maior intensidade em 2θ de 15°, 17°, 18° e 23°; o tipo B em 5,6°, 15°, 17°, 22° e 23°, e o tipo C apresenta-se como padrão intermediário entre os dois.

Amidos que apresentam cristalinidade tipo A ou C são mais resistentes ao ataque enzimático, o que sugere grânulos mais homogêneos com relação à distribuição de forças internas de ligação (ROSENTHAL et al., 1973).

Observa-se que o difratograma do amido de araruta redonda apresentou três picos principais, sendo eles um suave dubleto em $17,69^\circ$ e $18,27^\circ$, característico do padrão cristalino tipo A, porém, com picos em $20,17^\circ$ e $27,02^\circ$, o que indica que este amido, na verdade, apresenta um padrão cristalino do tipo C.

O difratograma do amido de araruta seta apresentou apenas um pico bem definido, em $19,87^\circ$. Uma elevação ocorreu em $17-18^\circ$ e houve um pico suave em $26,74^\circ$, indicando que este amido também apresenta um padrão cristalino do tipo C.

O índice de cristalinidade (IC) do amido de araruta redonda foi de 40,79%, enquanto para a araruta seta foi de 39,17%. O grau de cristalinidade dos amidos é proporcional à sua composição: os amidos regulares são compostos de 70% a 80% por amilopectina e de 20% a 30% por amilose (LIMA; ANDRADE, 2010; MORISSON; LAIGNELET, 1983). Os dois valores estão de acordo com dados encontrados na literatura, segundo os quais, o IC, para amidos nativos, deve estar compreendido entre 15% e 45% (YONEMOTO, 2006) e de acordo com o perfil do pico de viscosidade obtido no RVA, tendo o amido de araruta redonda se apresentado mais organizado que o da araruta seta. No entanto, segundo Shi et al. (1998), uma cristalinidade menor pode não ser, necessariamente, sinônimo de menor ordenação molecular nos grânulos e, sim, um indicativo do menor tamanho dos cristais.

Os dois difratogramas foram semelhantes, porém, o amido de araruta redonda apresentou picos mais definidos, o que é indicado pelo maior índice de cristalinidade. Quanto ao grau de cristalinidade das amostras em estudo, observa-se que as intensidades dos picos dos difratogramas foram semelhantes,

sugerindo valores aproximados das forças de ligações internas das moléculas e graus de associação entre as cadeias de amido. As diferenças encontradas se devem, principalmente, à relação amilose/amilopectina de cada amido.

A ordem cristalina dos grânulos de amido é o fator básico que influencia as propriedades funcionais. O colapso da ordem cristalina dos grânulos manifesta mudanças irreversíveis nas suas propriedades, tais como inchamento do grânulo, perda de birrefringência ótica, desenrolamento e dissociação da dupla hélice e solubilidade do amido (SINGH et al., 2003).

Grande parte dos amidos de raízes e tuberosas tem padrão de difração de raios X do tipo B, porém, existem algumas exceções, tais como os amidos de batata-doce (*Ipomoea batatas*) (A, C), de mandioca (*Manihot esculenta*) (A, C) e inhame (*Discorea dumetorum*) (A) (HOOVER, 2001).

Para os amidos de araruta, no trabalho de Costa (2015) pôde-se observar que o amido apresentou picos de maior intensidade em, aproximadamente, 11,5°, 15,1°, 17,2° e 23,1°, apresentando, portanto, cristalinidade do tipo C, e índice de cristalinidade de, aproximadamente, 29,6%. Para Pepe (2011), o difratograma do amido nativo de araruta apresentou um pico bem suave, por volta de 5,6°, picos em 17°, 18° e em 23°, indicando que estes amidos apresentavam um padrão cristalino do tipo C e índice de cristalinidade de 36,8%, o que também foi observado por Jyothi, Sajeev e Sreekumar (2010).

No trabalho de Salgado et al. (2005) constata-se a influência do estágio de maturação, tendo o amido do feijão verde apresentado padrão C e o feijão maduro, tipo A, apresentando diferenças quanto à organização tridimensional das estruturas, podendo estar relacionadas ao tamanho da cadeia de amilopectina (FREITAS, 2002). Portanto, a maturação avançada das ararutas estudadas pode ter alterado sua estrutura cristalina.

A cristalinidade tipo C é, segundo Annision e Topping (1994) e Freitas (2002), atribuída à amilopectina formada pela associação das longas cadeias de polissacarídeos do grânulo de amido, por meio de ligações de hidrogênio.

4.8 Termogravimetria e análise térmica diferencial

A termogravimetria (TG/DTG) é utilizada para auxiliar os estudos de degradação térmica do material amiláceo, ao passo que é importante para que o material, quando destinado a qualquer aplicação, não seja utilizado em condições de aquecimento em que ocorra a degradação ou qualquer alteração indesejável nas suas propriedades. Assim, conhecer a temperatura e os parâmetros de degradação do material amiláceo é essencial em sua aplicação (CORDEIRO, 2013).

Curvas TG podem ser classificadas em isotérmicas, quase isotérmicas e dinâmicas. Na TG isotérmica, a massa da amostra é registrada como função do tempo, a uma temperatura constante. Na TG quase isotérmica, a amostra é aquecida até massa constante e, na TG dinâmica, há um acompanhamento das variações de massa que aconteceram na amostra em função da temperatura, quando esta é submetida a um aquecimento ou resfriamento linear (CARVALHO FILHO, 2000).

Quando o amido é submetido a temperaturas altas, ocorre uma série de modificações irreversíveis, com alteração estrutural do polímero e formação de produtos solúveis em água, como pirodextrinas. Em temperaturas mais elevadas, a decomposição das macromoléculas conduz à formação de levoglucosanas, furfural e, finalmente, produtos voláteis de menor massa molar (produtos do carbono) (AGGARWAL; DOLLIMORE, 1998) e, quando a temperatura ultrapassa os 300 °C, ocorre a decomposição do amido. Nas Figuras 10 e 11

mostram-se as curvas de TG/DTG/DTA do material amiláceo das ararutas redonda e seta.

