

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

**PROPRIEDADES FUNCIONAIS E TÉRMICAS DO AMIDO DE
BATATA-DOCE (*Ipomoea batatas* L.) NATIVO E MODIFICA-
DO QUIMICAMENTE**

VALÉRIA QUERINO ARAÚJO

JOÃO PESSOA - PB
2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

VALÉRIA QUERINO ARAÚJO

**PROPRIEDADES FUNCIONAIS E TÉRMICAS DO AMIDO DE
BATATA-DOCE (*Ipomoea batatas* L.) NATIVO E MODIFICA-
DO QUIMICAMENTE**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Pushkar Singh Bora

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal da Paraíba, Campus I, João Pessoa, em cumprimento às exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos (Área de concentração: Química e Bioquímica de Alimentos).

JOÃO PESSOA – PB
2008

A663p Araújo, Valéria Querino

Propriedades funcionais e térmicas do amido de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) nativo e modificado quimicamente/ Valéria Querino Araújo – João Pessoa, 2008.

90 p.

Orientador: Pushkar Singh Bora

Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT

1. Amido 2. Propriedades funcionais 3. Sucinilação 4. Fosfatação

UFPB/BC

CDU: 664.2 (043)

VALÉRIA QUERINO ARAÚJO

**PROPRIEDADES FUNCIONAIS E TÉRMICAS DO AMIDO DE
BATATA-DOCE (*Ipomoea batatas* L.) NATIVO E MODIFICA-
DO QUIMICAMENTE**

Dissertação aprovada em 29 de Setembro de 2008

Prof. Dr. Pushkar Singh Bora
Orientador

Prof. Dr. Heinz Johann Holschuh
Examinador interno

Prof^a. Dra. Marta Maria da Conceição
Examinador externo

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre guiar os meus passos, me confortar nas horas difíceis, me dar ânimo para seguir em frente e por sempre me dar oportunidade de realizar todos os meus sonhos;

À minha mãe Maria de Lourdes Querino Nascimento e ao meu padrasto Francisco Nascimento Neto, Minhas fortalezas, sem eles esse passo tão largo e importante da minha vida não teria sido dado, agradeço-lhes pela orientação, conselhos, amor, cuidados, preocupação e acima de tudo por ter me ensinado a ter a cabeça nas nuvens, mas com os pés bem fincados no chão;

Ao meu querido orientador Prof. Dr. Pushkar Singh Bora, por ter me concedido o privilégio de ser sua orientanda, pelos ensinamentos, confiança, amizade e compreensão, compreensão esta muito importante e fundamental nos momentos finais da conclusão do trabalho;

Às pessoas maravilhosas que conheci durante o mestrado em especial Juan, Fátima, Vanessa, Bernadete e Cláudia;

À minha amiga-irmã Ayza, por tudo o que a nossa amizade significa, e por em tão pouco tempo ter se tornado uma irmã pra mim, nos piores momentos sempre esteve presente, não importa a distância, para me alegrar e confortar com suas palavras;

À minha amiga Aline Macedo, pela sua enorme paciência e generosidade em realizar as análises do DSC, entre outras contribuições, e por ser uma amiga leal, maravilhosa, e que sempre me apoiou e me deu forças em todos os aspectos da minha vida;

Aos meus companheiros de pesquisa, Sérgio, Vinicius, Paloma, Bernadete, Cláudia, Gisely, Elciane, Érica, Juan, João Paulo, Michele, Robson pela ajuda, boa vontade e amizade;

A todos os professores do programa de pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos;

Aos funcionários Gilvandro e Juneane Maciel pela gentileza e atenção diariamente prestados;

À CAPES pela bolsa de estudos concedida;

À UFPB, à coordenação do programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos e ao secretário Humberto Bandeira, pela atenção, apoio, e boa vontade em ajudar;

Enfim, a todos aqueles que colaboraram de alguma forma para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos!!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	17
2.1 Geral	17
2.2 Específicos	17
3. REVISÃO DA LITERATURA	18
3.1 Batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i> L.)	18
3.2 Amido	19
3.3 Composição do amido e estrutura dos seus componentes	22
3.4 Propriedades funcionais do amido	23
3.4.1 Propriedades de pasta	23
3.4.2 Poder de intumescimento e solubilidade	27
3.4.3 Propriedades térmicas	29
3.5 Amidos Modificados	30
3.5.1 Amido modificado por fosfatação	33
3.5.1.1 Amidos fosfatados diéster ou intercruzados	34
3.5.2 Amido modificado por succinilação	36
3.6 Amido e Tecnologia	37
3.7 Aplicação de amidos modificados em produtos <i>light</i>	39
4. MATERIAIS E MÉTODOS	42
4.1 Matéria-prima	42
4.2 Extração do amido	42
4.3 Composição centesimal	44
4.4 Modificação do amido	44
4.4.1 Succinilação do amido	44
4.4.1.1 Determinação do grau de substituição do amido succinilado	44
4.4.2 Fosfatação do amido	45
4.4.2.1 Determinação do grau de substituição do amido fosfatado	45
4.5 Propriedades Funcionais	46
4.5.1 Poder de intumescimento e solubilidade em função do pH e da temperatura	46

4.5.2	Transparência do gel	47
4.5.3	Estudos de gelificação	47
4.5.4	Capacidade de absorção de água e óleo	47
4.5.5	Viscosidade Relativa	48
4.6	Propriedades Térmicas	48
4.7	Análise estatística	49
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1	Composição centesimal do amido nativo	50
5.2	Grau de modificação do amido succinilado	51
5.3	Grau de modificação do amido fosfatado, inter cruzado ou diéster	51
5.4	Propriedades funcionais	52
5.4.1	Poder de intumescimento e solubilidade	52
5.4.1.1	Poder de intumescimento e solubilidade em função da temperatura	52
5.4.1.2	Poder de intumescimento e solubilidade em função do pH	55
5.4.2	Transparência do gel	56
5.4.3	Estudos de gelificação	58
5.4.4	Capacidade de absorção de água e óleo	60
5.4.5	Viscosidade	62
5.4.5.1	Viscosidade em função da concentração de amido	62
5.4.5.2	Viscosidade em função do pH	63
5.4.5.3	Viscosidade em função da temperatura	64
5.5	Propriedades térmicas	65
6.	CONCLUSÕES	71
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
	APÊNDICES	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Foto da batata-doce ("Cv" Paulista)	18
Figura 2 - Estrutura química da amilose (a) e amilopectina (b)	21
Figura 3 - Estruturas dos substituintes mono e di-éster fosfato	33
Figura 4 - Reação de fosfatação com trimetafosfato de sódio	36
Figura 5 - Estrutura do amido succinilado	38
Figura 6 - Fluxograma de extração do amido de batata-doce em Laboratório	43
Figura 7 - Efeito da temperatura no poder de intumescimento do amido nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce em pH 6,5	52
Figura 8 - Efeito da temperatura na solubilidade do amido nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce em pH 6,5	53
Figura 9 - Efeito do pH no intumescimento do amido nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce a 32°C	55
Figura 10 - Efeito do pH na solubilidade do amido nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce a 32°C	56
Figura 11 - Capacidade de absorção de água (CAA) e óleo (CAO) dos amidos nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce	60
Figura 12 - Viscosidade em função da concentração dos amidos nativo, succinilado e fosfatado de batata-doce a 80°C e pH 6,5	62
Figura 13 - Viscosidade dos amidos de batata-doce nativo, succinilado e fosfatado, em diferentes valores de pH em temperatura ambiente	63
Figura 14 - Viscosidade dos amidos de batata-doce nativo, succinilado e fosfatado na concentração de 1% em diferentes temperaturas e pH 6,5	64
Figura 15 - Curvas DSC do amido nativo no 1° e 7° dias	69
Figura 16 - Curvas DSC do amido succinilado no 1° e 7° dias	69
Figura 17 - Curvas DSC do amido fosfatado no 1° e 7° dias	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição centesimal do amido nativo de batata-doce	50
Tabela 2 - Efeito do tempo de estocagem sob a transparência do gel dos amidos nativo, succinilado e fosfatado de batata-doce	57
Tabela 3 - Propriedades de gelificação dos amidos nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce a 80°C	58
Tabela 4 - Capacidade de absorção de água (CAA) e óleo (CAO) dos amidos nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce	60
Tabela 5 - Efeito da succinilação e fosfatação sobre a temperatura de transição associadas à gelatinização do amido nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce	66
Tabela 6 - Entalpias (ΔH) envolvidas nos processos de gelatinização e retrogradação obtidas através de Calorimetria Exploratória Diferencial do amido nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição centesimal da fécula de batata-doce e mandioca 19

LISTA DE ABREVIATURAS SÍMBOLOS E SIGLAS

ANOVA	Análise de variância
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMEPA	Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba S.A.
ΔH	Varição entálpica
EPI	Epicloridrina
FAO	Food and Agriculture Organization
POCl ₃	Oxicloreto de fósforo
STMP	Trimetafosfato de sódio
T	Temperatura
T ₀	Temperatura inicial
T _c	Temperatura de conclusão
T _p	Temperatura de pico
GS	Grau de substituição

Propriedades funcionais e térmicas do amido de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) nativo e modificado quimicamente.

RESUMO

O amido é a principal reserva de polissacarídeos do reino vegetal, sendo a maior fonte de carboidratos na dieta humana. Este polímero tem grande aplicação nas indústrias de alimentos, têxtil, farmacêutica, entre outras. Nos últimos anos houve um aumento expressivo na procura por amidos com propriedades específicas, levando à modificação dos mesmos a fim de se obter propriedades ideais para sua aplicação. O objetivo deste trabalho foi o de obter informações a respeito das propriedades do amido de batata-doce da variedade "Paulista", do município de Mamanguape-PB. Após a extração do amido, este foi submetido à modificação por succinilação com anidrido succínico e fosfatação com trimetafosfato de sódio. O grau de substituição (GS) obtido para o amido succinilado foi de 0,03 e para o fosfatado 0,004. O amido succinilado apresentou maior poder de intumescimento e solubilidade do que o nativo, enquanto que o fosfatado apresentou menor poder. Com relação a transparência do gel, esta propriedade ficou mais evidente após a succinilação. Os amidos diminuíram a transparência com o tempo de estocagem com exceção do amido fosfatado que aumentou com o passar dos dias. A succinilação aumentou a capacidade de formação de gel do amido nativo enquanto o intercruzamento reduziu esta propriedade. A capacidade de absorção de água foi maior para o amido succinilado e menor para o tratado com trimetafosfato de sódio, enquanto que a absorção de óleo para os amidos modificados foi diminuída em relação ao amido nativo. O perfil de viscosidade foi diferente para os amidos nativo e modificados, sendo os maiores valores para as amostras do succinilado e menores para o fosfatado. O estudo da gelatinização permitiu verificar que para o amido fosfatado foi necessária uma maior entalpia de gelatinização e uma menor para o succinilado. Não houve retrogradação até o 7º dia de armazenamento dos amidos modificados já o amido nativo apresentou tal fenômeno.

Palavras-chave: amido, succinilação, fosfatação, propriedades funcionais.

Functional and thermal properties of starch from sweet-potato, native and chemically modified

ABSTRACT

The starch is the most important reserve of polysaccharides in all the vegetal kingdom, been the great fount of carbohydrates in the human diet. This polymer with a great different kind of application in industries like for example: food, textile, Pharmaceutical, between others. In the last years have been a strong increment in the demand for starches with special and specific properties, creating and changing itself, following obtain ideal properties for new applications. The objective of this presentation it is obtain important information about the properties of sweet-potato's starch corresponding to the type "Paulista" to the district of Mamanguape-PB. After the extraction of starch, this is submit a modification by Succinoylation with succinic anhydride and cross-linked with sodium trimetaphosphate (STMP). A degree of substitution (DS) obtained for a succinic starch it was 0,03 and for the phosphate 0,004. The succinic starch present a bigger swelling power and solubility than a native starch, however the phosphate starch present a lower power than native. With relations to the gel's transmittance, this properties remained more evidence after succinoylation. The transmittance's starches will be follow down with a time in the storage, but in case of the cross-linked starch grow up in some days. The succinoylation increase the capacity of creation of gel in the native starch, otherwise the cross-linking reduce this property. The water absorption capacity it was bigger for the succinic starch and lower for the same one with a treatment in base STMP, as long as the oil absorption capacity for the modified starches it was decrease in report starch native. The profile of viscosity was different for the native and modified starches, with the highest values for succinate samples and minors for the Phosphate. The study of gelatinisation has shown that the starch for Phosphate was a need for greater enthalpy of gelatinisation and less for the succinate. There was no downgrading until the 7 th day of storage of modified starch, however native starch presented this phenomenon.

Keywords: starch, succinoylation, phosphorylation, functional properties.

1. INTRODUÇÃO

O amido apresenta características físicas e químicas e qualidade nutricional superiores a outros carboidratos (WHISLER , BeMILLER, 1997). Suas características físico-químicas e funcionais estão diretamente relacionadas às características estruturais do grânulo as quais dependem da fonte botânica, local e condições de crescimento(HERMANSSON, SVEGMARK, 1996).

Algumas características do amido limitam a sua utilização a nível industrial, por isso, ele pode ser modificado para melhor atender as aplicações nas indústrias têxteis, de papel, siderúrgica, alimentícia, farmacêutica, entre outras (CRUZ , EL-DASH, 1984). A produção de amidos modificados é uma alternativa que vem sendo desenvolvida há algum tempo com o objetivo de superar as limitações impostas pelos amidos nativos, e assim, aumentando o uso deste polímero nas aplicações industriais (LEONEL, JACKY, CEREDA, 1998).

A possibilidade de introduzir novas matérias-primas amiláceas com características interessantes industrialmente, vem suscitando o interesse dos industriais da área, pois proporcionaria um crescimento diferenciado em nível mundial, visto que, no Brasil existe uma grande variedade de raízes amiláceas ainda pouco exploradas (VILPOUX, 1998).

A seleção de uma matéria-prima deve ser, antes de tudo, multifuncional, isto é, que atenda a um leque de utilidades o mais elástico possível. A batata-doce surge como um desses materiais por ser uma raiz com ampla variação na composição química, nas propriedades físicas, bioquímicas, dentre outras características, a exemplo da coloração da pele e da polpa, que varia de branca a púrpura (LIMA, 2001).

Segundo a Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba (EMEP-PA, 2008) a batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) é uma planta rústica, de ampla adaptação, fácil cultivo, alta tolerância à seca e de baixo custo de produção. Suas raízes são tuberosas e variam de forma, tamanho e coloração, conforme a cultivar e o meio ambiente em que são produzidas.

No quadro mundial, os maiores produtores de batata-doce são China, Indonésia, Índia e Japão. A China destaca-se como maior produtor atingindo

150 milhões de toneladas por ano. No Continente Latino-Americano, o Brasil surge como o principal produtor, contribuindo com 3 milhões de toneladas anuais. No Brasil os estados de maior produção são Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Bahia e Paraná, tendo o rendimento nacional atingido 10 t/ha. A Paraíba vem se destacando como um dos principais produtores da Região Nordeste (CEREDA, VILPOUX, DEMIATE, 2003).

O objetivo deste trabalho foi estudar as propriedades do amido modificado em comparação com o amido nativo de batata-doce, a fim de se obter informações sobre as propriedades deste amido antes e após as modificações, visando um melhor aproveitamento na indústria de alimentos. Devido a importância econômico-social e por ser uma matéria-prima de fácil acesso, de baixo custo e muito rica em amido a fonte amilácea utilizada foi raízes de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) que foram submetidas as reações de succinilação e fosfatação (intercruzamento), tendo em vista que estas modificações ainda não foram estudadas para amido de batata-doce.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Modificar o amido da batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) utilizando as reações de succinilação e fosfatação e comparar suas propriedades com o amido não modificado (nativo) para uma possível utilização na indústria alimentícia.

2.2 Específicos

- Extrair o amido da batata-doce da variedade “paulista” obtida no município de Mamanguape Estado da Paraíba;
- Determinar a composição centesimal do amido nativo;
- Modificar o amido por succinilação e fosfatação;
- Confirmar as modificações através do cálculo do grau de substituição (GS);
- Caracterizar os amidos em relação às seguintes propriedades:
 - Poder de intumescimento e solubilidade em função do pH e temperatura;
 - Transparência do gel de amido;
 - Propriedades de gelificação;
 - Capacidade de absorção de água e óleo;
 - Viscosidade em função do pH, temperatura e concentração;
 - Gelatinização e Retrogradação por Calorimetria Exploratória Diferencial.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Batata-doce (*Ipomoea batatas* L.)

A batata-doce é originária das Américas Central e do Sul, Relatos de seu uso remontam de mais de dez mil anos. A batata-doce é uma espécie dicotiledônea pertencente à família botânica *Convolvulaceae*, que agrupa aproximadamente 50 gêneros e mais de 1000 espécies, sendo que dentre elas, somente a batata-doce tem cultivo de expressão econômica (EMBRAPA, 2004). A figura 1 mostra uma foto da batata-doce da variedade Paulista.



Figura 1 - Foto da batata-doce (Cv Paulista).

Fonte: EMEPA (2008).

Na região Nordeste do Brasil, a batata-doce tem uma grande importância social, por ser uma fonte de alimento energético e rica em vitaminas, além de contribuir na geração de emprego e renda para o homem do campo. No Estado da Paraíba é cultivada e difundida principalmente nas regiões próximas aos grandes centros consumidores, especialmente nas microrregiões do Brejo e Litoral Paraibano.

A batata-doce é uma planta de clima tropical ou subtropical, também apta a se desenvolver em regiões temperadas, é uma raiz muito rica em carboidratos sendo o amido o mais abundante deles (FRANCO *et al.*, 2002). A composição da fécula de batata-doce varia muito de acordo com a variedade, idade e condições de cultivo. O quadro 1 mostra a composição da fécula de batata-doce em comparação com uma das principais fontes comerciais de amido, a mandioca.

Quadro 1 – Composição centesimal da fécula de batata-doce e mandioca

Constituintes %	Batata-doce	Mandioca
Amido	82,35	81,79
Cinzas	0,35	0,17
Fibras	0,44	0,74
Proteína	0,33	0,23
Matéria graxa	1,38	0,16
Açúcares totais	1,14	0,31

Fonte: Leonel *et al.* (2004)

Yadav *et al.* (2007) analisaram as características da farinha de batata-doce modificada por enzimas e por acetilação e constataram que houve mudanças na cristalinidade da farinha modificada, o padrão de poder de inchamento e de solubilidade indicaram um maior grau de forças associativas nos grânulos do amido.

3.2 Amido

No Brasil e na França, fécula e amido são sinônimos, segundo a legislação brasileira (BRASIL, 1978) denomina-se amido, a fração amilácea encontrada em órgãos aéreos como grãos e frutas, e fécula, a fração amilácea de órgãos subterrâneos como raízes e tubérculos.

O amido é um polissacarídeo que consiste de resíduos de α -D-glicose com suas ligações glicosídicas identificadas através de átomos de carbono numerados de um a seis (GALLANT, BOUCHET, BALDWIN, 1997). É a principal substância de reserva nas plantas superiores, fornecendo de 70 a 80 % das calorias consumidas pelo homem. De acordo com Leonel , Cereda (2002), os depósitos permanentes de amido nas plantas ocorrem nos órgãos de reserva como é o caso de grãos nos cereais (arroz, milho e trigo), e tubérculos e raízes (batata e mandioca).

A biossíntese do amido ocorre em uma organela subcelular especializada, o amiloplasto, que possui uma membrana lipoprotéica limitante. Dentro dos amiloplastos estão as enzimas que catalisam a biossíntese da amilose e da amilopectina que são seus principais constituintes. A formação das cadeias poliméricas do amido ocorre em uma matriz lipoprotéica e o amiloplasto em desenvolvimento contém materiais lipídicos e protéicos, ambos na membrana que constitui o envoltório do mesmo e nas membranas da matriz interna no interior dos mesmos. O desenvolvimento do grânulo de amido dentro do amiloplasto ocupa uma proporção crescente do volume até que, com o grânulo totalmente desenvolvido, o volume interno é completamente ocupado pelo amido (GALLIARD , BOWLER, 1987).

As moléculas de amido são compostas exclusivamente de resíduos de glicose ligados por dois tipos de ligações: ligações glicosídicas α -1,4 e α -1,6. Mas, apesar da química simples do amido, as moléculas finais são variáveis e complexas. Elas se apresentam como grânulos semicristalinos de aproximadamente 100 μ m de comprimento.

Assim, o amido é um polímero relativamente simples composto de moléculas de glicose que estão ligadas de duas formas diferentes. A amilose, a qual representa 20-30% do amido normal, é uma molécula essencialmente linear na qual unidades de α -D-glucanopiranosose estão unidas entre si por ligações glicosídicas α -1,4, neste polissacarídeo o número de resíduos de glicose varia de 200 a 10.000. A amilopectina é o maior componente do amido compreendendo 70-80% do seu peso, é altamente ramificada e as unidades de α -D-glucanopiranosose estão unidas entre si por ligações glicosídicas α -1,4; já as cadeias das ramificações, constituídas de 20 a 25 unidades de α -D-glucanopiranosose, estão unidas por ligações glicosídicas α -1,6, compreendendo cerca de 5% das ligações na molécula do amido (JOBBLING, 2004).

As estruturas químicas das moléculas de amilose e amilopectina, estão representadas na figura 2.

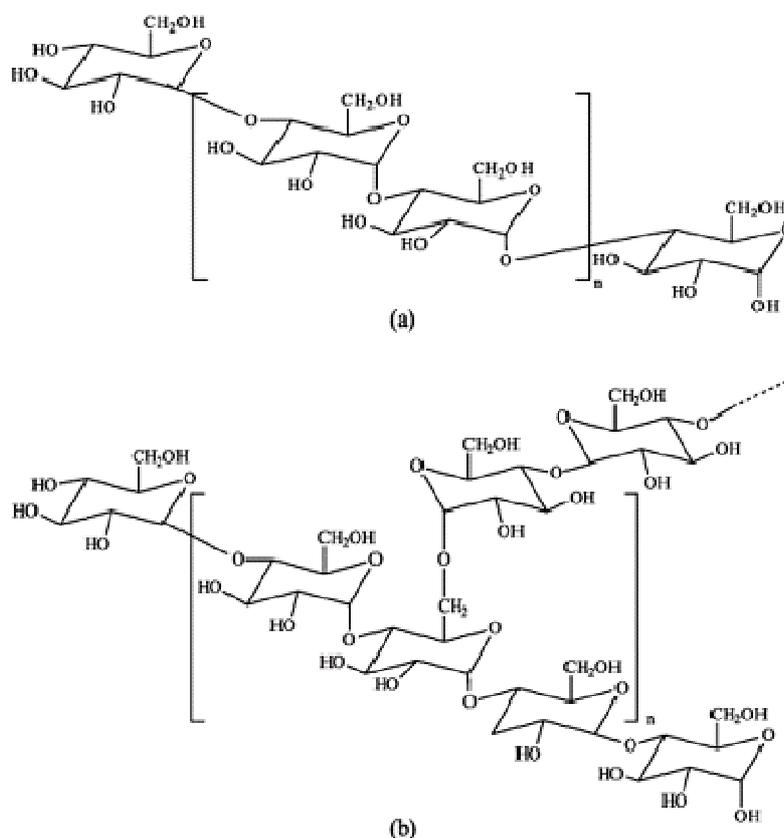


Figura 2 – Estrutura química da amilose (a) e amilopectina (b)

Fonte: Corradini *et al.* (2005).

A proporção de amilose e amilopectina, varia conforme a fonte botânica, o que irá conferir características específicas à pasta de amido, dentre elas a viscosidade e o poder de gelificação. O amido deve muito de sua funcionalidade e organização física a estas duas macromoléculas (BILIADERIS,1991).

O teor de amilose apresentado em trabalhos científicos é geralmente expresso como teor de amilose aparente, isto devido à capacidade de algumas cadeias ramificadas externas de amilopectina interagirem com o iodo superestimando o teor de amilose (JANE *et al.*, 1999; KASEMSUAWAM, 1995). No entanto, Morrison

(1995) se refere ao teor de amilose aparente com sendo aquele obtido de amidos que não foram previamente desengordurados, pois a presença de lipídios no amido interferem na afinidade com o iodo.

O teor de amilose em amidos de cereais é maior que aqueles encontrados em amidos de raízes e tubérculos, que contêm cerca de 20%. O amido de gengibre apresenta um teor de amilose de 22,2%, similar a outros amidos de raízes (REYES, 1982). Gallant, Bouchet, Baldwin (1997), estudando alguns amidos de tuberosas como mandioca, batata-doce, inhame, taro e biri, encontraram teores de amilose de 8-16%; 18%; 10-15%; 9-17% e 27%, respectivamente. O valor encontrado por Leonel *et al.* (2002) para o teor de amilose do amido de araruta foi de 23,9%, um pouco superior aos 19% encontrados na literatura.

O amido vem sendo largamente utilizado pela indústria de alimentos como agente espessante, de enchimento, para aumentar ou alterar a viscosidade de alguns produtos e demais fins. Pode ser utilizado de forma nativa ou após modificações físicas e/ou químicas, na forma de amido modificado e/ou derivado, como maltodextrinas, dextrinas, xaropes de glicose, entre outros (PONTES, 2006). Também é adicionado para agir como ingrediente funcional em molhos, pudins, produtos de confeitaria, embutidos cárneos, e substitutos de gorduras numa grande variedade de produtos (THOMAS, ATWELL, 1999).

A estimativa da distribuição do comprimento de cadeias ramificadas da amilopectina é um dos parâmetros mais importantes para a caracterização da estrutura desta macromolécula e para o entendimento da relação entre estrutura química e as propriedades funcionais do amido (PERONI, 2003).

3.3 Composição do amido e estrutura dos seus componentes

Segundo Tester, Karkalas, Qi (2004), Os grânulos de amido são compostos de dois tipos de alfa-glucanas, a amilose e a amilopectina, que representam aproximadamente 98-99% do seu peso seco. A relação dos dois polissacarídeos varia de acordo com a origem botânica do amido. Os amidos cerosos contêm menos de 15% de amilose, o normal 20-35% e os amidos com elevado teor de amilose tem aproximadamente 40% de amilose. O índice de umidade dos amidos varia de aproxima-

damente 10-12% (cereais) a aproximadamente 14-18% (algumas raízes e tuberosas).

Os amidos de cereais contêm lipídios integrais na forma de lisofosfolipídios e ácidos graxos livres que são correlacionados positivamente com a fração de amilose, os lisofosfolipídios podem ser responsáveis por até 2% do peso do amido (em amidos de cereais com alto teor de amilose). Entretanto, os grânulos podem também ser contaminados com os lipídios de superfície (MORRISON, 1995). Os contaminantes compreendem os triglicerídeos, os glicolipídios, os fosfolipídios e os ácidos graxos livres derivados da membrana dos amiloplastos e das fontes não-amiláceas. Estes diferem dos lipídios integrais (internos), que são compostos exclusivamente de ácidos graxos livres e lisofosfolipídios (MORRISON, KARKALAS, 1990).

As proteínas integrais têm um peso molecular mais elevado do que as proteínas de superfície, e incluem resíduos das enzimas envolvidas na síntese do amido (BALDWIN, 2001). Os amidos contêm também quantidades relativamente pequenas (0,4%) dos minerais (cálcio, magnésio, fósforo, potássio e sódio) que são, com exceção do fósforo, de pouco significado funcional. O fósforo é encontrado em três formas principais: fosfato mono-éster, fosfolipídios e fosfatos inorgânicos (BLENNOW *et al.*, 2002)

Amidos nativos geralmente contêm pequenas quantidades (< 0,1%) de fósforo. Embora presentes em pequenas quantidades, o fósforo pode afetar as propriedades e o comportamento do amido. Em amidos de tuberosas, o fósforo encontra-se covalentemente ligado ao amido sob a forma de ésteres de fosfato (HIZUKURI, TABATA, NIKUNI, 1970 ; YONEYA, *et al.*, 2003).

3.4 Propriedades funcionais do amido

3.4.1 Propriedades de pasta

A formação de gel ou pasta é um dos principais fatores que controla a textura e a qualidade dos alimentos contendo amido (LII, SHAO, TSENG, 1995). Os grânulos de amido incham quando aquecidos em excesso de água (SANDHU, SINGH, KAUR, 2004) e quando atingem uma determinada temperatura ocorre a gelatiniza-

ção, processo pelo qual a estrutura interna do grânulo é quebrada, e a totalidade do grânulo é desintegrada liberando os polissacarídeos dentro do meio circundante. Este colapso da ordem molecular dentro do grânulo de amido manifesta-se em alterações irreversíveis nas propriedades do amido tais como aumento de tamanho granular, fusão de cristais, perda da birrefringência e solubilização do amido (THOMAS, ATWELL, 1999).

Amidos com maiores temperaturas de gelatinização possuem uma estrutura cristalina ou uma ordem molecular mais forte. Por esta razão, acredita-se que a distribuição da extensão da cadeia de amilopectina, é o principal fator na influência da gelatinização do amido, uma vez que, as duplas hélices das moléculas de amilopectina formam a ordem molecular e a cristalinidade no grânulo do amido (COOKE, GILDLEY, 1992).

A gelatinização ocorre primeiramente nas regiões amorfas do grânulo. Sob aquecimento continuado à mesma temperatura, eventualmente todas as regiões amorfas são desestabilizadas e as regiões cristalinas começam a gelatinizar. A extensão deste processo, entretanto, é dependente da temperatura. Com a elevação da temperatura de aquecimento, a extensão de regiões cristalinas que são gelatinizadas também aumenta. Quando a temperatura é suficientemente elevada, ambas as regiões, amorfas e cristalinas, são gelatinizadas (PERONI, 2003).

De acordo com Roberts, Cameron (2002) a adição de diferentes solutos como açúcares, sais, ácidos e bases têm sido usados para modificar a temperatura de gelatinização, o que pode ser muito útil no processo de panificação. Sais podem ser usados, por exemplo, para aumentar a temperatura de gelatinização e preservar a estrutura do grânulo, enquanto álcalis são frequentemente usados para diminuir a temperatura de gelatinização em produtos para aplicação não-alimentares, como em adesivos.