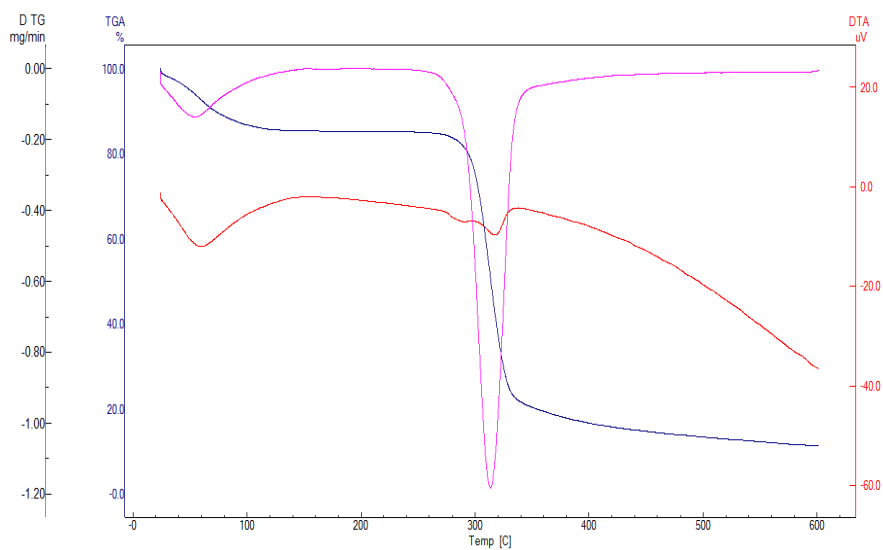


Figura 10 Curvas TG/DTG/DTA do amido de araruta redonda

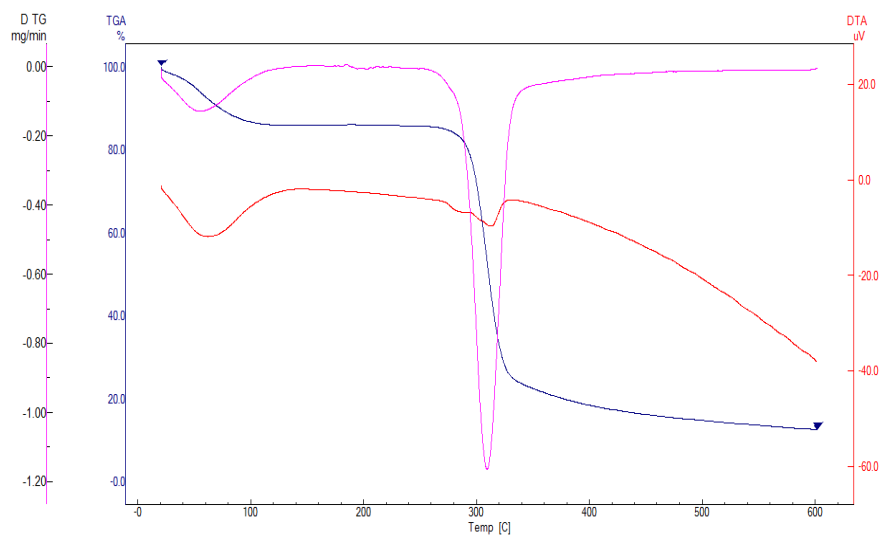


Figura 11 Curvas TG/DTG/DTA do amido de araruta seta

Na amostra de amido de araruta redonda (Figura 10) foram observados dois eventos térmicos de perda de massa. O primeiro, que corresponde a uma perda de massa de 14%, foi atribuído à evaporação de voláteis (majoritariamente a água absorvida pelo material amiláceo) e ocorreu entre, aproximadamente, 24°C e 112 °C. Já o segundo evento está relacionado à etapa de degradação térmica dos constituintes majoritários do amido e minoritários, como proteínas e lipídios, com temperatura de início de degradação (T_{onset}) de 299 °C e final (T_{endset}) de 326 °C, com perda de massa de 49%.

Para a amostra de amido de araruta seta (Figura 11), os dois eventos térmicos também foram observados. O primeiro, de perda de massa de 13%, ocorreu entre 21 °C e 107 °C, enquanto no segundo evento térmico houve perda de massa de 52%, T_{onset} de 293 °C e T_{endset} de 326 °C. Os resultados foram semelhantes entre as duas amostras.

De acordo com Aggarwall e Dollimore (1998), as fontes amiláceas têm resistividade térmica até, aproximadamente, 300 °C, resultado que foi confirmado pelo presente estudo.

A partir da obtenção da curva derivada do termograma (DTG) foi possível determinar as temperaturas nas quais a velocidade de degradação é máxima para cada uma das amostras nos dois eventos de perda de massa, a saber, 53,12 °C é quando ocorre a máxima perda de voláteis e 313,51 °C é quando ocorre a máxima degradação do amido para o amido de araruta redonda e 55,02 °C e 309,41 °C, respectivamente, para o amido de araruta Seta.

Para Guinesi et al. (2006), as curvas TG e DTG para amido de batata apresentaram primeira perda de massa entre 25 °C e 174 °C e uma segunda perda de massa entre 304 °C e 361 °C, de 56%. Cordeiro (2013), com amido extraído a partir das amêndoas dos caroços de manga, encontrou também dois eventos térmicos, sendo o primeiro deles de perda de 11% de massa, entre 44,2 °C e 92,3 °C, enquanto o segundo evento ocorreu com T_{onset} de 294,9 °C. Já o

amido de mandioca-salsa, no trabalho de Matsuguma (2006), apresentou três perdas de massa, sendo a primeira antes dos 150 °C e a segunda entre 299,08 °C e 311,18 °C.

Pela decomposição por DTA das duas amostras, verificou-se que, após os 250 °C há três eventos consecutivos, sendo o primeiro e o segundo endotérmicos e o terceiro, exotérmico. Quando a variação de temperatura da referência T_r e a da amostra T_a ($T_r - T_a = \Delta T$) torna-se mais intensa, as decomposições são visualizadas por eventos cada vez mais exotérmicos nas curvas DTA. Simultaneamente, a curva TG apresenta um desvio, sendo projetada para a direita no eixo da abscissa (temperatura) (LACERDA, 2006).

A partir da análise termogravimétrica é possível determinar o teor de substâncias inorgânicas nas amostras (ARAÚJO et al., 2006). Contudo, a análise realizada sob atmosfera controlada de N₂ não forneceu dados compatíveis com os valores de teor de cinzas obtidos na composição química (Tabela 1), já que as impurezas presentes ficam como resíduo após volatilização da amostra e se decompõem de maneira diferente em atmosfera de ar ou nitrogênio (BERNAL et al., 2002). Para a araruta redonda, esse valor foi de 11%, enquanto para a araruta seta foi de 12,29%, diferença que já era esperada, devido ao fato de o conteúdo de cinzas na araruta seta ser maior que na redonda.

4.9 Calorimetria exploratória diferencial

As propriedades térmicas de gelatinização e os perfis endotérmicos dos amidos são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 Propriedades térmicas de gelatinização de amidos de araruta redonda e araruta seta

Amido	Gelatinização				
	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔT (°C)	ΔH (J/g)
Araruta redonda	45,87	57,61	61,37	15,50	12,56
Araruta seta	46,83	55,39	62,10	15,27	15,73

*T_o, T_p, T_c = temperatura inicial ou *onset*, de pico e final ou de conclusão, respectivamente; ΔT = variação da temperatura; ΔH = variação de entalpia

Para a araruta redonda, a temperatura inicial de gelatinização foi de 45,87 °C, a de pico foi de 57,61 °C e a de conclusão foi de 61,37 °C, com variação de 15,50 °C e variação de entalpia de 12,56 J/g. Valores próximos a esses foram observados na araruta seta, que apresentou temperatura inicial de 46,83 °C, temperatura de pico de 55,39 °C e de conclusão de 62,10 °C, com variação de 15,27 °C e variação de entalpia de 15,73 J/g. De acordo com as propriedades de pasta (Tabela 2), a temperatura de pico do amido da araruta redonda foi maior que a da araruta seta, assim como as temperaturas iniciais de pasta.

Os valores das temperaturas de início, de pico e final da gelatinização ficaram bem abaixo das temperaturas encontradas na literatura. No trabalho de Pepe (2011) foram encontradas temperatura inicial de 62,4 °C e temperatura de conclusão de 76,2 °C. Já no trabalho Hernández-Medina et al. (2008), a temperatura inicial foi de 62,2 °C e a de conclusão de 89,2 °C. Já os valores de entalpia foram mais próximos, tendo sido encontrado por Pepe (2011) 15,3 e por Hernández-Medina et al. (2008), 12,5 J/g, para amidos de araruta.

As temperaturas de início e de pico encontradas neste trabalho foram semelhantes às encontradas por Bicudo (2008), para amido de mandioca-salsa (T_o de 47,9 °C e T_p de 58,43 °C) e de amido de pinhão (T_o de 46,1 °C e T_p

de 50,8 °C). Já amidos de banana, maçã, batata, batata-doce, mandioca, milho, milho-ceroso, castanha, feijão e lentilha apresentaram temperaturas maiores.