Quando o amido gelatinizado esfria, há um decréscimo na energia cinética, o que permite que as moléculas de amido se reassociem e formem uma rede. Este curto prazo de reassociação, a que dar-se o nome de “retrogradação”, resulta em mudanças na textura da pasta cozida (MILES *et al.*, 1985).

A retrogradação é o fenômeno que ocorre quando as moléculas de amido gelatinizado aproximam-se para reassociar-se em uma estrutura ordenada (ATWELL, 1988). Este fenômeno consiste de uma progressiva agregação das cadeias de ami-

lose, quando a temperatura é diminuída depois da gelatinização. A retrogradação tem um importante impacto sobre as propriedades reológicas e texturais da pasta e consequentemente, tem sido objeto de numerosos estudos (GIDLEY, 1989).

A retrogradação causada pela amilose é conhecida por ser um processo rápido ocorrendo em apenas poucas horas, por causa da sua estrutura linear, o que facilita a rápida reassociação, enquanto a retrogradação causada pelas cadeias de amilopectina, por outro lado, se desenvolve durante um período de vários dias (ADEBOWALE, LAWAL, 2003).

O inchamento dos grânulos e a concomitante solubilização da amilose e amilopectina induzem a gradual perda da integridade granular com a geração de uma pasta viscosa (LEACH, McCOWEN, SCHOCH, 1959). Caso os grânulos continuem a se expandir a amilose é lixiviada para a fase aquosa entre os grânulos, assim a viscosidade aumenta essencialmente (BILIADERIS, 1991). A amilopectina contribui para o inchamento do grânulo de amido e empastamento, enquanto que a amilose e lipídios o inibem. Assim, os comprimentos de cadeias de amilopectina e peso molecular da amilose produzem efeitos sinérgicos na viscosidade da pasta de amido (JANE & CHEN, 1992).

Observando-se dados da literatura, verifica-se que o amido de batata-doce é descrito como um amido resistente à desintegração mecânica durante a gelificação comparado com outros amidos (TAKEDA, HIZUKURI, 1987; BATISTUTI, VALIM, CÂMARA, 1994; McPHERSON, JANE, 1999).

Franco *et al.* (2002) ao realizar estudos com amidos de trigo de diferentes linhagens, contendo amilopectinas com maiores proporções de cadeia ramificada longa, apresentaram maior pico de viscosidade, menor temperatura de pasta e grande resistência ao cisalhamento quando comparados aos amidos com menores proporções destas cadeias.

Quando calor é aplicado, a transição de uma suspensão de amido em água para pasta é acompanhada por um grande aumento da viscosidade. Alterações de viscosidade também acompanham a formação de gel pelo resfriamento das mesmas (FRANCO *et al.*, 2002). A forma de medida mais tradicional é através do viscoamílografo Brabender, utilizando-se o método proposto por Mansour, Khalil (1997), que registra a alteração da viscosidade de um sistema amido-água, sob agitação, em relação à temperatura e tempo (FRANCO *et al.*, 2002).

O perfil de viscosidade é extremamente útil na determinação do comportamento do amido sob várias condições e para comparar diferenças relativas entre amidos. Um dos mais importantes aspectos dos perfis de viscosidade, é a medida dos efeitos de reagentes ou processos que modificam os amidos, sobre as suas propriedades de pasta (PERONI, 2003).

Um problema que se apresenta, quando se pretende comparar as informações existentes na literatura, é relativo ao uso de concentrações diferentes na obtenção dos viscogramas Brabender. Esse ajuste é necessário para que os gráficos sejam obtidos dentro dos limites de 0 a 1000 unidades Brabender. Para contornar esse problema a maioria dos trabalhos relatados na literatura, coloca no mesmo gráfico alguns amidos considerados padrões, como o de milho, batata e mandioca (FRANCO *et al.*, 2002).

O equipamento Brabender vem sendo gradualmente substituído pelo Rapi-Visco Analyser (RVA), que proporciona mensurações equivalentes, usando menor quantidade de amostra e permitindo a avaliação da estabilidade térmica, temperaturas características e estabilidade oxidativa, assim como a interação com outros componentes da fração amilácea (lipídios, proteínas, fósforo, etc.). Fatores importantes para definir o uso industrial do amido em alimentos é sua relação com água, temperatura e formação de gel, assim como características viscoelásticas. Amidos que apresentam baixas temperaturas de empastamento são ideais para o uso em alimentos de preparo instantâneo, como macarrões, sopas e algumas sobremesas como pudins; os amidos de cereais como são mais consistentes, opacos, e de viscosidades mais baixas, são usados principalmente na elaboração de sobremesas. Os amidos de tuberosas são mais frágeis, com alta viscosidade e transparência (FRANCO *et al.*, 2002).

Pesquisas realizadas por Soni *et al.* (1985) e Hoover (2001), mostraram que amidos de inhame exibem uma alta temperatura de pasta (~ 95°C) e estabilidade térmica em relação a outros amidos, como batata-doce (66-68°C), mandioca (60-70°C), araruta (72-75°C), entre outros. Isto pode ser devido à presença de fortes forças de ligação no interior do grânulo que resistem à quebra durante o cozimento. Com exceção do amido de inhame, todos estes amidos possuem uma alta viscosidade.

3.4.2 Poder de intumescimento e solubilidade

Quando submetidas ao aquecimento, as estruturas cristalinas das moléculas do amido são rompidas por aumento das ligações de hidrogênio entre grupos hidroxilas e moléculas de água, e isto induz o grânulo a inchar (WHISLER, BEMILLER, 1997).

A capacidade de intumescimento ou de inchamento é a relação entre o peso úmido do gel sedimentado e o peso seco do amido. Diversos parâmetros têm sido usados para descrever o intumescimento do amido, em todos os métodos, a concentração do amido, temperatura, tempo de aquecimento, agitação, e condições de centrifugação são especificados (CROSBIE, 1991).

Segundo Tester (1997), o intumescimento e a gelatinização são propriedades controladas, em parte, pela estrutura molecular da amilopectina, composição do amido e arquitetura do grânulo (proporção região cristalina e amorfa). A fosfatação aprimora as interações moleculares por ligações covalentes e reduz o volume de intumescimento do amido de batata e de milho (ZIEGLER, THOMPSON, CASAS-NOVAS, 1993). O poder de intumescimento diminui linearmente com o conteúdo de amilose, mas aumenta com o aquecimento (SASAKI, MATSUKI, 1998).

Tanto o conteúdo de proteínas (WANG, SEIB, 1996) como o de monoglicerídeos (ROACH, HOSENEY, 1995) inibem a extensão do intumescimento. Tem sido documentado que componentes menores do amido, como fosfolipídios e fosfatos monoésteres também ter enormes efeitos sobre àquela propriedade (NODA, *et al.* 2004). Leach, Mccowen, Schoch (1959), determinaram o poder de intumescimento e solubilidade de amidos de diferentes fontes botânicas no intervalo de 50 a 95°C com a finalidade de estabelecer evidências do grau de associação molecular dentro do grânulo de amido. Eles concluíram que estas propriedades são fortemente influenciadas pela fonte botânica

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).

A consequência direta do intumescimento é o aumento na solubilidade, clareza e viscosidade da pasta de amido (CIACCO, CRUZ, 1982). Amidos de diferentes fontes botânicas apresentam distintos poder de inchamento e solubilidade dos grânulos. O amido de milho, por exemplo, apresenta inchamento limitado, que ocorre em dois estágios. Isto sugere dois tipos de forças envolvidas nas interações entre as cadeias poliméricas que relaxam a diferentes temperaturas. Féculas como a de mandioca e a de batata apresentam grande inchamento a temperaturas mais baixas, o que indica interações mais fracas e uniformes. De maneira geral a solubilidade e o poder de inchamento apresentam-se correlacionados (LEACH, McCOWEN, SCHOCH, 1959).

Estudos realizados nos amidos de mandioca e inhame por Soni *et al.* (1985), indicaram a presença de dois estágios de inchamento para o amido de mandioca, enquanto que o amido de inhame apresentou apenas um. Dois estágios de inchamento sugere a presença de dois tipos de forças que requerem diferentes temperaturas para causar o relaxamento. Ligações fortes dentro do grânulo de amido influenciam o inchamento (LEACH, McCOWEN, SCHOCH, 1959) quanto maior o número destas ligações menor o intumescimento.

Lawal (2004b), estudando os efeitos da succinilação e acetilação sobre as propriedades do amido de milho híbrido modificado, constatou que tais modificações aumentam o poder de inchamento e solubilidade do amido nativo. Além disso, observou que estas propriedades são dependentes do pH e da temperatura; e que, em todas as temperaturas estudadas (40-95°C), o amido succinilado apresentou maiores valores em relação ao acetilado. Waliszewski *et al.* (2003) e Lawal, Adebowale (2005), obtiveram resultados similares.

No estudo realizado por Silva *et al.* (2006), pôde-se observar que à temperatura de 90°C foram obtidos os maiores valores de poder de inchamento, quando grande parte dos grânulos está intumescida. Considerando-se, entretanto, que muitos amidos estudados eram fosfatados (intercruzados), percebe-se um inchamento limitado mesmo nesta temperatura.

Hoover (2001), determinou o poder de inchamento e solubilidade dos amidos de batata-doce (90°C), inhame (95°C), mandioca (95° C) e biri (95°C), obtendo como resultado 80 e 68%; 20,5 e 7,8%; 51 e 26%; 19 e 17%, respectivamente.

3.4.3 Propriedades térmicas

Durante a gelatinização, ocorre a ruptura de pontes de hidrogênio que estabilizam a dupla hélice no interior do grânulo de amido e quantifica a energia de aquecimento, isto é, a entalpia envolvida na transição do amido de um grânulo semicristalino para um gel amorfo (BILIADERIS, 1990).

O estudo do comportamento térmico de amidos, incluindo temperaturas de gelificação, retrogradação, temperatura de transição vítrea e cristalização são muito estudados utilizando-se a técnica de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC). Esta técnica constitui uma ferramenta vital para a análise térmica e retrogradação de amidos (HARWALKAR, MA, 1990). Neste método, a diferença de energia entre uma determinada substância e um material de referência é medida em função da temperatura, enquanto ambos são submetidos a aquecimento programado ou resfriamento.

Cada amido tem suas temperaturas características de gelificação, T_o , T_p e T_c (temperaturas inicial, de pico e de conclusão, respectivamente) e sua entalpia de gelificação (ΔH) obtidas do DSC (TESTER, 1997). Depois de atingida a temperatura de conclusão (T_c), toda dupla hélice da amilopectina é dissociada, embora a expansão da estrutura granular possa ser conservada até que temperaturas mais altas e cisalhamento sejam aplicados. Acima de 95°C um gel amorfo é formado. O intervalo de temperatura T_c - T_o representa o período de gelificação (BLENNOW, 2000).

Chung, Woo, Lim (2004), fizeram a caracterização térmica do amido de milho inter cruzado em condições alcalinas com trimetafosfato e tripolifosfato de sódio (99:1), através de DSC na presença de excesso de água (67%) e também com reduzida quantidade de água (15%). Quando analisados em excesso de água a temperatura de transição do amido inter cruzado foi mais alta do que a do amido nativo. A entalpia também aumentou no amido inter cruzado, indicando um aumento na quantidade de água congelada. No entanto, na análise de DSC com quantidade limitada de água a temperatura de transição diminuiu após o inter cruzamento. Isto é um indicativo de que o volume livre entre as cadeias de amido aumentou devido a introdução de grupos iônicos fosfatos volumosos. A entalpia aumentou, mas a temperatura de pico da endoterma diminuiu quando o nível de inter cruzamento aumentou. A

entalpia de retrogradação depois de uma semana de armazenamento a 4°C foi diminuída pela modificação.

Na retrogradação do amido, o valor da entalpia fornece uma medida quantitativa da transformação de energia que ocorre durante a fusão e recristalização da amilopectina, resultando em uma medida precisa da temperatura de transição (T_0 , T_p e T_c) deste evento endotérmico (PERONI, 2003).

Dados encontrados na literatura demonstram que as modificações químicas alteram as propriedades térmicas dos amidos. A oxidação e acetilação reduzem a temperatura de pico (T_p) de gelatinização do amido nativo de cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) de 79,8 para 75,97 e 75,13, respectivamente, e o T_p aumenta após hidrólise ácida. Porém a entalpia de gelatinização (ΔH), aumenta após oxidação e acetilação e diminui após hidrólise ácida (LAWAL, 2004a). Para amido de milho híbrido succinilado e acetilado o ΔH é reduzido após estas modificações, entretanto, a faixa de temperatura de gelatinização aumenta (LAWAL, 2004b).

Defloor, Dehing, Delcour (1998), investigaram os efeitos que as estações do ano causam no cultivo e crescimento do amido de mandioca em suas propriedades de gelificação. Eles concluíram, dos resultados obtidos do DSC, que fatores genéticos e condições ambientais afetam as temperaturas de gelificação e entalpia. Eles 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 gelificação.

3.5 Amidos Modificados

A textura das pastas de amido usadas no preparo de alimentos processados, por vezes, sofrem mudanças nas suas propriedades porque elas são fortemente dependentes do calor, pH, congelamento/descongelamento e cisalhamento (MORIKAWA, NISHINARI, 2000). No Brasil a pesquisa sobre amidos é insipiente, poucas são as contribuições ao ajuste de processos ou desenvolvimento de novos amidos modificados a partir de amidos nativos (CEREDA, VILPOUX, DEMIATE, 2003).

As razões que levam à modificação, segundo Bemiller (1997), são: modificar as características de cozimento (gomificação); diminuir a retrogradação e a tendência das pastas em formarem géis; aumentar a estabilidade das pastas frente ao con-

gelamento/descongelamento, assim como, a transparência das pastas ou géis e a adesividade; melhorar a textura das pastas ou géis e a formação de filmes; adicionar grupamentos hidrofóbicos e introduzir poder emulsificante.

Amidos modificados são obtidos geralmente através de derivatização como eterificação, esterificação e cross-linking ; decomposição (hidrólise ácida ou enzimática e oxidação do amido) ou tratamento físico do amido usando calor e/ou umidade. Modificações químicas envolvem a introdução de grupos funcionais dentro da molécula do amido, resultando em alterações das propriedades físico-químicas. Assim modificações do grânulo do amido nativo alteram profundamente seu comportamento de empastamento, gelatinização e retrogradação (CHOI, KERR, 2003).

Amidos de grau alimentício são quimicamente modificados principalmente para aumentar a consistência, maciez e claridade da pasta e para conceder estabilidade frente a oscilações de temperatura e estocagem a frio (SHI , BEMILLER, 2000).

As modificações químicas do amido visam obter produtos em que as cadeias sejam menores, ou ainda, que elas sejam interligadas ou adquiram substituintes volumosos. A sua oxidação, por exemplo, através da introdução de grupos carboxila, retarda a retrogradação e provoca a formação de géis menos viscosos. A formação de ligações intermoleculares torna-o mais resistente ao calor e reduz o tamanho dos grânulos, dificultando a formação de gel. As reações de substituição, tais como fosfatação, hidroxialquilação e esterificação, reduzem a temperatura de gelatinização e tornam o gel mais resistente a retrogradação (ELIASSON, GUDMUNDSSON, 1996).

As propriedades químicas e funcionais conseguidas quando se modifica o amido por substituição química depende, entre outros fatores, da fonte do amido, condições da reação (concentração de reagentes, tempo de reação, pH e a presença de catalisador), tipo de substituinte e extensão da substituição (RUTENBERG, SOLAREK, 1984; WANG, WANG, 2002).