As temperaturas iniciais de gelatinização das amostras dos dois amidos, obtidas pelo DSC, foram menores que as apresentadas pelo RVA (Tabela 1), pois, segundo Jane et al. (1999) e Pérez, Breene e Bahnassey (1998), a temperatura de pasta obtida do RVA está relacionada à sensibilidade do aparelho em detectar os primeiros acréscimos na viscosidade de pasta dos amidos, diferente da temperatura inicial de gelatinização, que é detectada quando os primeiros grânulos começam a se desorganizar. Os valores obtidos no DSC são, portanto, mais precisos, enquanto os obtidos em RVA correspondem a uma faixa de temperatura. Outro fato que é importante é que a análise do RVA se iniciou à temperatura de 50 °C, que é maior que as T_0 encontradas pelo DSC.

As condições nas quais as análises térmicas são realizadas podem influenciar diretamente os resultados obtidos e podem promover modificações as curvas TG, DTA e DSC, tendo origem instrumental ou operacional. Podem ser eles: razão de aquecimento; natureza do suporte de amostras; profundidade dos raios do orifício de suporte no qual é colocada a amostra; localização, natureza e dimensões dos termopares diferenciais; equipamentos diferentes; calibração do equipamento; natureza da substância inerte utilizada como referência; compactação da amostra; utilização de tampa sobre cadinho e influência da atmosfera do forno (IONASHIRO, 2005; WENDLANDT, 1986).

O tamanho dos grânulos também pode influenciar as temperaturas de gelatinização (T_0 e T_p) e grânulos menores proporcionam maiores temperaturas de gelatinização (inicial, de pico e final), o que pode ter ocorrido neste trabalho, uma vez que os grânulos de 30 μm são predominantes. As temperaturas de gelatinização e entalpia são alteradas pela forma e a composição do grânulo (zonas cristalinas e amorfas), distribuição de pequenos e grandes grânulos, e pelas fontes dos amidos que podem conter quantidades diferenciadas de amilose,

amilopectina e fósforo (YONEMOTO; CALORI-DOMINGUES; FRANCO, 2008).

Alguns autores buscam esclarecer o que ocorre durante o aquecimento das dispersões de amido segundo a proporção de amilose/amilopectina. A amilopectina tem papel principal na cristalinidade dos grânulos de amido. Altas temperaturas de transição têm sido relatadas como resultados do alto grau de cristalinidade, que fornece estabilidade estrutural aos grânulos e maior resistência à gelatinização. Assim, a presença de amilose abaixa o ponto de fusão das regiões cristalinas e a energia para iniciar a gelatinização, pois as longas cadeias de amilopectina requerem maior temperatura para dissociar completamente do que aquela requerida para cadeias mais curtas das duplas hélices. Esta correlação indica que o amido com alto conteúdo de amilose tem maior região amorfa e perde região de cristalinidade à menor temperatura de gelatinização (SINGH et al., 2003).

O teor de fósforo encontrado nos amidos poderia ter provocado a redução das temperaturas de gelatinização, a exemplo do que aconteceu com o amido de batata nos estudos realizados por Blennow et al. (2000). De acordo com estes autores, a maior parte dos grupos monoéster fosfato no amido de batata está localizada em regiões amorfas do grânulo, tendo grande influência nas propriedades de inchamento do amido. Além disso, amidos com altas proporções de cadeias curtas, menores comprimentos médios de cadeias e poucas cadeias longas B mostram menores temperaturas de gelatinização (JANE et al., 1999).

De acordo com Noda, Takahata e Nagata (1992), o ΔH pode ser correlacionado com a cristalinidade da amilopectina e com a força com que as duplas hélices formadas por suas cadeias estão associadas com o grânulo do amido. Assim, quanto maior esse valor, maior será a força necessária para o rompimento da estrutura dos grânulos, resultando em gelatinização. Portanto, o

amido de araruta redonda tem forças mais fracas que as de araruta Seta (Tabela 6).

Ao mesmo tempo, o ΔT indica o grau de heterogeneidade dos cristais dentro dos grânulos (COOKE; GIDLEY, 1992), sugerindo a presença de cristais com estabilidade diferenciada dentro da zona cristalina que são rompidos em diferentes temperaturas, o qual foi relativamente alto para os amidos de araruta estudados (Tabela 6).

As curvas de DSC dos dois amidos apresentaram uma segunda depressão, entre, aproximadamente, 64 °C e 100 °C. Donovan (1979) observou três endotermas durante a gelatinização a baixas concentrações de água, e duas dessas endotermas mostraram estar diretamente relacionadas à ruptura das regiões cristalinas do amido, enquanto a terceira ocorre devido à fusão de complexos amilose-lipídio. Donovan (1979) sugeriu, ainda, que picos múltiplos ocorrem em sistemas com baixa quantidade de água, nos quais uma porção de cristais funde a temperaturas mais baixas, absorvendo mais água, ao passo que a temperatura de fusão de cristais não fundidos ocorre em valores mais altos, à medida que a quantidade de água diminui ou, ainda, está relacionada a fatores genéticos e condições ambientais que afetam as temperaturas de gelatinização e entalpia. Colheitas provenientes de estações secas, como no caso das ararutas estudadas, causam o aparecimento de picos múltiplos nas temperaturas de gelatinização.

4.10 Claridade de pasta

O percentual de transmitância está diretamente ligado à claridade da pasta do amido; se a luz passa através de uma solução sem haver absorção, a absorbância é zero e a transmitância é 100%; já quando toda a luz é absorvida, a

transmitância é zero e a absorvância é infinita. Portanto, quanto maior a transmitância, maior a claridade de pasta (menor turbidez) (MENDES, 2011).

Apesar de os valores de transmitância obtidos para cada amido diferirem entre si estatisticamente (6,99% para araruta Redonda e 3,92% para araruta Seta), as duas amostras se mostraram menos transparentes e, portanto, têm maior propensão a retrogradar. Para Hernandez-Medina et al. (2008), o amido de araruta apresentou 13,57% de transmitância; Almeida (2012) encontrou 7% de transmitância para amido de taro; no amido de semente de abacate estudado por Silva et al. (2013) foram encontrados 2,20%, enquanto no amido de fruta-pão, Sá (2007) encontrou 13,90%.

A avaliação da transparência da pasta de amido de mandioquinha-salsa, feita por Leonel e Sarmiento (2008), medida pela transmitância, foi de 54,7%. Este valor é inferior aos valores obtidos por Craig et al. (1989), em condições similares, para amido de batata (96%), de mandioca (73%) e de trigo (62%), mas superior ao de milho (41%). São todos valores bem mais altos que os encontrados para os amidos de araruta.

Singh et al. (2007) verificaram, em diferentes variedades de arroz, que a transmitância da claridade da pasta variou entre 1,5% e 33,2%. Estes autores relataram que as pastas de amidos podem ser menos translúcidas, por causa da presença de lipídeos complexados à amilose e resquícios de grânulos de amidos intumescidos. Abera e Rakshit (2003) relataram, ainda, que fatores como a presença de fibras, lipídeos e pigmentos pode diminuir a transparência das pastas de amido.

A claridade da pasta pode ser influenciada por muitos fatores, como concentração, pH, extensão e tipo de modificação (CIACCO; CRUZ, 1982; HOOVER, 2001; MATSUGUMA, 2006). De acordo com Craig et al. (1989), a pasta opaca apresenta estrutura granular mais organizada, com maior associação entre as cadeias, o que dificulta a passagem de luz. Amidos com maior teor de

amilose e com alta tendência à retrogradação apresentam géis opacos e mais firmes (MATSUGUMA, 2006; SILVA; ASSUMPCÃO; VEGRO, 2000). Almeida (2012), Singh, Kaur e Singh (2004) e Takizawa et al. (2004) constataram relação entre a claridade de pasta e a solubilidade, tendo amidos mais solúveis apresentado maior transparência, o que pode ser comprovado pelos resultados obtidos com os amidos estudados. O amido da araruta redonda apresentou menor tendência a retrogradar, pasta mais clara e máxima solubilidade a partir de 60 °C, enquanto o amido da araruta seta apresentou maior retrogradação, pasta mais opaca e máxima solubilidade a partir de 70 °C.

Segundo Craig et al. (1989), a claridade da pasta e a tendência à retrogradação influenciam a qualidade tecnológica do amido. Amidos utilizados como espessante em recheios de tortas, na cobertura de alimentos ou como filmes comestíveis devem ser preferencialmente transparentes, enquanto amidos usados em molhos para saladas e na confecção de pudins e sobremesas prontas devem ser opacos, como as pastas dos amidos aqui analisados.

6 CONCLUSÃO

Os amidos extraídos das ararutas tipo redonda e tipo seta apresentam algumas diferenças entre si, porém, nota-se que têm comportamentos semelhantes em relação às análises realizadas neste estudo.

De acordo com as relativamente baixas temperaturas de pasta, altas viscosidades, baixas estabilidades a temperaturas altas e agitação, e alta retrogradação, grânulos predominantemente grandes e boa capacidade de absorção de água e de óleo, os amidos de araruta redonda e seta têm potencial para aplicação em produtos de panificação, além da indústria de filmes plásticos biodegradáveis, alimentos instantâneos, cereais matinais fortificados, alimentos infantis, produtos cárneos e produção de *snacks*.

A solubilidade máxima a partir dos 60 °C, para a araruta redonda e a partir dos 70 °C, para a araruta seta, sugere utilização em farinhas pré-gelatinizadas, e sua menor claridade de pasta, principalmente da araruta seta, é ideal para molhos de salada, pudins e sobremesas prontas.

REFERÊNCIAS

- ABERA, S.; RAKSHIT, K. S. Comparison of physicochemical and functional properties of cassava starches. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 55, n. 7, p. 287-296, July 2003.
- AGGARWAL, P.; DOLLIMORE, D. A thermal analysis investigation of partially hydrolyzed starch. **Thermochimica Acta**, Amsterdam, v. 447, p. 17-25, 1998.
- ALBUQUERQUE, F. S. M. **Estudo das características estruturais e das propriedades funcionais do amido de semente de jaca (*Artocarpus Heterophyllus Lam*) variedades “mole” e “dura”**. 2011. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.
- ALBUQUERQUE, M.; PINHEIRO, E. **Tuberosas feculentas**. Belém: IPEAN, 1970. 115 p. (Fitotecnia, 1).
- ALMEIDA, E. C. **Amido modificado de taro (*Colocasia esculenta L. Schott*): propriedades funcionais**. 2012. 144 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.
- ALTAY, F.; GUNASEKARAN, S. Influence of drying temperature, water content, and heating rate on gelatinization of corn starches. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 54, n. 12, p. 4235-4245, May 2006.
- ALVES, J. S. **Elaboração e caracterização de filmes finos de amido de milho e parafina**. 2009. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- AMANTE, E. R. **Caracterização de amidos de variedades de mandioca (*Manihot esculenta, Crantz*) e de Batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. 1986. 109 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1986.
- AMARAL, J. E. et al. Caracterização do amido de araruta (*Maranta arundinacea*) quanto às propriedades de pastas. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20.; MOSTRA CIENTÍFICA, 3., 2011, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPel, 2011. 1 CD-ROM.

AMIDOS: fontes, estruturas e propriedades funcionais. **Aditivos & Ingredientes**, São Paulo, n. 63, p. 26-37, jul./ago. 2009.

ANNISON, G.; TOPPING, D. L. Nutritional role of resistant starch: chemical, structure vs physiological function. **Annual Review of Nutrition**, Palo Alto, v. 14, p. 297-320, 1994.

ARAÚJO, A. A. S. et al. Determination of humidity and ash content of guarana commercial samples using conventional method and thermal analysis. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Science**, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 269-277, Apr./May 2006.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 18th ed. Washington, 2010. 1094 p.

ATWELL, W. A. et al. The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. **Cereal Foods World**, Minneapolis, v. 33, p. 306-311, 1988.

BAHNASSEY, Y. A.; BREENE, W. Rapid Visco-Analyzer (RVA) pasting profiles of wheat, corn, waxy corn, tapioca and amaranth starches in the presence of konjac flour, gellan, guar, xanthan and locust bean gums. **Starch**, Weinheim, v. 4, p. 134-141, 1994.

BALAGOPALAN, C. et al. Properties of cassava starch. In: _____. **Cassava in food, feed and industry**. Boca Raton: CRC Press, 1988. p. 116-126.

BELLO-PEREZ, L. A. et al. Isolation and characterization of starch from seeds of *Araucaria brasiliensis*: a novel starch for application in food industry. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 58, n. 6, p. 283-291, June 2006.

BENINCA, C. **Emprego de técnicas termoanalíticas na análise de amidos nativos e quimicamente modificados de diferentes fontes botânicas**. 2008. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

BERNAL, C. et al. Influência de alguns parâmetros experimentais nos resultados de análises calorimétricas diferenciais - DSC. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 5, p. 849-855, set. 2002.

BERVALD, C. M. P. et al. Variação do teor de carboidratos em genótipos de batata armazenados em diferentes temperaturas. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 477-483, 2010.

BEUCHAT, L. R. Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour proteins. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 25, n. 2, p. 258-261, Mar. 1977.

BICUDO, S. C. W. **Caracterização de amidos nativos de diferentes fontes botânicas através de técnicas termoanalíticas e teor de amilose**. 2008. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

BJÖRCK, I. et al. Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 59, p. 699S-705S, 1994. Supplement.

BLANSHARD, J. M. V. Starch granule structure and function: a physicochemical approach. In: GALLIARD, T. (Ed.). **Starch: properties and potential**. New York: J. Wiley, 1987. p. 16-54.

BLENNOW, A. et al. The distribution of covalently bound phosphate in the starch granule in relation to starch crystallinity. **International Journal of Biological Macromolecules**, Maryland Heights, v. 27, n. 3, p. 211-218, 2000.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. São Paulo: Varela, 1992. 151 p.

BRASIL. Decreto nº 12.486, de 20 de outubro de 1978. Normas técnicas especiais relativas a alimentos e bebidas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 21 out. 1978. Seção 1, p. 20.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Manual de hortaliças não convencionais**. Brasília, 2010. 92 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Aprova o Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 23 set. 2005. Seção 1, p. 6.

BULÈON, A. et al. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 23, p. 85-112, 1998.

CARMONA-GARCIA, R. et al. Dual modification of banana starch: partial characterization. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 61, n. 11, p. 656-664, Oct. 2009.

CARVALHO, R. V. de; ASCHERI, J. L. R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de Pellets (3G) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 1006-1018, set./out. 2002.

CARVALHO FILHO, M. A. S. **Preparação e estudo termoanalítico dos cinamatos de terras raras, exceto (escândio), no estado sólido**. 2000. 145 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2000.

CEREDA, M. P. Valorização de resíduos como forma de reduzir custos de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 1996, Águas de São Pedro. **Anais...** Botucatu: CERAT, 1996. v. 1. 1 CD-ROM.

CEREDA, M. P. et al. **Propriedades gerais do amido**. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. 204 p. (Série Culturas de Tubérculos Amiláceas Latino Americanas, 1).