O intercruzamento adiciona ao acaso ligações intra- e inter-moleculares às moléculas do amido estabilizando e fortalecendo os grânulos (ACQUARONE, RAO, 2003). Pastas de amidos intercruzados são menos propensas a retrogradar frente a tempos longos de cozimento, diminuição da acidez ou cisalhamento severo (HIRSCH, KOKINI, 2002). Huijun, Ramsden, Corke, (1999) compararam as propriedades do amido de arroz nativo e modificado por fosfatação e obtiveram mudanças como: Aumento na estabilidade ao cisalhamento, diminuição do poder de intumescimento e

solubilidade, picos de viscosidade sem quedas evidenciados através do RVA (Rapid Visco Analyser), aumento da temperatura de gelatinização além de diminuição do fenômeno de retrogradação. Resultados semelhantes foram encontrados por An-I-Yeh, Su-Lan-Yeh (1993) ao investigarem o amido de arroz fosfatado com POCl_3 .

O amido fosfatado diéster ou inter cruzado é geralmente obtido por tratamento do grânulo do amido com reagentes multifuncionais, como trimetafosfato de sódio, fosfato monossódico, tripolifosfato de sódio, epicloridrina, oxicloreto de fósforo, mistura de ácido adípico e anidrido acético, que são os principais agentes usados para se obter amidos inter cruzados de grau alimentício (WATTANCHANT *et al.*, 2003). Woo, Seib (2002), caracterizaram as propriedades de amidos inter cruzados nas mesmas condições do presente estudo de trigo, trigo ceroso, milho, milho ceroso, ervilha, arroz, mandioca, feijão, banana e batata e concluíram que após a modificação os amidos apresentaram baixo poder de intumescimento (aprox. 3 g/g) a 95°C, solubilidades inferiores a 1% e diminuição da entalpia de gelatinização quando mensurada em DSC.

Os amidos modificados são caracterizados mediante parâmetros, frequentemente, dependentes do tipo de derivado que está sendo produzido. O grau de substituição (GS), que caracteriza todos os amidos derivados, é a determinação do número médio (expresso em base molar) de grupos hidroxila de cada unidade D-glucopiranosil que foi derivatizada. O cálculo do GS é realizado conforme exposto na equação 1.

Equação 1 – Fórmula para o cálculo do grau de substituição do amido modificado

$$GS = \frac{162W}{100M - (M - 1)W} \quad \text{Onde:}$$

W = peso do substituinte (%)

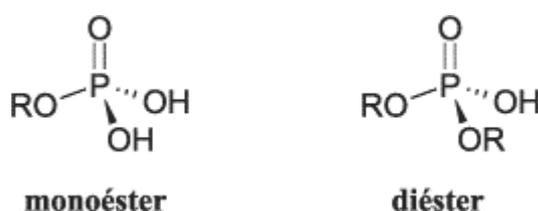
M = peso molecular do substituinte

O número máximo possível para o grau de substituição do amido é 3, já que três unidades hidroxilas estão potencialmente disponíveis, muitos amidos modificados apresentam GS menor que 0,2 (RUTEMBERG, SOLAREK, 1984).

3.5.1 Amido modificado por fosfatação

Os amidos fosfatados têm sido agrupados em duas classes: amido fosfatado monoéster e amido fosfatado diéster ou intercruzados (SITOHY *et al.*, 2000). Os amidos do tipo monoéster são tradicionalmente preparados por reação do amido seco com tripolifosfato de sódio ou ortofosfato de sódio em alta temperatura (150°-160°C) com pH abaixo de 7.0 (LIM & SEIB, 1993; PASCHALL, 1964). Com pH na faixa de 8.0 a 12.0 as reações são aceleradas produzindo fosfatos diésteres (MUHAMMAD *et al.*, 2000).

Geralmente amidos monoésteres podem ter um grau de substituição (GS) mais alto do que os amidos com ligações cruzadas, porque mesmo muito poucos intercruzamentos podem drasticamente alterar as propriedades do gel e da pasta do amido. Amidos fosfatados (mono ou diéster) (Figura 3) são convencionalmente produzidos por reação direta com sais de orto, meta, piro, ou tripolifosfato e oxiclreto de fósforo (PASCHALL, 1964).



R = Moléculas de amido.

Figura 3 – Estruturas dos substituintes mono e di-éster fosfato.

Fonte: DOMINGOS, LONGHINOTTI, VANDERLEI (2003).

A modificação química por fosfatação originando amido monoéster, caracteriza-se por aumentar o poder de intumescimento e a solubilização dos grânulos, reduzir a retrogradação (SIVAK, PREISS, 1998) e a temperatura de gelificação, bem como aumentar a claridade da pasta e a viscosidade do gel, além disso, o amido adquire boa estabilidade a ciclos de congelamento/descongelamento, possibilitando seu uso em produtos congelados (STAHL, 2003).

A viscosidade das dispersões de amido são fortemente influenciadas pelo intumescimento dos grânulos de amido. Por sua vez, o intumescimento característico dos grânulos de amido primariamente depende da variedade e origem do amido (LINEBACK, 1984; SWINKELS, 1985). Em amidos de cereais com alto teor de amilopectina como amido de milho ceroso (99% de amilopectina) os grânulos tendem a hidratar mais fácil, inchar rapidamente, e romper por uma grande extensão. Como resultado, a pasta de amido perde viscosidade (LINEBACK, 1986).

O intercruzamento destina-se a acrescentar ligações químicas aleatoriamente aos grânulos de amido. Estas ligações químicas estabilizam os grânulos e, conseqüentemente, reforçam a relativa tendência dos grânulos ao intumescimento (LANGAN, 1986).

A fosfatação é um método simples, de baixo custo e de eficientes resultados, as características dos amidos fosfatados estão diretamente relacionadas com o grau de substituição (grupos fosfatos adicionados) da molécula de amido, sendo o binômio tempo-temperatura fator decisivo para a modificação química apropriada. A esterificação do amido na presença de fosfato pode ocorrer em qualquer hidroxila e o éster PO_4 quimicamente ligado está na forma dibásica (CRUZ, EL DASH, 1984).

Os sais de fósforo adicionados durante a modificação não se ligam em sua totalidade ao amido. Diante disto, após o processo de fosfatação, é preciso submeter o amido à diálise, realizada com o objetivo de remover os sais de fósforo não ligados que não contribuem para as alterações das características reológicas do amido e ainda, o torna impróprio para aplicação em alimentos, pelo alto teor de fósforo. No caso do amido modificado por fosfatação, o Codex Alimentarius preconiza níveis de fósforo não superiores a 0,5% para amido de batata e trigo; e 0,4% para aqueles provenientes de outras fontes, incluindo o arroz (FAO, 2006).

3.5.1.1 Amidos fosfatados diéster ou intercruzados

Durante o processamento dos alimentos, as dispersões de amido são submetidas a diversas limitações, como altas temperaturas durante esterilização (UHT) (120-130°C, durante 5-15s) e forças de cisalhamento ao longo de um vasto leque de taxas de cisalhamento: de 10^1 a 10^3 s^{-1} para mistura, bombeamento, troca de calor,

e até 10^5 s^{-1} para homogeneização (KUHN, SCHLAUCH, 1994; LOH, 1992; LAGARRIGUE, ALVAREZ, 2001).

Amidos nativos são altamente sensíveis ao calor e forças de cisalhamento que afetam a integridade dos grânulos do amido, levando a uma diminuição na viscosidade dos produtos durante o processo. Por esse motivo, os amidos fosfatados têm sido extremamente utilizados, sendo a ligação cruzada uma das mais importantes modificações químicas, pois esta confere ao grânulo uma estrutura macromolecular mais rígida no seu interior. Estas ligações reforçam as pontes de hidrogênio naturais, retardam a velocidade de absorção de água no grânulo e reduzem a sensibilidade do grânulo intumescido à ruptura (NABESHIMA, 2005).

O inter cruzamento reforça as ligações de hidrogênio, com ligações químicas que agem como pontes entre as moléculas do amido. Como resultado, os amidos inter cruzados tornam-se resistentes à alta temperatura, baixos pH e cisalhamento, e obtêm melhora em propriedades como textura e viscosidade do amido nativo (YO-OK, PEK, PARK, 1993).

Usando amido inter cruzado em condições adequadas, é possível obter o intumescimento do grânulo sem ruptura do granulado, e conseqüentemente consegue-se o controle das propriedades reológicas de produtos alimentares à base de amido (NAYOUF, LOISEL, DOUBLIER, 2003). As propriedades de intumescer e gelatinizar do amido nativo são inibidas pelas ligações cruzadas, o que leva a derivados amplamente usados como espessantes, devido a sua estável viscosidade (WURZBURG, 1986; WOO, SEIB, 1997).

O inter cruzamento altera não só as propriedades físicas, mas também a transição térmica característica do amido, e o efeito da modificação depende da fonte botânica do amido e do agente modificador. Diminuição na taxa de retrogradação e aumento na temperatura de gelatinização têm sido observados em amidos de ligações cruzadas, estes fenômenos se devem à redução da mobilidade das cadeias amorfas no grânulo do amido como resultado das pontes intermoleculares formadas (MORIKAWA, NISHINARI, 2000).

Nos Estados Unidos, o uso de agentes de inter cruzamento para uso do amido em alimentos é regulado pelo Code of Federal Regulations, em que ortofosfato monossódico, trimetafosfato de sódio, tripolifosfato de sódio e oxiclreto de fósforo são permitidos (CFR, 2001). Quando trimetafosfato de sódio é utilizado (figura 4), o con-

teúdo de fósforo no amido modificado não pode exceder 0,04%, porém, quando o amido é modificado com uma mistura de trimetafosfato de sódio/ tripolifosfato de sódio o nível permitido de fósforo é dez vezes maior (0,4%).

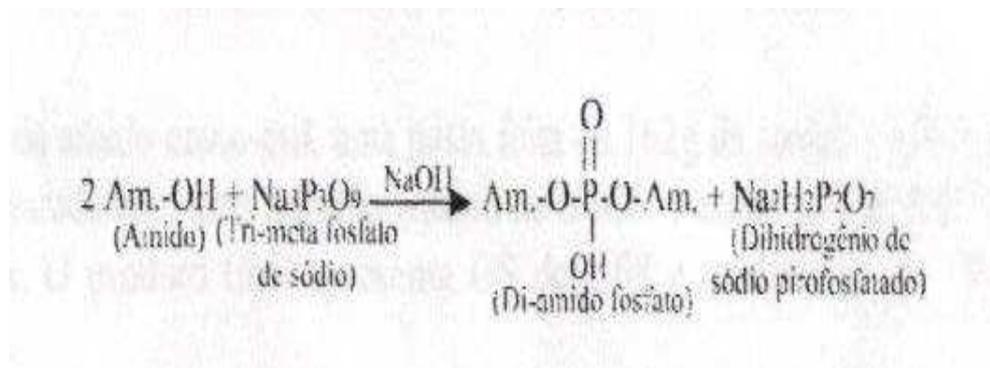


Figura 4 – Reação de fosfatação com trimetafosfato de sódio.

Fonte: Franco *et al.* (2002)

Cooreman, Vanrensborg, Delcour (1995), ao investigarem o perfil de viscosidade e solubilidade do amido de milho nativo e fosfatado com uma mistura de trimetafosfato de sódio e epicloridrina, concluíram que a viscosidade final do amido modificado diminuiu com o aumento do nível de intercruzamento e que a solubilização dos amidos foi completa para a fécula nativa e diminuiu consideravelmente para a intercruzada. Análises utilizando microscopia ótica mostraram que o amido intercruzado após aquecimento em água foi convertido em um sistema bifásico consistindo de restos de grânulos insolúveis e uma solução de amido.

3.5.2 Amido modificado por succinilação

A derivatização do amido com um substituinte iônico tal como o succinato de baixo grau de substituição (GS) converte-o em um polieletrólito, que faz com que o amido adquira propriedades típicas do mesmo, como aumento do caráter hidrofílico e viscosidade da solução (BHANDARI, SINGHAL, 2002a).

Segundo Swinkels (1996), succinatos de amido podem ser obtidos pelo tratamento de amido granular em suspensão aquosa alcalina com anidrido succínico. Semi-ésteres de octenil-succinato de amido são elaborados pelo tratamento de suspensões aquosas de amido com anidrido octenil-succínico. A introdução de radicais

hidrofóbicos a baixo nível de GS (0,01 a 0,1), empresta algumas propriedades hidrofóbicas aos amidos, sem destruir a dispersibilidade em água dos mesmos. Os amidos succinatos com alto GS são solúveis em água fria e possuem baixa temperatura de gelificação (MOORTHY, 2000). Segundo o autor, os amidos succinatos são usados como ligantes e espessantes em alimentos.

Esta modificação é conhecida também por enfraquecer as ligações internas que prendem os grânulos entre si (BHANDARI, SINGHAL, 2002b). O succinato adicionado ao amido oferece muitas propriedades desejáveis como estabilidade a baixas temperaturas, alto poder de espessamento, baixa temperatura de gelatinização, aumento da claridade da pasta, filmes com boas propriedades e reduzida tendência à retrogradação (LAWAL, 2004a).

A succinilação do amido modifica suas propriedades físico-químicas, possibilitando uma larga extensão de aplicações industriais em alimentos e produtos não-alimentares como na indústria farmacêutica, de papel e têxtil. A modificação do amido nativo em derivados succinato além de reduzir a temperatura de gelatinização e retrogradação, melhora a estabilidade frente ao congelamento-descongelamento assim como a estabilidade em meios contendo sais e ácidos (TRUBIANO, 1987).

A claridade da pasta e a tendência à retrogradação influenciam a qualidade tecnológica do amido. Uma eqüitativa transparência na pasta é desejável em recheios para tortas, onde transparência é desejável, e em molhos para saladas e sobremesas instantâneas. A claridade da pasta é influenciada por muitos fatores como concentração, pH, extensão e tipo de modificação. A substituição química das cadeias com grupos succinatos resulta na inibição da estrutura ordenada da pasta de amido, desse modo retardando a retrogradação, e resultando em pastas mais fluidas e de claridade melhorada (CRAIG et al., 1989).

Segundo Bhandari, Singhal (2002a) a % de grupos succinil adicionadas à molécula de amido é principalmente dependente do tempo, ou seja, quanto maior o tempo de duração da reação de succinilação maior o grau de substituição da molécula pelos grupos succinil (figura 5).

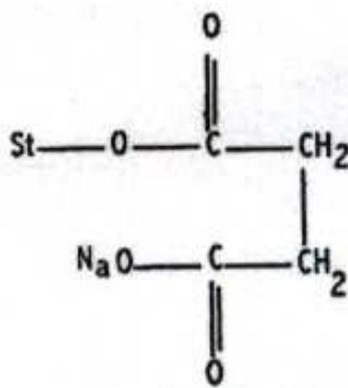


Figura 5 – Estrutura do amido succinilado.