CEREDA, M. P.; NUNES, O. L. G.; VILPOUX, O. **Tecnologia da produção de polvilho azedo**. Botucatu: CERAT, 1995. 27 p.

CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. O amido com aplicação em produtos para alimentação saudável. In: _____. **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas sul americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v. 3, cap. 14, p. 355-376.

CIACCO, C. F.; CRUZ, R. **Fabricação de amido e sua utilização**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. 152 p. (Série Tecnologia Agroindustrial, 7).

CLEMENTE GRANADOS, C. et al. Propiedades funcionales del almidon de sagu (*Maranta arundinacea*). **Colombia Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, Cauca, v. 12, n. 2, p. 90-96, jul./dic. 2014.

COELHO, I. da S. et al. **Como plantar e usar a araruta**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica; Seropédica: EMBRAPA Agrobiologia, 2005. 55 p.

COLLONA, P. et al. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch: I., physical and macromolecular modifications. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 61, n. 6, p. 538-543, 1984.

COLLONA, P.; LELOUP, V.; BULÉON, A. Limiting factors of starch hydrolysis. **European Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 46, p. 17-32, 1992.

CONTADO, E. W. N. da F. **Obtenção, caracterização e utilização dos frutanos de tubérculos do yacon (*Smilax tuberosa*)**. 2009. 144 p. Tese (Doutorado em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

COOKE, D.; GIDLEY, M. J. Loss of crystallinity and molecular order during starch gelatinization: origin of the enthalpic transition. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, n. 227, p. 103-112, 1992.

COPELAND, L. et al. Form and functionality of starch. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 23, n. 6, p. 1527-1534, Aug. 2009.

CORDEIRO, E. M. S. **Biocompósitos poliméricos obtidos a partir da fração lignocelulósica e amilácea do caroço de manga (*Mangifera indica*)**, Tommy Atkins. 2013. 136 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

COSTA, R. A. S. **Efeito da adição de hidrocolóides (goma guar e xantana) nas propriedades de textura e sinérese de géis de amido de araruta**. 2015. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2015.

CRAIG, S. S. S. et al. Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados do milho com diferentes teores de amilose. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 15, n. 4, p. 268-273, 2005.

CRAIG, S. A. S. et al. Starch paste clarity. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 66, n. 3, p. 173-182, 1989.

CRUZ-OREA, A. et al. Phase transitions in the starch-water system studied by adiabatic scanning calorimetry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, n. 6, p. 1335-1344, Mar. 2002.

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. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

DAIUTO, E. R.; CEREDA, M. P. Amido como suporte na desidratação por atomização e em microencapsulamento. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. (Coord.). **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas sul americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. p. 449-475.

DANTAS, R. L. et al. Extração e caracterização de amido de inhame. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 65., 2013, Recife. **Anais...** Recife: SBPC, 2013. 1 CD-ROM.

DEEPIKA, V.; JAYARAM KUMAR, K.; ANIMA, P. Isolation and partial characterization of delayed releasing starches of Colocasia species from Jharkhand, India. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 96, n. 1, p. 253-258, 2013.

DEFLOOR, I.; DEHING, I.; DELCOUR, J. A. Physicochemical properties of cassava. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 50, n. 2/3, p. 58-64, 1998.

DINIZ, I. P. **Caracterização tecnológica do polvilho azedo produzido em diferentes regiões do estado de Minas Gerais**. 2006. 103 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

DONOVAN, J. W. Phase transitions of the starch-water system. **Biopolymers**, New York, v. 18, n. 2, p. 263-275, Feb. 1979.

ELFSTRAND, L. et al. Recrystallisation behaviour of native and processed waxy maize starch in relation to the molecular characteristics. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 57, n. 4, p. 389-400, Sept. 2004.

ELIASSON, A. C. **Carbohydrates in food**. New York: M. Dekker, 1996. 664 p.

ELIASSON, A. C. **Starch in food: structure, function and applications**. Boca Raton: CRC, 2004. 605 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação, 2006. 306 p.

ERDMAN, M. D. Starch from arrowroot (*Maranta arundinacea*) grown at Titon, Georgia. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 63, p. 277-279, 1986.

FAKIROV, et al. Mechanical properties and transition temperatures of crosslinked-oriented gelatin. **Colloid & Polymer Science**, Darmstadt, v. 275, n. 4, p. 307-314, Apr. 1997.

FELTRAN, J. C.; LEMOS, L. B.; VIEITES, R. L. Technological quality and utilization of potato tubers. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 6, p. 598-603, Dec. 2004.

FENNEMA, O. **Química de los Alimentos**. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 2000. 1258 p.

FERNANDES, A. M. et al. Qualidade físico-química e de fritura de tubérculos de cultivares de batata na safra de inverno. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 299-304, jul./set. 2010.

FERNANDES, M. S. et al. Efeito da temperatura de extrusão na absorção de água, solubilidade e dispersibilidade da farinha pré-cozida de milho-soja (70:30). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 234-239, maio/ago. 2003.

FERRARI, T. B.; LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S. Características dos rizomas e do amido de araruta (*Maranta arundinacea*) em diferentes estádios de desenvolvimento da planta. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 93-98, abr./jun. 2005.

FERREIRA, D. F. **Programa computacional Sisvar**. Versão 5.3. Lavras: UFLA, 2010.

FRANCO, C. M. L. et al. **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, 2001. 224 p.

FRANCO, C. M. L. et al. Structural and functional characteristics of selected soft wheat starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 79, n. 2, p. 243-248, 2002.

FREITAS, M. C. J. Amido resistente: propriedades funcionais. **Nutrição Brasil**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 40-49, maio/jun. 2002.

GARCIA, E. L. **Composição dos tubérculos, extração e caracterização de amidos de diferentes cultivares de batata**. 2013. 93 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

GONZÁLEZ, R. J. et al. Evaluación de almidón de maíz precocido por extrusión-cocción. **Revista Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, Valência, v. 26, n. 4, p. 552-564, 1986.

GUILLON, F.; CHAMP, M. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. **Food Research International**, Barking, v. 33, p. 233-245, 2000.

GUINESI, L. S. et al. Kinetics of thermal degradation applied to starches from different botanical origins by non-isothermal procedures. **Thermochimica Acta**, Amsterdam, v. 447, n. 2, p. 190-196, Aug. 2006.

HASHIM, D. B. The effect of low levels of antioxidants on the swelling and solubility of cassava starch. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 44, n. 3, p. 471-475, 1992.

HERNANDEZ-MEDINA, M. et al. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 718-726, 2008.

HINRICHS, R.; GOTZ, J.; WEISSER, H. Water-holding capacity and structure of hydrocolloid-gels, WPC-gels and yogurts characterized by means NMR. **Food Chemistry**, London, v. 82, n. 1, p. 155-160, July 2003.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 45, n. 3, p. 253-267, 2001.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo, 2008. 1020 p.

IONASHIRO, M. **Fundamentos de termogravimetria e análise térmica diferencial / calorimetria exploratória diferencial**. São Paulo: Giz, 2005. 80 p.

JACOBS, H.; DELCOUR, J. A. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 46, n. 8, p. 2895-2905, 1998.

JANE, J. et al. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 76, n. 5, p. 629-637, 1999.

JAYAKODY, J. A. L. P. **The effect of acid hydrolysis on granular morphology and physicochemical properties of native cereal starch granules.** 2001. 141 p. Thesis (Master of Science) - Memorial University of Newfoundland, Newfoundland, 2001.

JAYAKODY, L. et al. Studies on tuber starches: II., molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea sp.*) starches grown in Sri Lanka. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 69, n. 1, p. 148-163, 2007.

JYOTHI, A. N.; SAJEEV, M. S.; SREEKUMAR, J. N. Hydrothermal modifications of tropical tuber starches: 1., effect of heat-moisture treatment on the physicochemical, rheological and gelatinization characteristics. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 62, n. 1, p. 28-40, Jan. 2010.

KAMER, J. H. van de; GINKEL, L. van. Rapid determination of crude fiber in cereals. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 29, n. 4, p. 239-251, Apr. 1952.

KAMP, J. W. van der et al. Biotechnology as tool for modification of starch composition and starch granule size in cereal crops. In: DOREN, H. A. van; SWAAIJ, A. C. P. M. van (Ed.). **Starch 96: the book.** The Hague: Carbohydrate Research Foundation, 1997. p. 89-96.

KAUR, A. et al. Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. **Food Chemistry**, London, v. 101, n. 2, p. 643-651, Jan. 2006.

KAUR, A. et al. Properties of starches separated from potatoes stored under different conditions. **Food Chemistry**, London, v. 114, n. 4, p. 1396-1404, June 2009.

KAUR, L. K.; SINGH, N.; SODHI, N. S. Some properties of potatoes and their starches II: morphological, thermal and rheological properties of starches. **Food Chemistry**, London, v. 79, n. 2, p. 183-192, 2002.

KINSELLA, J. E. Milk protein physicochemical and functional properties. **Critical Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 21, n. 3, p. 197-203, 1984.

KINUPP, V. F.; LORENZI, H. Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) no Brasil. In: _____. **Guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014. p. 506-507.

KISLENKO, V.; OLIYNYK, L. GOLACHOWSKI, A. The modelo of the rheological behavior of gelatinized starch at low concentrations. **Journal of Colloid and Interface Science**, New York, v. 294, n. 1, p. 79-86, Feb. 2006.

KIZIL, R.; IRUDAYARAJ, J.; SEETHARAMAN, K. Characterization of irradiated starches by using FT-Raman and FTIR spectroscopy. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, n. 14, p. 3912-3918, 2002.

KROGARS, K. **Aqueous-based amylose-rich maize starch solution and dispersion: a study on free films and coatings**. 2003. 46 f. Dissertation (Master in Science) - Faculty of Science, University of Helsinki, Helsinki, 2003.

KUAKPETOON, D.; WANG, Y. J. Characterization of different starches oxidized by hypochlorite. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 53, n. 5, p. 211-218, May 2001.

LACERDA, L. G. **Uso de técnicas termoanalíticas na caracterização da hidrólise enzimática parcial de amidos de matérias-primas tropicais**. 2006. 81 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2006.

LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos em alimentos regionais Iberoamericanos**. São Paulo: USP, 2006. 648 p.

LAWAL, O. S. Composition, physicochemical properties and retrogradation characteristics of native, oxidized, acetylated and acidthinned new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) starch. **Food Chemistry**, London, v. 87, n. 2, p. 205-218, Sept. 2004.

LEACH, H. W.; MCCOWEN, L. D.; SCHOCH, T. J. Structure of the starch granule: I., swelling and solubility patterns of various starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 36, n. 6, p. 534-544, 1959.

LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 579-588, jul./set. 2007.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Food Science Technology**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 65-69, 2002.

LEONEL, M. et al. Extração e caracterização de amido de jacatupé (*Pachyrhizus ahipa*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 362-365, set./dez. 2003.

LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S. Características dos rizomas e amido de araruta (*Maranta arundinacea*) em diferentes estágios de desenvolvimento da planta. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 93-98, Apr./June 2004.

LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S. Isolamento e caracterização do amido de mandioca salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 1-13, 2008.

LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; CEREDA, M. P. Processamento da araruta (*Maranta arundinacea*) para extração e caracterização da fração amilácea. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 93, n. 5, p. 151-155, abr. 2002.

LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; FERRARI, T. B. Aproveitamento do gengibre (*Zingiber officinale*) de qualidade inferior como matéria-prima amilácea. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, São Paulo, v. 1, n. 6, p. 9-18, 2005.

LIM, S. T.; KASEMSUWAN, T.; JANE, J. L. Characterization of phosphorus in starch by ³¹P nuclear magnetic spectroscopy. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 71, p. 468-472, 1994.

LIMA, B. N. B. et al. Estudo do amido de farinhas comerciais comestíveis. **Polímeros**, São Carlos, v. 22, n. 5, p. 486-490, 2012.

LIMA, F. F.; ANDRADE, C. T. Effect of melt-processing and ultrasonic treatment on physical properties of high-amylose maize starch. **Ultrasonics Sonochemistry**, Oxford, v. 17, n. 4, p. 637, Apr. 2010.

LIMA, R. R. O.; SILVA JÚNIOR, N. P.; SÁ, F. M. P. Propriedades funcionais do amido do feijão andu (*Cajanus cajan* L.) nativo e modificado por acetilação. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, Ariquemes, v. 5, n. 1, p. 113-126, jan./jun. 2014.

LOBO, A. R.; SILVA, G. M. de L. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 219-226, abr./jun. 2003.

MACGREGOR, A. W.; FINCHER, G. B. Carbohydrates of the barley grain. In: MACGREGOR, A. W.; BHATTY, R. S. (Ed.). **Barley: chemistry and technology**. Saint Paul: AACC, 1993. p. 73-128.

MADSEN, M. H.; CHRISTENSEN, D. H. Changes in viscosity properties of potato starch during growth. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 48, n. 7/8, p. 245-249, 1996.

MAIA, L. H. et al. Viscosidade de pasta, absorção de água e índice de solubilidade em água dos mingaus desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 391-396, 1999.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1989. 201 p.

MARCON, M. J. A. **Proposta para o mecanismo de expansão do polvilho azedo com base nas características físico-químicas**. 2009. 190 p. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

MARCON, M. J. A.; AVANCINI, S. R. P.; AMANTE, E. R. **Propriedades químicas e tecnológicas do amido de mandioca e do polvilho azedo**. Florianópolis: UFSC, 2007. 101 p.

MATSUGUMA, L. S. **Caracterização do amido de mandiõquinha salsa (*Arracacia xanthorrhiza*) nativo e modificado por oxidação**. 2006. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2006.

MCPHERSON, A. E.; JANE, J. Comparison of waxy potato with other root and tuber starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 40, n. 1, p. 57-70, 1999.

MEDINA, C. et al. Evaluación de dos métodos de extracción de almidón a partir de cotiledones de mango. **Bioagro**, Barquisimeto, v. 22, n. 1, p. 67-74, 2010.

MENDES, F. M. **Produção e caracterização de bioplásticos a partir de amido de batata**. 2009. 198 p. Dissertação (Mestrado em Química - Físico-Química) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MENDES, M. L. M. **Caracterização para fins industriais dos amidos nativo e modificados extraídos de amêndoas de sementes de manga, variedade "Tommy Atkins"**. 2011. 131 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

MILES, M. J. et al. The role of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 135, p. 271-281, 1985.

MOORTHY, S. N. **Tuber crop starches**. 2nd ed. Thiruvananthapuram: Central Tuber Crops Research Institute, 2001. 52 p.

MORIKAWA, K.; NISHINARI, K. Effects of concentration dependence of retrogradation behaviour of dispersions for native and chemically modified potato starch. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 14, p. 395-401, 2000.

MORISSON, W. R.; LAIGNELET, B. An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other starches. **Journal of Cereal Science**, London, v. 1, n. 1, p. 9-20, Jan. 1983.

MOURA, W. S. **Extração e caracterização do amido do *Hedychium coronarium* e elaboração de filmes biodegradáveis**. 2008. 96 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Moleculares) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2008.