Fonte: Bhandari, Singhal, Kale (2002)

Segura-Campos *et al.* (2008), ao caracterizarem o feijão do tipo fava (*Phaseolus lunatus*) modificado com anidrido octenil-succínico na concentração de 1 a 3% efetuaram a modificação em pH 7 e 9 e a reação prosseguiu em dois tempos 30 e 60 minutos. O tratamento utilizando 3% de reagente a pH 7 e 30 min, produziu 0,5% de grupos succinil e 0,008% de substituição (GS). Os autores detectaram diminuição da temperatura de gelatinização (75,3-64,6°C), diminuição da entalpia (10,7-9,7 J/g), e aumento na viscosidade. Entretanto, chegaram à conclusão que a modificação não melhorou a estabilidade do amido frente a ciclos de congelamento e aquecimento.

3.6 Amido e Tecnologia

Quando uma dispersão de amido é aquecida em água, acima da temperatura de gelatinização, os grânulos de amido incham, isso reforça propriedades como viscosidade e gelificação sob refrigeração, promovendo a utilização do amido como um agente espessante em produtos alimentares (NAYOUF, LOISEL, DOUBLIER, 2003).

Dependendo do tipo, o amido pode, entre outras funções, facilitar o processamento, servir como espessante em sopas, caldos e molhos de carne, fornecer sólidos em suspensão, ser ligante em embutidos de carne, estabilizante em molhos para salada, ou ainda proteger os alimentos durante o processamento (GUILBOT, MERCIER, 1985; CEREDA, 2002).

O amido possui características que garantem a sua aplicação tecnológica em diversas áreas da indústria alimentícia, porém, algumas características, como inso-

lubilidade em água fria, baixa estabilidade frente a ciclos de congelamento/descongelamento e tendência à retrogradação precisam ser melhoradas para ampliar a sua utilização (SITOHY *et al.*, 2000).

Sandhu, Singh, Kaur (2004) demonstrou que a retrogradação em géis de amido de diferentes tipos de milho aumentou com o período de estocagem. Assim, a retrogradação prejudica o uso de amido em alimentos estocados por um longo período de tempo, principalmente se a armazenagem for sob refrigeração, fator que acelera este fenômeno, bem como, a perda de água por sinérese.

As pastas de amidos de milho, trigo ou arroz, que contêm teores relativamente elevados de amilose se tornam opacas e formam géis durante o resfriamento. Pastas obtidas de féculas de batata ou de mandioca, por outro lado, geralmente permanecem mais claras (menos opacas) e, embora ao resfriarem apresentem um certo aumento de viscosidade, não chegam a formar géis opacos. No caso de pastas de amido de milho ceroso, as mesmas se comportam como as obtidas de féculas, tendo inclusive menor tendência à retrogradação (WURZBURG, 1986).

A agregação e recristalização das moléculas de amido (retrogradação) podem levar à rigidez e sinérese de suas pastas, prejudicando a textura, a aceitabilidade e a digestibilidade de alimentos contendo amido (BERRY, 1988). Neste contexto, visando atender a demanda de características reológicas específicas exigidas pelos novos produtos alimentícios, os amidos podem ser modificados tendo suas propriedades naturais tecnologicamente melhoradas (CEREDA, 1996).

3.7 Aplicação de amidos modificados em produtos *light*

A ingestão de uma dieta rica em gordura está associada com o aumento da obesidade e com as alterações decorrentes desta. Estudos clínicos e experimentais fornecem evidências da relação entre consumo de gordura saturada e alta taxa de colesterol sanguíneo e doenças coronarianas (GEISE, 1996). Os termos *fat-free*, sem açúcar, caloria reduzida, *light*, sem colesterol e baixo teor de sódio têm sido utilizados como apelos importantes para os consumidores, que estão constantemente em busca de alimentos mais saudáveis, mas que mantenham seu sabor original (PECK, 1994).

Desta forma, dietas baseadas em alimentos com teor reduzido de gorduras e calorias são recomendadas para a perda e manutenção de peso, porém, em grande parte, há certa rejeição da população por esse tipo de dieta devido à baixa qualidade organoléptica desses produtos (DEVEREUX *et al.*, 2003).

A gordura desempenha papel funcional e sensorial fundamentais na fabricação e aceitabilidade do produto, sendo responsável pela sua estabilidade, palatabilidade, *flavor*, textura, estrutura, brilho, aroma e cremosidade (PICTRASIK, 1999). Vários estudos têm demonstrado diminuição significativa nos escores sensoriais para maciez, suculência, consistência e *flavor* (FREDERICK, 1994), nos quais a gordura é elemento essencial, ficando estes prejudicados com sua retirada (MANSOUR & KHALIL, 1997). O uso de substitutos de gordura melhora tais propriedades e, ao mesmo tempo, não aumenta o valor calórico do alimento (DRAKE *et al.*, 1996).

O termo substituto de gordura, aplica-se a substâncias que, quando utilizadas para substituir a gordura tradicional contida em um alimento, apresentam certas propriedades físicas e organolépticas desejáveis de uma substância gordurosa e, ao mesmo tempo, não apresentam características indesejáveis das mesmas. Os substitutos de gordura são classificados de acordo com sua natureza, em: derivados de carboidratos, de proteínas ou de compostos sintéticos derivados de ácidos graxos (BYRNE, 1992).

Nos Estados Unidos, os substitutos de gordura derivados de amido têm despertado maior interesse (53%) quando comparados aos substitutos à base de proteínas (43%), gomas (29%) ou gorduras sintéticas (0,9%). Os substitutos derivados de amido são considerados ingredientes em alimentos, sendo classificados na categoria GRAS (Generally Regarded as Safe) (DEA, 1992). Todavia, não se deve menosprezar o caráter energético dos substitutos de gordura a base de amidos modificados, pois em grande quantidade podem favorecer o ganho de peso e problemas como o aumento do nível de glicose no sangue.

São citados amidos modificados com características funcionais similares às da gordura obtidos por meio de tratamentos ácido, enzimático e/ou físico (AMERICAN MAIZE PRODUCTS COMPANY, 1991) ou por substituição química. Amidos hidrolisados em altas concentrações (25-50%) e com valores de dextrose equivalente inferiores a 20 % podem ser utilizados como substitutos de gordura, proporcionando características funcionais e sensoriais similares às da gordura (LUCCA, TEP-

PER, 1994). Os amidos modificados, química e fisicamente, já vêm sendo usados a algum tempo como ligantes para manter a suculência e a maciez em produtos cárneos com baixo teor de gordura (GEISE, 1992), sendo populares nestas indústrias não somente por suas propriedades funcionais, mas também, por seu baixo custo (PICTRASIK, 1999).

De acordo com Cândido, Campos (1996), entre os principais tipos de amido modificados utilizados como substitutos de gordura estão o fosfato diamido, fosfato diamido fosfatado e fosfato diamido acetilado. Khalil (2000) investigou a inclusão de amido modificado de milho como substituto de gordura na formulação de bifes empanados, obtendo rendimento após cozimento maior que o controle e melhora nas propriedades sensoriais, exceto a intensidade do *flavor*, que foi prejudicado. Estudos indicam que os amidos modificados por fosfatação conferem maciez e suculência aos produtos, devido à maior retenção de água proporcionada pelo amido (AIME *et al.* 2001). Teixeira (2002) relata que a presença de radicais fosfatos na molécula do amido confere poder emulsificante, e de fato, o amido fosfatado já vem sendo utilizado como substituto de gordura em maionese.

Mounsey, O’Riordan (2008), formularam uma imitação de queijo com o intuito de examinar as interações que ocorrem no sistema amido-proteína no aspecto reológico e microestrutural. Imitações de queijo contendo 3% de amido nativo com diferentes níveis de amilose (2,5%, 15% e 28%), amido pré-gelatinizado, inter cruzado ou inter cruzado e acetilado de arroz foram elaborados e comparados com um controle (0% de amido). A microscopia eletrônica de varredura mostrou pequenos e bastante emulsificados glóbulos de gordura em queijos contendo 15% de amilose ou amido inter cruzado quando comparados com o controle, enquanto que os queijos contendo amido com 2,5% de amilose ou amido pré-gelatinizado ficaram menos emulsificados. Nos queijos contendo amido inter cruzado acetilado observou-se partículas de amido no interior das proteínas, indicando um alto grau de hidratação. Com exceção do amido inter cruzado, todos os amidos reduziram a dureza do queijo estudado, particularmente aqueles com decréscimo do conteúdo de amilose. O tempo de estocagem aumentou significativamente em todas as temperaturas examinadas (22-80°C) com a inclusão de amido nativo com 28 % de amilose, amido inter cruzado e amido inter cruzado e acetilado.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Matéria-prima

Raízes de batata-doce da variedade “paulista”, provenientes do município de Mamanguape Estado da Paraíba, foram utilizadas como matéria-prima.

As análises foram realizadas em laboratórios do Departamento de Tecnologia Química e de Alimentos (DTQA) do Centro de Tecnologia (CT), e no Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Farmacêuticos (LCQPF) no Centro de Ciências da Saúde (CCS) da Universidade Federal da Paraíba.

4.2 Extração do amido

A extração do amido de batata-doce foi efetuada conforme Leonel, Cereda (2002), e encontra-se ilustrada na Figura 6. O material cortado em pequenos cubos foi deixado em imersão por 24 horas na solução de metabissulfito de potássio (0,2%) com o intuito de amolecer as raízes e assim facilitar a liberação do amido na trituração, além de evitar o escurecimento enzimático e o crescimento microbiológico.

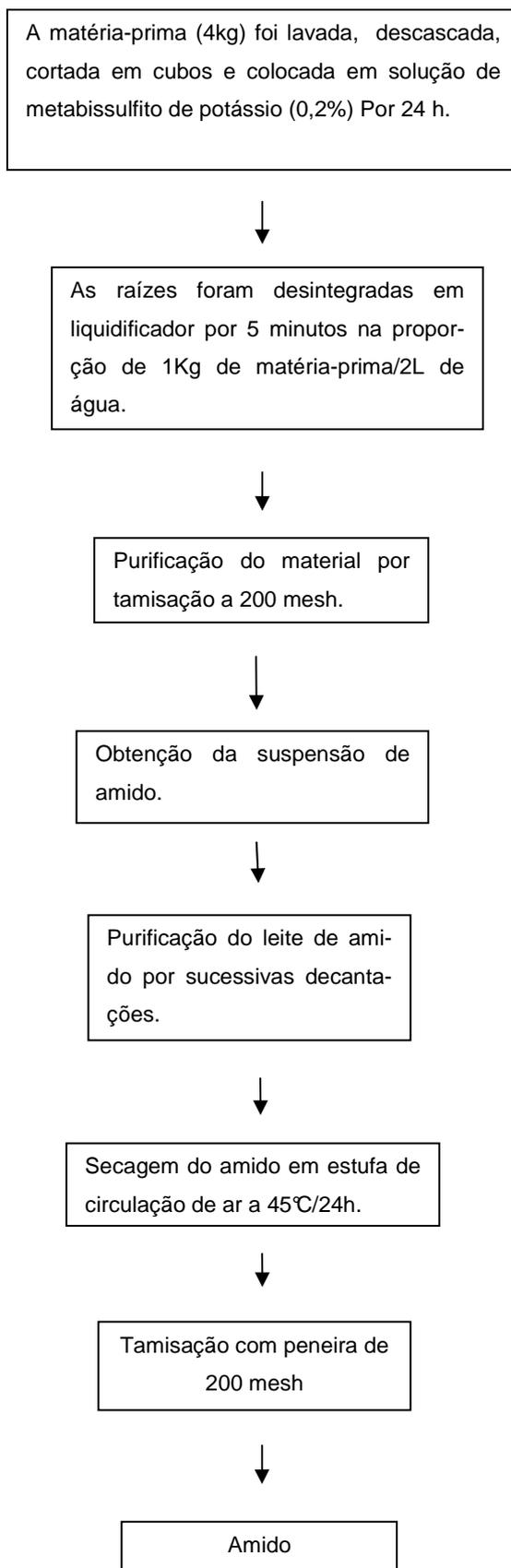


Figura 6 - Fluxograma da extração do amido de batata-doce em laboratório.

4.3 Composição centesimal

O amido nativo foi avaliado quanto aos teores de umidade (perda por dessecação em estufa à 105 °C até peso constante), cinzas (por incineração em forno mufla a 550 °C até peso constante), lipídios (extração com hexano em aparelho Soxhlet) e proteínas (processo de digestão Kjeldahl). A quantidade de amido foi determinada através da hidrólise ácida em autoclave, seguida da determinação de açúcar redutor. Todas as metodologias estão descritas nas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (SÃO PAULO, 1985).

4.4 Modificação do amido

4.4.1 Succinilação do amido

A succinilação do amido foi realizada utilizando o método descrito por Sathe, Salunke (1981). Uma amostra de 100g de amido foi dispersa em 500 mL de água destilada, a mistura foi agitada por 10 minutos e seu pH ajustado para 8,0 com NaOH 1M. 10,2g de anidrido succínico foi adicionado aos poucos durante 2 horas, mantendo o pH da mistura em torno de 8,0. Após o término da adição do anidrido succínico a reação prosseguiu sob agitação até que o pH permanecesse constante. Em seguida o pH da amostra foi ajustado para 4,5 usando HCl 1M. A mistura foi filtrada, lavada 6 vezes com água destilada e seca em estufa com circulação de ar a 40°C por 24 h. Posteriormente foi tamisada (200 mes h) e armazenada em recipiente fechado sob refrigeração.

4.4.1.1 Determinação do grau de substituição (GS) do amido succinilado

O método utilizado foi o de Genung, Mallatt (1941), onde 1g de amido succinilado foi pesado e transferido para um erlenmeyer, 50 mL de etanol à 75% foi adicionado. Logo após, adicionou-se 40 mL de NaOH 0,5 M. O frasco foi vedado e deixado em repouso por 72 horas. Ocorreu uma reação de saponificação e o excesso de álcali foi determinado por titulação com HCl 0,5 M usando fenolftaleína como indica-

dor. O amido nativo foi tratado da mesma forma para se obter o valor do branco. A porcentagem de succinilato e o grau de substituição foram calculados conforme as equações abaixo.

$$\% \text{ succinilato} = \frac{(\text{Vol. do branco} - \text{Vol. da amostra}) \times 0.1 \times \text{Molaridade do ácido} \times 100}{\text{Peso da amostra (g)}}$$

$$\text{Grau de substituição (GS)} = \frac{162 \times W}{100M - (M-1)W}$$

4.4.2 Fosfatação do amido

O amido fosfatado foi obtido de acordo com o método descrito por Woo (1999). 100g do amido de batata-doce, 10g de sulfato de sódio e 12g de uma mistura (99:1) de trimetafosfato de sódio e tripolifosfato de sódio, respectivamente, foram misturadas em água (140 mL). A mistura foi ajustada para pH 11 por adição de NaOH 1 M, e submetida a agitação por 3h a 45°C. Após este período a suspensão foi ajustada para pH 6,5 por adição de HCl 1 M, e então centrifugada (3000 g/10 min). Em seguida, foi lavada extensivamente com água destilada (7 vezes). Depois foi seca por uma noite a 40°C em estufa de circulação de ar, o amido fosfatado obtido foi então pulverizado com o auxílio de um gral, tamisado (200 mesh) e armazenado sob refrigeração em embalagem fechada.

4.4.2.1 Determinação do grau de substituição (GS) do amido fosfatado

O teor de fósforo contido nos amidos antes e após a fosfatação foi quantificado de acordo com a técnica descrita por Ranganna (1991). Para se obter o grau de substituição da modificação, tomou-se a porcentagem de fósforo ligado e aplicou-a na fórmula para cálculo do GS.

4.5 Propriedades Funcionais

4.5.1 Poder de intumescimento e solubilidade do amido em função do pH e da temperatura

As metodologias utilizadas para a quantificação do poder de intumescimento e solubilidade do amido em função do pH e da temperatura foram, respectivamente, as descritas por Sathe, Salunkhe (1981) e Lawal, Adebowale (2005). A solubilidade foi expressa em porcentagem de peso do resíduo existente no sobrenadante enquanto o poder de inchamento em vezes de ganho de peso em relação à massa de amostra inicial.

Para verificar o efeito do pH sobre tais propriedades 100 mg de cada amido foi pesado em tubos de centrífuga, e o conjunto (amido + tubo) foi chamado de W_1 . Foram adicionados 10 mL de água destilada e os tubos foram agitados por 30 segundos. O pH da mistura foi ajustado para 3, 5, 7, 9 e 12. As amostras foram deixadas em repouso por 1h à 30°C. e em seguida centrifugadas à 7500 g por 15 minutos. Com relação ao poder de intumescimento e solubilidade do amido em função da temperatura, a mistura (amido-água na mesma proporção) foi aquecida nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90°C por 30 minutos em banho-maria. A mistura foi então resfriada até temperatura ambiente e centrifugada (7500 g por 15 minutos). feito isso, alíquotas de 5 mL do sobrenadante obtidas após centrifugação foram secas em estufa a 105°C até peso constante. O resíduo seco representa o amido solúvel em água e a solubilidade foi calculada conforme descrito na equação abaixo. O resíduo obtido após centrifugação e descarte do sobrenadante foi pesado (tubo + resíduo = W_2) e utilizado no cálculo do poder de intumescimento do amido.

$$\% \text{ Solubilidade} = \frac{\text{Resíduo seco} \times 100}{\text{Peso do amido}}$$

$$\text{Poder de Intumescimento} = \frac{W_2 - W_1}{\text{Peso do amido}}$$

4.5.2 Transparência do gel

A transparência foi determinada conforme Lawal (2004b). Os amidos foram pesados em tubos de ensaio, 500 mg do nativo e succinilado e 1 g do fosfatado. Em seguida foram adicionados 10 mL de água destilada e o amido fosfatado foi alcalinizado com NaOH 1M para que ocorresse a formação de gel. Os tubos foram então deixados em um banho-maria fervente por 30 minutos. As amostras após o aquecimento foram resfriadas a temperatura ambiente e sua transmitância determinada à 650 nm durante sete dias de armazenamento à 5°C.

4.5.3 Estudos de gelificação

O método utilizado foi o de (Lawal, 2004b). Amostras do amido nativo e succinilado 0,1-1% (p/v) e do amido fosfatado 2 -20% foram preparadas em tubos de ensaio com 5 mL de água destilada, o amido fosfatado foi alcalinizado a pH 14 (Condição intrínseca para ocorrer a gelatinização deste amido) e as suspensões de amido foram agitadas por 1 minuto. Os tubos foram submetidos ao aquecimento por 30 minutos à 80°C, seguido de resfriamento até chegar a temperatura ambiente. Posteriormente, os tubos foram mantidos à 4°C por 2 h. A concentração mínima de amido necessária para a ocorrência da gelatinização foi determinada como aquela em que a amostra contida no tubo quando este é invertido não escorrega por ele.

4.5.4 Capacidade de absorção de água e óleo

A determinação da capacidade de absorção (CA) de água e óleo foi feita segundo a metodologia de Lawal, Adebawale (2005). 2,5 mL de água foram adicionados a 250 mg de cada amido. A suspensão foi agitada por 30 segundos e deixada em repouso por 30 minutos. A mistura foi então centrifugada por 1 minuto a 7500 g. O sobrenadante foi descartado.

O mesmo procedimento foi realizado com óleo (vegetal). A quantidade de água e óleo absorvida foi calculada conforme equação abaixo.

Equação 6:

$$\% \text{ CA} = \frac{\text{Peso da água/óleo ligado} \times 100}{\text{Peso da amostra}}$$

4.5.5 Viscosidade Relativa

A viscosidade dos amidos foi determinada com a utilização de um Viscosímetro de Ostwald, adaptado a um banho-maria Schott modelo CT 52. Primeiramente, suspensões dos amidos foram preparadas nas concentrações: 0,5%, 0,75%, 1%, 2%, 3 e 4%, em seguida foram homogeneizadas, adicionadas ao aparelho e a viscosidade de cada concentração foi medida à 80 °C. Assim, os valores obtidos foram determinados conforme a variação da concentração. Para avaliar a viscosidade em função da temperatura, utilizou-se a concentração de 1%, e as temperaturas utilizadas foram: 50, 60, 70, 80 e 90 °C. A viscosidade também foi avaliada conforme a variação do pH: 3,0; 4,0; 5,0; 7,0 e 9,0 e temperatura ambiente. A viscosidade relativa de cada suspensão foi determinada em relação à água.

4.6 Propriedades Térmicas

A gelatinização e a retrogradação dos amidos foram medidas de acordo com o método empregado por Lawal, Adebawale (2005), usando o Calorímetro Exploratório Diferencial, DSC-50 Shimadzu, equipado com um software de tratamento de dados (Tasys 50). 6,0 µL de água destilada foram adicionados a 2,0 mg de amido em cápsulas de alumínio previamente taradas, feito isto foram hermeticamente fechadas, e mantidas a 30 ± 2 °C por um período de 24 horas, para garantir o equilíbrio do amido com a água. As amostras foram analisadas (1º dia) na faixa de 30°C-150°C na razão de aquecimento de 10° C/min, em atmosfera de nitrogênio com fluxo de 50 mL/min, usou-se uma cápsula de alumínio vazia como referência. As cápsulas aquecidas foram então resfriadas e em seguida foram mantidas em temperatura ambiente por sete dias e uma nova análise nas mesmas condições foi efetuada. A temperatura inicial (To), temperatura de pico (Tp), temperatura de conclusão (Tc) e a entalpia (ΔH, J/g) foram determinados.

4.7 Análise estatística

Aos dados da composição centesimal e propriedades funcionais, foi aplicada a estatística descritiva com observação das médias e desvio padrão de três repetições. Às propriedades funcionais aplicou-se a análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey ao nível de 5% de significância para comparação entre as médias que foram obtidas.

As amostras foram inicialmente submetidas ao teste de Normalidade K-S e posteriormente à Análise de Variância – ANOVA (Teste F), seguida do teste de Tukey para múltiplas comparações, nos quais considerou-se o nível de probabilidade de erro (p) menor que 5% para definir a significância, calculados em conjunto com a média e desvio padrão, pelo programa SPSS for Windows – 11.0 (SPSS. INC, 2001) conforme Maroco (2003)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Composição centesimal do amido nativo

Segundo Peroni (2003) componentes como lipídios, proteínas e cinzas fazem parte da composição do amido. A quantidade destes constituintes irá depender da composição da planta e do método de extração e purificação utilizado. Quanto menor o teor destas substâncias, melhor a qualidade do amido.

O resultado da análise centesimal do amido nativo da batata-doce está presente na tabela 1.

Tabela 1 – Composição centesimal do amido nativo de batata-doce

Constituintes	(%)
Amido	82,44 ± 0,25
Umidade	11,25 ± 0,49
Lipídios	0,12 ± 0,02
Cinzas	0,06 ± 0,01
Proteínas (N x 6,25)	0,35 ± 0,03
Fósforo	0,03 ± 0,01
Outros (por diferença)	5,75

* Cada valor representa a média e o desvio-padrão de três determinações.

O método para extração e purificação do amido em nível laboratorial mostrou-se eficiente, uma vez que, o teor de amido obtido foi de 82,44 %, valor que se aproxima do obtido por Leonel *et al.* (2004) ao estudarem amido de batata-doce da variedade Brazlândia roxa (82,35%) e da variedade Brazlândia rosada (82,59%). Este resultado encontra-se abaixo do conseguido por Leonel, Jackey, Cereda (1998) ao extrair o amido da batata-doce por processamento industrial.

O teor de umidade do amido isolado foi inferior ao encontrado na literatura, 12,88 %. Leonel *et al.* (2004) afirma que esta diferença se deve ao tempo e condições de secagem.

Com relação a lipídios, cinzas e proteínas estes se apresentaram em pequenas quantidades, o que comprova a pureza do amido. Peroni (2003) após extração do amido de batata-doce obteve valores de 0,14% para lipídios e 0,21 % para cinzas. Para proteínas o valor encontrado no presente trabalho encontra-se abaixo do encontrado por Garcia, Walter (1998) que foi de 0,38%.

O amido presente nos vegetais após sua extração e purificação sempre carrega consigo parte dos componentes presentes nos tecidos parenquimáticos como proteínas, lipídios e cinzas. Embora estejam presentes em pequenas quantidades no amido estas substâncias podem interferir nas propriedades físico-químicas e funcionais dos mesmos, o ideal é que a quantidade destes constituintes seja a menor possível (LEONEL, CEREDA, 2002).

5.2 Grau de modificação do amido succinilado

A preparação do amido succinilado com o anidrido succínico na concentração de 2% atingiu uma quantidade de 2% de grupos succinil resultando em um grau de substituição (GS) de $0,03 \pm (0,001)$. Este resultado se aproxima ao obtido por Lawal (2004b), que ao estudar o amido succinilado de milho híbrido obteve 3% de grupos succinil e 0,05 de GS. Bhandari, Singhal (2002a) ao estudarem a relação entre a % de succinil e o tempo de reação em amido de milho constataram, nas mesmas condições do presente estudo, que em 2 horas a % de grupos succinil obtida é de 2% e o GS corresponde à 0,05.

5.3 Grau de modificação do amido fosfatado, inter cruzado ou diéster

A modificação incorporou no amido uma quantidade de fosfato equivalente a 0,27% e conseqüentemente um grau de substituição de 0,004. O Codex Alimentarius preconiza o limite de 0,4% de resíduos de fosfato para este tipo de amido. Bertolini *et al.* (2003), ao estudar o comportamento do amido de trigo em diferentes níveis de inter cruzamento, obteve, em um destes níveis, GS igual ao do presente estudo. Assim como, Chung, Woo, Lim (2004) ao modificar amido de milho usando a mesma técnica deste trabalho.

5.4 Propriedades funcionais

5.4.1 Poder de intumescimento e solubilidade

5.4.1.1 Poder de intumescimento e solubilidade em função da temperatura

O grau de inchamento e solubilidade é dependente da espécie do amido, e do tipo e extensão da modificação (BUCHHOLZ, DORN, THOMAS, 1996). Os grânulos de amido apresentam áreas cristalinas e amorfas. As áreas cristalinas mantêm a integridade dos grânulos, permitindo o inchamento. Durante o aquecimento de uma suspensão aquosa de amido, as áreas amorfas absorvem água rapidamente e incham permanecendo unidas pelas regiões cristalinas. Os grânulos inchados são elásticos responsáveis pela viscosidade das pastas obtidas. Assim o poder de inchamento e a solubilidade revela informações importantes a respeito da integridade granular (LEACH, McCOWEN, SCHOCH, 1959)

Os dados a respeito do poder de intumescimento e solubilidade do amido nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce em função da temperatura estão representados nas figuras 7 e 8, elaboradas através de dados contidos nos Apêndices A e B, respectivamente.

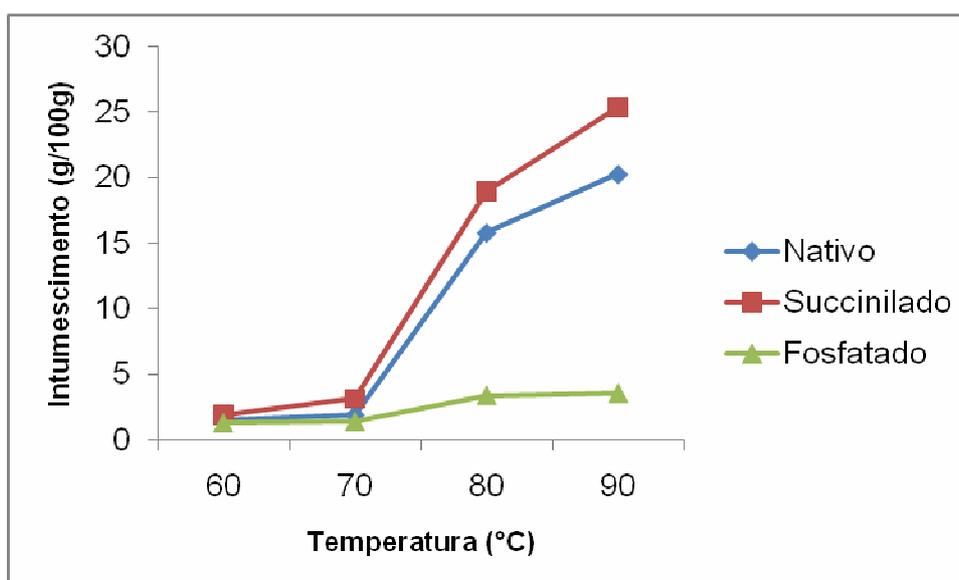


Figura 7 – Efeito da temperatura no poder de intumescimento do amido nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce em pH 6,5.

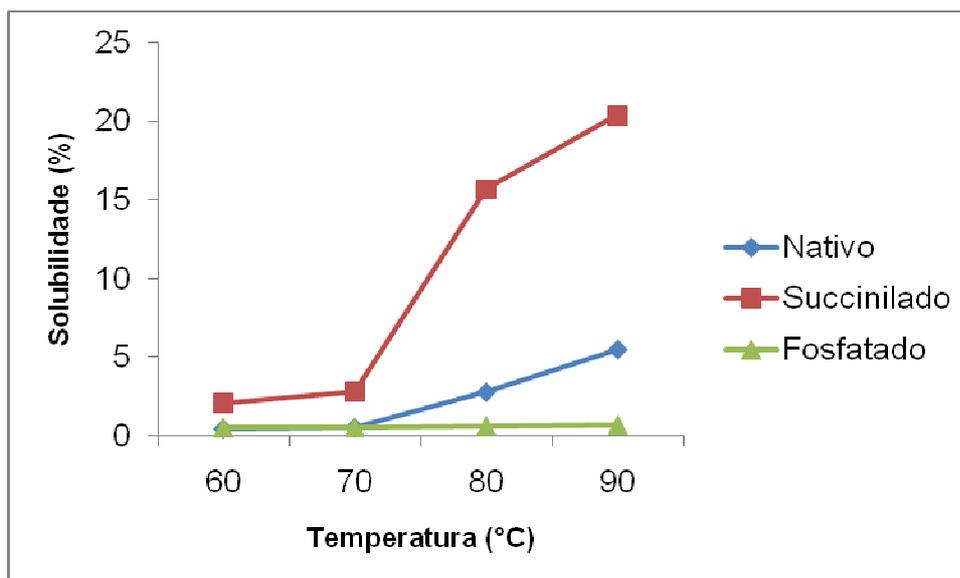


Figura 8 – Efeito da temperatura na solubilidade do amido nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce em pH 6,5.