MUCCILLO, R. C. S. T. **Caracterização e avaliação de amido nativo e modificado de pinhão mediante provas funcionais e térmicas**. 2009. 156 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MWETA, D. E. **Physicochemical, functional and structural properties of native malawian cocoyam and sweetpotato starches**. 2009. 237 p. Thesis (Doctorate Degree in Chemistry/Plants Sciences) - University of the Free State, Bloemfontein, 2009.

NARDIN, I. Perfil de consumo de batatas em diferentes faixas etárias e de renda familiar. **Revista Batata Show**, Itapetininga, ano 9, n. 25, p. 32-33, dez. 2009.

NEVES, M. C. P.; COELHO, I. S.; ALMEIDA, D. L. **Araruta**: resgate de um cultivo tradicional. Seropédica: EMBRAPA, 2005. 4 p. (Comunicado Técnico, 79).

NODA, T. et al. Physicochemical properties and amylopectin structures of large, small, and extremely small potato starch granules. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 60, n. 2, p. 245-251, May 2005.

NODA, T. et al. Relationships between chain length distribution of amylopectin and gelatinization properties within the same botanical origin for sweet potato and buckwheat. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 37, n. 2, p. 153-158, 1998.

NODA, T.; TAKAHATA, Y.; NAGATA, T. Properties of sweet potato starches from different tissue zones. **Starch/Starke**, Weinheim, v. 44, n. 10, p. 365-368, 1992.

NOGUEIRA, T. Y. K.; PEREIRA, A. D.; FAKHOURI, F. M. Extração e caracterização do amido de araruta. In: ENCONTRO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 8., 2014, Dourados. **Anais...** Dourados: ENEPE-UFGD, 2014. p. 1-15.

ORTIZ, J. A. R. et al. Análise do perfil de cristalinidade e microestrutura de bioplásticos de amidos adicionados de vermiculita. In: WORKSHOP DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO, 7., 2013, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EMBRAPA Instrumentação, 2013. 1 CD-ROM.

OTTE, J. et al. Effect of partial hydrolysis with a differential scanning calorimetry of oat starch pastes. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 64, p. 394-399, 2000.

PARKER, R.; RING, S. G. Aspects of the physical chemistry of starch. **Journal of Cereal Science**, London, v. 34, n. 1, p. 1-17, July 2001.

PASCOAL, A. M. **Extração e caracterização do amido de lobeira (*Solanum lycocarpum*)**. 2014. 69 p. Tese (Doutorado em Biologia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

PEPE, L. S. **Impacto do tratamento térmico com baixa umidade sobre as características físico-químicas e reológicas de amidos de mandioca, araruta e mandioquinha-salsa**. 2011. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2011.

PEREIRA, A. S.; COSTA, D. M. Qualidade e estabilidade de “chips” de batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 15, n. 1, p. 62-65, 1997.

PEREIRA, L. B. **Caracterização de suspensões e géis de amido de amaranto: efeito da adição de sacarose e NaCl nas propriedades reológicas e térmicas**. 2004. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

PÉREZ, E. E.; BREENE, W. M.; BAHNASSEY, Y. A. Variations in the gelatinization profiles of cassava, sagu and arrowroot native starches as measured with different thermal and mechanical methods. **Starch/Starke**, Weinheim, v. 50, n. 2/3, p. 70-72, 1998.

PÉREZ, E. E.; LARES, M.; GONZÁLEZ, Z. Some characteristics of sagu (*Canna edulis*) and zulu (*Maranta sp*) rhizomes. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 45, p. 2546-2549, 1997.

PERONI, F. H. G. **Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas**. 2003. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2003.

PERONI, F. H. G.; ROCHA, T. S.; FRANCO, C. M. L. Some structural and physicochemical characteristics of tuber and root starches. **Food Science and Technology International**, London, v. 12, n. 6, p. 505-513, 2006.

PIO CORRÊA, M. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1984. v. 1, 747 p.

POMERANZ, Y. Research and development regarding enzyme-resistant starch (RS) in the USA: a review. **European Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 46, n. 2, p. S63-S68, 1992. Supplement.

- RAMÍREZ, M. G. L. **Desenvolvimentos de biocompósitos de amido termoplástico reforçados por fibra de coco verde**. 2011. 168 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- RATNAYAKE, W. S. et al. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of starches from four field pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. **Food Chemistry**, London, v. 74, n. 2, p. 189-202, 2001.
- RIBEIRO, A. P. L. **Efeito das modificações químicas (acidificação e oxidação) sobre as propriedades funcionais do amido de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz)**. 2006. 100 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.
- RIBEIRO, A. P. L. **Estudo dos amidos de mandioca nativo, modificados e modificados combinados por via química para utilização na indústria alimentícia**. 2011. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.
- RIBEIRO NETO, R. Raio-X. In: CANEVAROLO JUNIOR, S. V. (Ed.). **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artiber, 2003. p. 41-60.
- RILEY, C. K.; WHEATLEY, A. O.; ASEMOTA, H. N. Full length research paper. isolation and characterization of starches from eight *Dioscorea alata* cultivars grown in Jamaica. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 5, n. 17, p. 1528-1536, 2006.
- ROCHA, T. S.; DEMIATE, I. M.; FRANCO, C. M. L. Características estruturais e físico-químicas de amidos de mandioquinha salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 620-628, jul./set. 2008.
- ROSENTHAL, F. R. T. et al. Amido de mandioca: estudo de estrutura em variedades de Minas Gerais. **Revista Brasileira Tecnológica**, Brasília, v. 4, p. 7-17, 1973.
- SÁ, F. M. P. **Avaliação das propriedades funcionais e térmicas do amido da fruta-pão (*Artocarpus altilis*) nativo e modificado por succinilação e hidrólise ácida**. 2007. 51 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

SAIKIA, J. P.; KONWAR, B. K. Physicochemical properties of starch from aroids of North East India. **International Journal of Food Properties**, Philadelphia, v. 15, n. 6, p. 1247-1261, 2012.

SAJILATA, M. G.; SINGHAL, R. S.; KULKARNI, P. R. Resistant starch: a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Chicago, v. 5, n. 1, p. 1-16, Jan. 2006.

SALGADO, S. M. et al. Caracterização físico-química do grânulo do amido de feijão caupi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 525-530, jul./set. 2005.

SANDHU, K. S.; SINGH, N. Some properties of corn starches: II- physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. **Food Chemistry**, London, v. 101, n. 4, p. 1499-1507, Jan. 2007.

SANTHA, N. et al. Raman and infrared spectra of starch samples of wet potato and cassava. **Proceedings of the Indian Academic Sciences**, Bangalore, v. 102, n. 5, p. 705-712, 1990.

SANTOS, A. P. **Extração e caracterização do amido do fruto-do-lobo (*Solanum Lycocarpum St. Hil.*) e elaboração de filmes biodegradáveis**. 2009. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Moleculares) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2009.

SARRUGE, J. R.; HAGG, H. P. **Análise química de plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.

SCHIRMER, M. et al. Physicochemical and morphological characterization of different starches with variable amylose/amylopectin ratio. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 32, n. 1, p. 52-63, 2013.

SHI, Y. C. et al. Molecular structure of a low-amylopectin starch and other high-amylose maize starches. **Journal of Cereal Science**, London, v. 27, p. 289-299, 1998.

SHIRAI, M. A. et al. Características físico-químicas e utilização em alimentos de amidos modificados por tratamento oxidativo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 239-247, jun. 2007.

SILVA, E. M. R. da; NEVES, M. C. P. **Como plantar e usar a araruta**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica; Seropédica: EMBRAPA Agrobiologia, 2005. 55 p.