O poder de inchamento e a solubilidade do amido nativo aumentaram de acordo com a temperatura, como indicado nas Figuras 7 e 8. O resultado observado para o poder de inchamento a 90° C (20,3) do amido nativo foi similar ao observado (23,71) por Peroni (2003) quando estudou as características do amido nativo de batata-doce, e (21,5) observado por Emiola, Delarossa (1981) quando estudaram amido de inhame (*Dioscorea rotundata*) na mesma temperatura. Inferior aos 51,4 a 95° C, para o amido de milho ceroso obtido por Hoover, Manuel (1996), e superior aos 19,0 a 95° C, encontrado por Rickard, Asaoka, Blanshard (1991) quando estudaram amido de Biri (*Canna edulis*).

O poder de inchamento do amido succinilado foi consideravelmente maior do que os demais amidos em todas as temperaturas, isto acontece graças à introdução de grupos succinil que proporcionam uma maior hidrofiliabilidade ao amido permitindo uma maior penetração de água no interior do grânulo com subsequente aumento do intumescimento. Alguns trabalhos realizados com amido succinilado confirmam o resultado obtido neste estudo, como é o caso de Lawal (2004b) cuja matéria-prima estudada foi milho híbrido, e Bhandari, Singhal (2002b) ao analisarem amido de amarante succinilado.

No caso do amido fosfatado, o inchamento também foi proporcional à temperatura, porém, bem menores que o amido nativo. Liu, Hamsden, Corke (1999 a,b) também concluíram que a fosfatação reduz a capacidade de inchar do amido ao es-

tudarem amido fosfatado de arroz. Assim como Kaur *et al.* (2005a) que ao modificarem o amido de batata (*Solanum tuberosum* L.) por fosfatação com oxicloreto de fósforo (POCl₃) e epicloridrina (EPI), também observaram que a fosfatação realizada por estes dois reagentes diminuiu o poder de intumescimento do amido.

Esta redução na capacidade de inchar do amido fosfatado se deve ao fato de que o intercruzamento fortalece as ligações entre as cadeias de amido, causando um aumento na resistência dos grânulos ao inchamento (HIRSCH, KOKINI, 2002). As ligações cruzadas funcionam como pontos de solda no grânulo em posições aleatórias, reforçando ligações de hidrogênio e inibindo o intumescimento do grânulo (CEREDA *et al.*, 2003).

A solubilidade dos amidos apresentou comportamento similar ao poder de intumescimento, como pode ser visto na figura 8, onde a solubilidade evolui de acordo com a temperatura. A única exceção é para o amido fosfatado cuja solubilidade se manteve constante, já que a solubilidade é uma consequência direta do intumescimento e os amidos fosfatados têm o inchamento limitado devido a presença de fortes ligações entre as moléculas de amido.

Segundo Hosney (1986) amidos com ligações cruzadas incham menos e são menos solúveis do que o mesmo amido não-modificado, este comportamento é atribuído provavelmente ao intercruzamento. Estes resultados corroboram com os observados por Cooreman *et al.*(1995), que ao estudar amido de milho nativo e fosfatado, concluiu que a solubilidade diminuiu drasticamente após a modificação. Yeh, Yeh (1993) testando diferentes níveis de intercruzamento também chegaram a mesma conclusão sobre o amido de arroz.

O amido succinilado se destacou por apresentar os maiores valores de solubilidade, que se tornaram ainda mais pronunciados acima de 80°C. Isto aconteceu porque a succinilação confere um caráter hidrofílico ao amido, e isto causa um enfraquecimento nas ligações internas que detém os grânulos juntos facilitando a entrada de água e conseqüente solubilização. Essas observações também foram verificadas em estudos do amido de milho híbrido (LAWAL, 2004b) e de Inhame (BRASILIRO, 2006).

5.4.1.2 Poder de intumescimento e solubilidade em função do pH

O inchamento e a solubilidade dos amidos nativo e succinilado se mostraram dependentes do pH e estão representados nas figuras 9 e 10, respectivamente (A-pêndices C e D) estes parâmetros aumentaram conforme o pH aumentou, resultado que se assemelha aos obtidos por Lawal (2004b). Os maiores valores de poder de intumescimento e de solubilidade foram observados em pH 12. Em pH ácido (3 a 5), o amido nativo apresentou maior poder de intumescimento e solubilidade que o amido succinilado, em pH acima de 7 houve uma melhora com relação a estas propriedades por parte do amido succinilado. Em condições alcalinas os amidos podem sofrer uma gelatinização parcial isto resulta em um aumento no inchamento e na solubilidade dos mesmos (LAWAL, 2004b). Além do que, em pH ácido acontece hidrólise, que primeiramente degrada a superfície externa do grânulo e depois penetra no seu interior, dando preferência as regiões amorfas, como resultado tem-se um relativo aumento da porcentagem da região cristalina em relação ao grânulo. Desta forma, o aumento da cristalinidade contribui para a redução da capacidade de intumescer e solubilizar do amido.

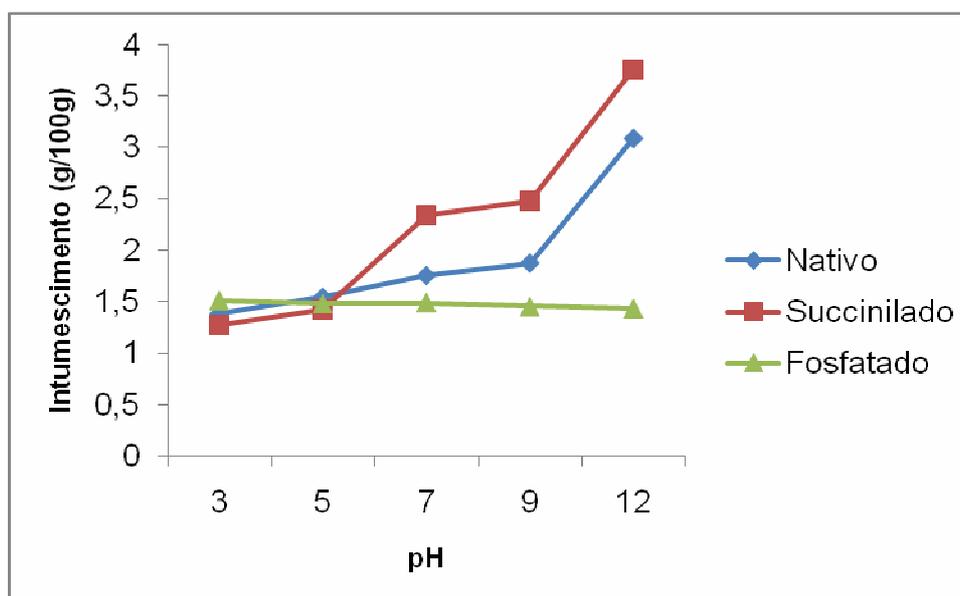


Figura 9 – Efeito do pH no intumescimento do amido nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce a 32°C.

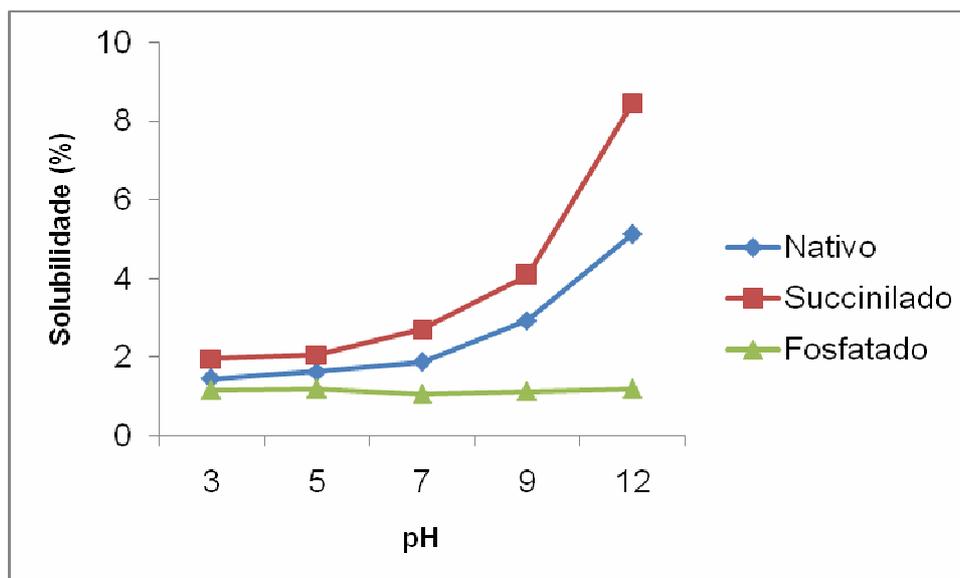


Figura 10 – Efeito do pH na solubilidade do amido nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce a 32°C.

No que concerne ao amido fosfatado, todos os valores de poder de intumescimento e solubilidade foram inferiores ao amido nativo, o que já era esperado tendo em vista o tipo de modificação efetuada neste amido. Não houve mudança nas propriedades estudadas à medida que o pH aumentou, comprovando a propriedade deste amido de ser estável frente a oscilações de pH.

5.4.2 Transparência do gel

Após o cozimento da suspensão de amido os grânulos intumescem e perdem a birrefringência, permitindo a passagem de luz, desta forma sendo possível detectar a sua transparência. Entretanto, segundo Stahl *et al.* (2007) durante a estocagem ocorre a retrogradação que torna as dispersões de amido opacas dando origem a um gel rígido. Hoover, Denananyake (1996), relatam que o pH da solução influencia a claridade de pastas de amidos nativos de *Avena sativa* L. e *Avena nuda* L., pois quanto mais básico o pH, maior a transmitância das pastas de amido.

A porcentagem de transmitância durante o período de estocagem dos amidos modificados e nativo se encontra na tabela 2.

Tabela 2 – Efeito do tempo de estocagem sob a transparência do gel dos amidos nativo, succinilado e fosfatado de batata-doce.

Amido	%Transmitância (650nm)						
	1º dia	2º dia	3º dia	4º dia	5º dia	8º dia	9º dia
Nativo	24,5	5	4	4	3	3	2
Succinilado	44	32	27	16	15	14	13
Fosfatado	ND	9	11	12	14	19	20

Um aumento pronunciado na % de transmitância do amido succinilado foi observada, em relação ao amido nativo, no primeiro dia, isto acontece porque o amido succinilado possui uma tendência maior para intumescer facilitando assim a passagem de luz, nos demais dias pode ser explicado pela seguinte razão: A substituição química de grupos hidroxila por grupos succinil causa a inibição do ordenamento da estrutura das pastas de amido, retardando a retrogradação e resultando em pastas mais fluidas com melhoria da claridade em relação ao amido nativo. Durante a estocagem os amidos nativo e succinilado retrogradaram o que é evidenciado pela diminuição da transmitância, porém este fenômeno é mais evidente no amido nativo. Bhandari, Singhal (2002b) chegaram a mesma conclusão ao estudar o comportamento dos amidos de milho e amarante succinilado e Sá (2007) ao estudar amido de fruta-pão succinilado também chegou a resultados semelhantes.

No caso do amido fosfatado, houve um aumento da claridade com o passar dos dias de estocagem, como este amido recebeu uma dose muito alta de álcali no intuito de se obter o gel do mesmo, no primeiro dia não foi possível quantificar sua transmitância, uma vez que, o NaOH usado tornou a pasta escura. Com o passar dos dias a pasta obtida foi ficando mais translúcida e a claridade foi aumentando. Desta forma pode-se deduzir que as ligações de hidrogênio formada pelo intercruzamento impede as cadeias de amilose de se reorganizarem, ou seja, de retrogradarem, permitindo uma maior passagem de luz e confirmando que o amido fosfatado é mais resistente para retrogradação do que o amido nativo.

Stahl *et al.* (2007), ao estudarem os amidos de milho e pinhão fosfatados de médio e alto grau de substituição, constataram que os mesmos apresentam um grande aumento da claridade da pasta e estas pastas não perdem a transparência durante a estocagem, um indicativo de alta estabilidade das mesmas. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Sitohy *et al.* (2000) para amido de milho.

5.4.3 Estudos de gelificação

Os resultados das propriedades de gelificação dos amidos estão contidos na tabela 3. O índice de gelificação é tido como a menor concentração em que o amido consegue formar gel (LGC – Least Gelation Concentration).

Tabela 3 – Propriedades de gelificação dos amidos nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce a 80°C.

*C (%p/v)	Nativo	Succinilado	*C (%p/v)	Fosfatado
0,10	Líquido	Líquido	1,0	Líquido
0,15	Líquido	Líquido viscoso	1,5	Líquido
0,20	Líquido	Viscoso	2,0	Líquido
0,25	Líquido	Gel	4,0	Líquido
0,30	Líquido	Gel	6,0	Líquido
0,35	Líquido	Gel	8,0	Pasta fluida
0,40	Líquido viscoso	Gel firme	10	Pasta fluida
0,45	Viscoso	Gel firme	12	Pasta fluida
0,50	Gel	Gel firme	14	Pasta fluida
0,60	Gel	Gel muito firme	16	Pasta viscosa
0,80	Gel muito firme	Gel muito firme	18	Pasta viscosa
1,00	Gel muito firme	Gel muito firme	20	Gel
LGC*	0,50	0,25		20

*C = concentração de amido utilizada.

LGC* = Menor concentração de formação de gel.

** O amido fosfatado foi submetido a pH 14.

No presente estudo o amido nativo apresentou LGC superior ao amido succinilado, demonstrando que o amido nativo tem que ser empregado em uma maior concentração para formar gel. Este resultado indica o aumento na capacidade de gelificar do amido após succinilação, que causou a reorganização da estrutura do grânulo, assim aumentando a força do gel. Este resultado está de acordo com Sá (2007), que obteve resultados semelhantes ao estudar amido succinilado da frutapão, entretanto as concentrações de LGC obtidas pela autora foram maiores do que as do presente estudo, isto pode ser devido a diferenças na origem botânica dos amidos. Lawal, Adebowale (2005) chegaram a conclusão que o amido de feijão modificado por hidrólise ácida também teve o seu índice de gelificação reduzido em comparação ao amido nativo.

A região amorfa hidrata-se inicialmente e é mais lábil ao tratamento à quente do que a região cristalina. A desestabilização e expansão da região amorfa durante o aquecimento de uma suspensão de amido facilita a desestabilização da região cristalina por tirar moléculas das mesmas, conforme a temperatura se eleva. Quando a temperatura é suficientemente elevada, ambas as regiões, amorfas e cristalinas, são gelatinizadas (CEREDA, 2002).

Segundo Mestres, Mouquet (1996), a gelatinização é caracterizada pela perda da estrutura cristalina do amido que produz inchamento dos grânulos e solubilização parcial dos polímeros dando origem as propriedades viscoelásticas do amido. Já a pasta de amido é tida como um material composto de duas fases, uma dissolvente, que contém os polímeros dissolvidos e uma fase dispersa constituída pelos grânulos inchados, ou seja, os grânulos incham conferindo propriedades viscoelásticas ao amido porém não se rompem impedindo a pasta de se transformar em gel.

O amido fosfatado devido ao seu restrito inchamento não consegue formar gel em condições normais, no máximo chega a formar pasta, quando submetido a pH 14. A estrutura dos grânulos, que estavam fortalecidas pelo inter cruzamento, se romperam dando origem ao gel. Pôde-se constatar também que o LGC do amido fosfatado é 40 vezes maior do que o amido nativo. (o amido foi submetido a pH 10 e 12 nas mesmas concentrações, mas não se conseguiu resultados satisfatórios).