SILVA, I. R. A. et al. Efeito da modificação química por reação de cross-linking nas propriedades do amido de semente de abacate (*Persea americana Mill*). **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 31, n. 2, p. 295-308, jul./dez. 2013.

SILVA, J. R.; ASSUMPÇÃO, R.; VEGRO, C. L. R. A inserção do amido de mandioca no mercado de amido. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 30, n. 7, p. 31-41, jul. 2000.

SILVA, J. R. S.; MONTEIRO, D. A. Cultura da araruta industrial. **O Agrônomo**, Campinas, v. 20, n. 11/12, p. 11-21, 1968.

SILVA, W. A. **Elaboração e caracterização de biofilmes obtidos de diferentes fontes de amido**. 2005. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SILVERSTEIN, R. M.; BASSLER, G. C.; MORRILL, T. C. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994. 120 p.

SINGH, G. D. et al. Influence of heat-moisture treatment and acid modifications on physicochemical, rheological, thermal and morphological characteristics of Indian water chestnut (*Trapa natans*) starch and its application in biodegradable films. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 61, n. 9, p. 503-513, Sept. 2009.

SINGH, N. et al. Fine structure, thermal and viscoelastic properties of starches separated from Indica rice cultivars. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 9, n. 1, p. 135-147, Jan. 2007.

SINGH, N. et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, London, v. 81, n. 2, p. 219-231, May 2003.

SINGH, N. et al. Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties of starches from some indian black gram (*Phaseolus mungo* L.) cultivars. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 56, n. 11, p. 535-544, 2004.

SINGH, J.; KAUR, L.; SINGH, N. Effect of acetylation on some properties of corn and potato starches. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 56, n. 12, p. 586-601, Dec. 2004.

SINGH, J.; SINGH, N. Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indian potato cultivars. **Food Chemistry**, London, v. 75, n. 1, p. 67-77, Oct. 2001.

SKRABANJA, V.; KREFT, I. Resistant starch formation following autoclaving of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) groats an *in vitro* study. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 46, p. 2020-2023, 1998.

SMITH, O. **Potatoes: production, storing, processing**. 2nd ed. Westport: AVI, 1977. 642 p.

SOARES, T. D. et al. Análise físico-química da farinha de araruta (*Maranta arundinacea*) variedade ovo de pata. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 54., 2014, Natal. **Anais...** Natal: UFRN, 2014. 1 CD-ROM.

SOEST, J. G. van et al. Short-range structure in (partially) crystalline potato starch determined with attenuated total reflectance fourier transform IR spectroscopy. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 279, p. 201-214, 1995.

SRIBURI, P.; HILL, S. E. Extrusion of cassava starch with either variations in ascorbic acid concentration or pH. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 35, n. 2, p. 141-154, 2000.

SRICHUWONG, S. et al. Starches from different botanical sources I: contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 60, n. 4, p. 529-538, 2005a.

SRICHUWONG, S. et al. Starches from different botanical sources II: contribution of starch structure to swelling and pasting properties. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 62, n. 1, p. 25-34, 2005b.

SRIROTH, K. et al. Cassava starch granule structure-function properties: influence of time and conditions at harvest on four cultivars of cassava starch. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 38, n. 2, p. 161-170, 1999.

STAHL, J. A. et al. Physicochemical properties of Pinhão (*Araucaria angustifolia*, Bert, O. Ktze) starch phosphates. **LWT**, London, v. 40, n. 7, p. 1206-1214, Sept. 2007.

STARCH EUROPE. **The uses of starch**. Disponível em: <<http://www.starch.eu/>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

SWINKELS, J. J. M. Composition and properties of commercial native starches. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 37, n. 1, p. 1-5, 1985.

TAKIZAWA, F. F. et al. Characterization of tropical starches modified with potassium permanganate and lactic acid. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 6, p. 921-931, Nov. 2004.

TANG, H.; MITSUNAGA, T.; KAWAMURA, Y. Molecular arrangement in block-lets and starch granule architecture. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 63, n. 4, p. 555-560, Mar. 2006.

TESTER, R. F. Starch: the polysaccharide fractions. In: FRAZIER, P. J.; RICHMOND, P.; DONALD, A. M. (Ed.). **Starch: structure and functionality**. London: Royal Society of Chemistry, 1997. p. 163-171.

THARANATHAN, R. N. Food-derived carbohydrates: structural complexity and functional diversity. **Critical Reviews in Biotechnology**, London, v. 22, n. 1, p. 65-84, 2002.

THEBAUDIN, J. Y.; LEFEBRVE, A. C.; DOUBLIER, J. L. Rheology of starch pastes from starch of different origins: applications to starch-based sauces. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v. 31, p. 354-360, 1998.

THERMO ARL. **Basics of X-ray diffraction**. Ecublens, 1999. 22 p.

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

TSAI, M. L.; LI, C. F.; LII, C. Y. Effects of granular structures on the pasting behaviors of starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 74, n. 6, p. 750-757, 1997.

VILPOUX, O. F. A fécula nos mercados interno e externo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 11., 2005, Campo Grande. **Anais...** Dourados: EMBRAPA-CPAO, 2005. v. 1. 1 CD-ROM.

- VILPOUX, O.; CEREDA, M. P. **Caracterização das fecularias no Brasil**. Botucatu: Centro de Raízes Tropicais - UNESP, 1995. 90 p. Boletim técnico.
- WANG, L. Z.; WHITE, P. J. Structure and physicochemical properties of starches from oat with different lipid contents. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 71, n. 5, p. 443-450, 1994a.
- WANG, L. Z.; WHITE, P. J. Structure and properties of amylose, amylopectin, and intermediate materials of oat starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 71, p. 263-268, 1994b.
- WANG, N. et al. Effect of citric acid and processing on the performance of thermoplastic starch/montmorillonite composites. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 76, n. 1, p. 68-73, Mar. 2009.
- WENDLANDT, W. W. **Thermal analysis**. New York: J. Wiley, 1986. 814 p.
- WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. Starch. In: _____. **Carbohydrate chemistry for food scientists**. Saint Paul: Eagan Press, 1997. p. 117-151.
- WHISTLER, R. L.; DANIEL, J. R. Molecular structure of starch. In: WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N.; PASCHALL, E. F. (Ed.). **Starch: chemistry and technology**. 2nd ed. New York: Academic, 1984. p. 153-182.
- YAMANI, B. V. **Caracterização físico-química e funcional de amido de tuberosas originárias da América do Sul: oca (*Oxalis tuberosa* Molina), olluco (*Ullucos tuberosus* Caldas) e mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz e Pavón)**. 2010. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos - Bromatologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- YONEMOTO, P. G. **Efeito do tamanho dos grânulos nas características estruturais e físico-químicas do amido de trigo**. 2006. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto, 2006.
- YONEMOTO, P. G.; CALORI-DOMINGUES, M. A.; FRANCO, C. L. M. Efeito de tamanho dos grânulos nas características estruturais e físico-químicas de amido de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 761-771, 2008.

YUAN, R. C.; THOMPSON, D. B.; BOYER, C. D. Fine structure of amylopectin in relation to gelatinization and retrogradation behavior of maize starches from three wx-containing genotypes in two inbred lines. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 70, p. 81-89, 1993.

YUAN, Y. et al. Physicochemical properties of starch obtained from *Dioscorea nipponica* Makino comparison with other tuber starches. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 82, n. 4, p. 436-442, Oct. 2007.

ZHOU, Z. K. et al. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. **Journal of Cereal Science**, London, v. 35, n. 1, p. 65-78, Jan. 2002.

ZOBEL, H. F. Molecules to granules: a comprehensive starch review. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 40, n. 20, p. 44-50, 1998.