5.4.4 Capacidade de absorção de água e óleo

Os valores da capacidade de absorção de água e de óleo dos amidos nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce estão mostrados na tabela 4 e figura 11.

Tabela 4 – Capacidade de absorção de água (CAA) e óleo (CAO) dos amidos nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce.

Amido	CAA (%)	CAO (%)
Nativo	43,60 ^b ± 0,54	65,22 ^a ± 0,49
Succinilado	56,75 ^a ± 0,56	41,70 ^b ± 1,06
Fosfatado	28,33 ^c ± 0,31	33,90 ^c ± 1,68

* Cada valor representa a média e o desvio de três determinações.

** Diferença significativa entre as linhas – representada pelas letras minúsculas.

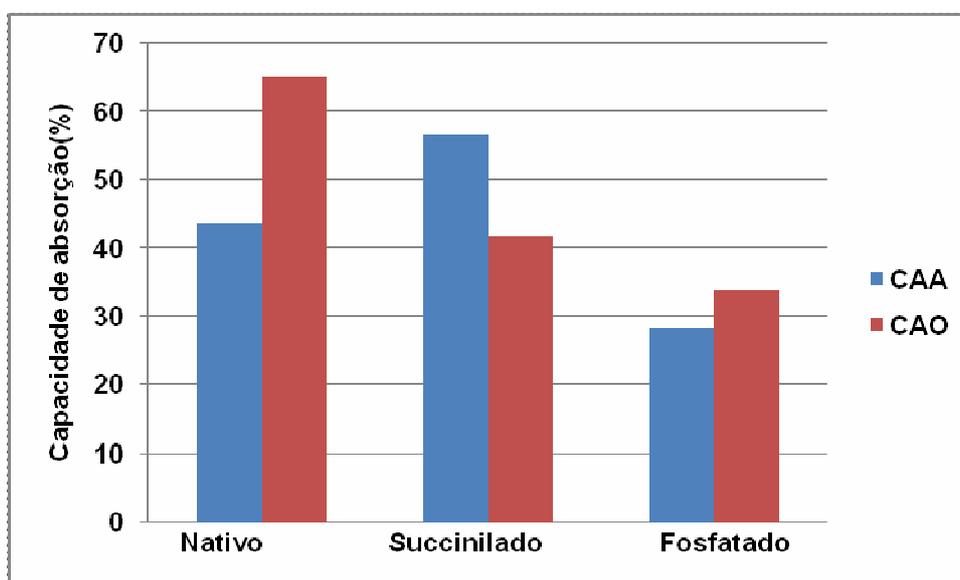


Figura 11 - Capacidade de absorção de água (CAA) e óleo (CAO) dos amidos nativo, succinilado e fosfatado da batata-doce.

As moléculas de água intimamente adsorvidas às macromoléculas são denominadas “água ligada” e refletem a habilidade de uma superfície molecular em formar ligações fracas, não-covalentes, com a água. Quando a temperatura de uma suspensão de amido supera o limite de gelatinização, as pontes de hidrogênio são rompidas, as moléculas de água se ligam aos grupos hidroxilas liberados e os grânulos continuam se expandindo (RICKARD, ASAOKA, BLANSHARD, 1991). Considera-se que os sítios de ligação de água são os grupos hidroxila e seus átomos de oxigênio no interior da glicose (WOOTTON, BAMUNUARACHI, 1979).

A capacidade de absorção de água aumentou depois da succinilação e diminuiu com a fosfatação. Em contraste, a capacidade de absorção de óleo foi diminuída depois da succinilação o mesmo ocorrendo com o amido fosfatado. A introdução de grupos volumosos como o succinil causa uma repulsão eletrostática, facilitando assim a percolação da água para dentro da matriz do grânulo. Porém a longa cadeia de substituintes succinil hidrofílicos provavelmente prejudicou a absorção de óleo no amido succinilado, estes resultados condizem com Lawal (2004b) ao estudar amido de milho híbrido.

Com a fosfatação as pontes de hidrogênio entre as moléculas do amido se tornam mais numerosas e mais fortes, desta forma reduzindo as superfícies disponíveis para tais ligações com as moléculas de água e de óleo.

Lawal (2004b), após modificar amido de milho híbrido com anidrido succínico na concentração de 2% e 3%, obteve uma porcentagem de grupos succinil de 3% e 6,15%, com GS de 0,04 e 0,11, respectivamente. Constatou que a succinilação aumentou a capacidade de absorção de água enquanto que a absorção de óleo foi diminuída após a modificação. E que estes efeitos ficaram mais pronunciados com o aumento do GS de 0,04 para 0,11.

5.4.5 Viscosidade

5.4.5.1 Viscosidade em função da concentração de amido

Os resultados da viscosidade em função da concentração dos amidos nativo, succinilado e fosfatado de batata-doce encontram-se na figura 12 (Apêndice E). Os amidos em diferentes concentrações foram submetidos a 80°C.

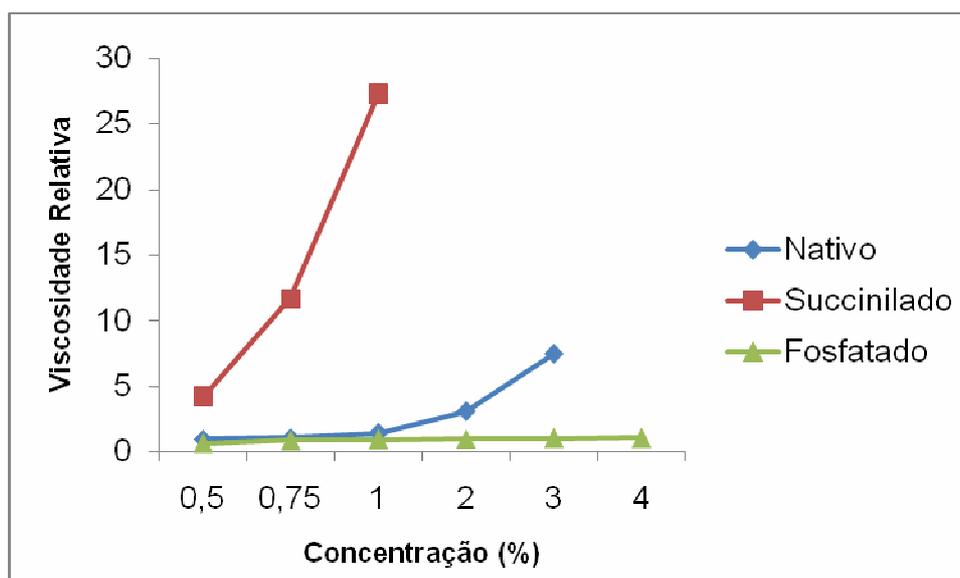


Figura 12 - Viscosidade em função da concentração dos amidos nativo, succinilado e fosfatado de batata-doce a 80°C e pH 6,5.

A viscosidade aumentou com a concentração em todos os amidos estudados, porém o fosfatado apresentou um aumento bastante discreto e menor que o nativo, devido às propriedades inerentes a este amido como poder de intumescimento e solubilidade limitados. O amido succinilado se destacou com os maiores perfis, não sendo possível detectar a viscosidade acima de 1% pois a esta concentração houve formação de gel. Isto acontece porque a succinilação proporcionou ao amido a formação de géis mais fortes mesmo a pequenas concentrações. Segundo Lawal (2004b) a redução da temperatura de gelatinização do amido succinilado ocorre devido ao enfraquecimento de ligações intra e intergranulares das moléculas do amido. Ribeiro (2006), ao estudar amido de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz), por oxidação e acidificação concluiu que somente a primeira modificação teve influência nas propriedades do amido com pico de viscosidade na concentração de 3%. O amido acidificado se manteve constante em todas as concentrações com viscosidade abaixo de 2 mm²/s. Limberger (2006), ao modificar quirera de arroz por fosfatação, constatou que a viscosidade máxima de empaste da quirera de arroz fosfatada foi significativamente menor (64,67) que a viscosidade da quirera de arroz nativa (247,3).

5.4.5.2 Viscosidade em função do pH

A Figura 13, construída a partir de dados contidos no Apêndice F, representa a viscosidade dos amidos de batata-doce nativo, succinilado e fosfatado, em diferentes valores de pH na concentração de 1% a temperatura ambiente.

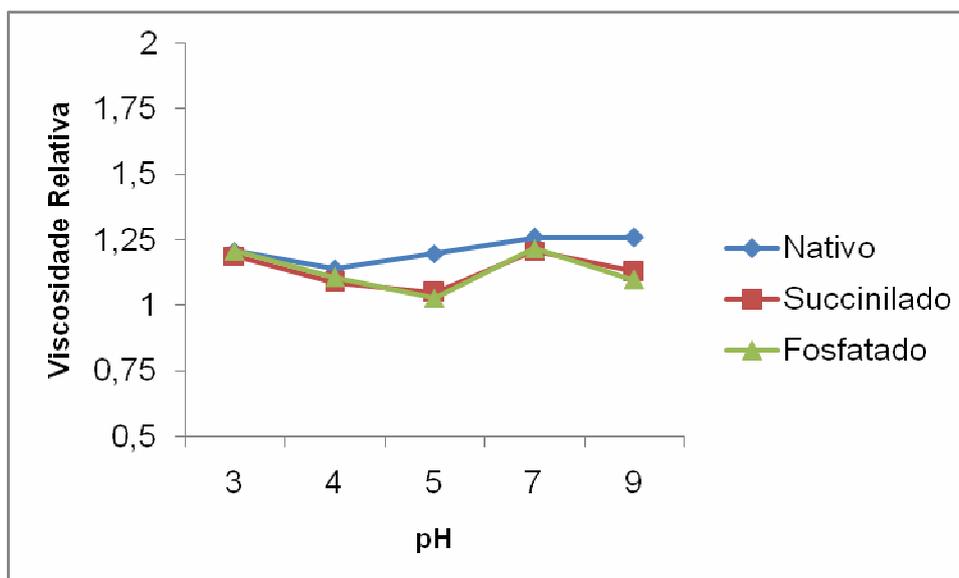


Figura 13 - Viscosidade dos amidos de batata-doce nativo, succinilado e fosfatado, em diferentes valores de pH em temperatura ambiente.

Os perfis de viscosidade em função do pH para os amidos estudados não apresentaram diferenças significativas. Sugerindo que à temperatura ambiente o pH não teve influência na viscosidade dos amidos, embora em pH básico os grânulos de amido intumescam, mas para se obter viscosidade os grânulos precisam inchar e romper para formar uma pasta viscosa, o que não foi possível acontecer somente com as oscilações de pH. Um parâmetro importante para definir o uso de amidos industrialmente para aplicações em alimentos é a relação existente entre água, temperatura e formação de gel, uma vez que, os grânulos de amido são insolúveis em água abaixo da temperatura de empastamento.

5.4.5.3 Viscosidade em função da temperatura

Os resultados da viscosidade em função da temperatura dos amidos nativo, succinilado e fosfatado de batata-doce encontram-se na figura 14 (Apêndice G) Os amidos na concentração de 1% foram submetidos a diferentes temperaturas.

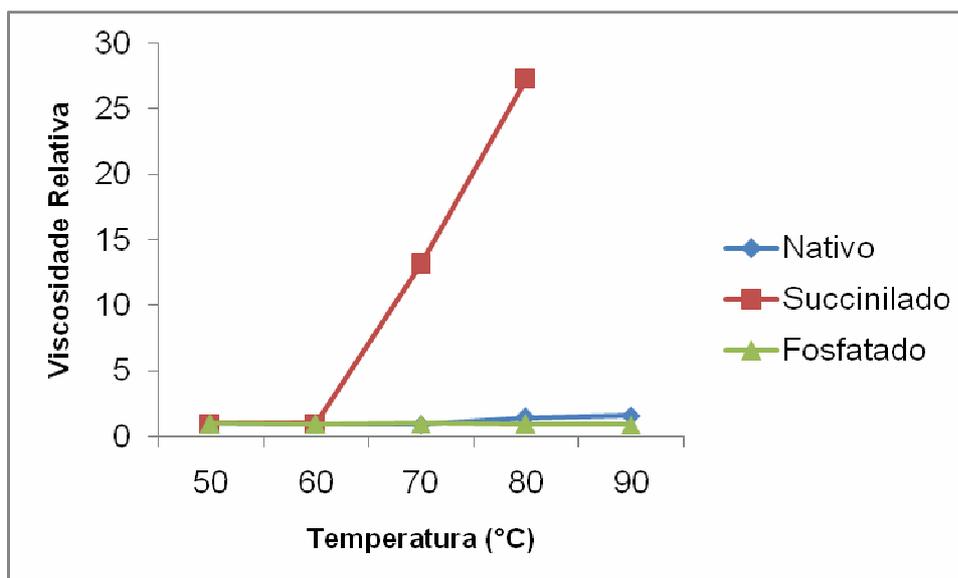


Figura 14 - Viscosidade dos amidos de batata-doce nativo, succinilado e fosfatado na concentração de 1% em diferentes temperaturas e pH 6,5.

O amido nativo e o succinilado tiveram sua viscosidade aumentada à medida que a temperatura aumentou, porém o succinilado se destacou com valores superiores ao amido nativo. À 90°C o amido succinilado gelatinizou não sendo possível quantificar sua viscosidade. O amido fosfatado teve viscosidade inferior ao nativo e diminuída com o aumento da temperatura, confirmando a propriedade deste amido de ser resistente a mudanças de temperatura. Brasileiro (2006) e Sá (2007), ao estudarem, respectivamente, amido de inhame e fruta-pão succinilados, chegaram a resultados semelhantes com relação a influência do pH, concentração e temperatura.

A redução na viscosidade pode ser explicada pelas condições às quais o amido de batata-doce foi submetido durante a fosfatação, como a concentração de fósforo na mistura e tempo, o que leva a degradação do produto ou a formação de ligações cruzadas, Schirmer, Toledo, Reys (1986), ao avaliar as propriedades do

amido fosfatado de milho, afirma que estes dois fatores contribuem para a diminuição da viscosidade.

A viscosidade do amido modificado por fosfatação, menor do que o amido nativo, também foi relatada por Sitohy *et al.* (2000) para amido com alto teor de modificação. Estes autores atribuem tal fato como resultado do aumento do número de grupos fosfato que progressivamente enfraquecem a estrutura granular. Assim, o decréscimo na viscosidade com o aumento do grau de fosfatação pode ser devido ao decréscimo no número de pontes de hidrogênio entre grupos hidroxila entre moléculas de amido.

Não se pode descartar um amido por sua característica de viscosidade, pois de acordo com o tipo de alimento uma viscosidade maior ou menor pode ser desejável. Uma sopa pronta, por exemplo, não deve apresentar viscosidade final muito elevada, o que causa uma sensação desagradável. Mas para recheio de tortas, uma maior viscosidade evitaria o transbordamento no transporte. Deve ser considerado também que o processamento industrial reduz a viscosidade e, portanto, essa queda deve ser considerada no cálculo da viscosidade desejada para o produto final. Outras características serão sempre desejáveis, tais como estabilidade a altas temperaturas sob acidez e estabilidade à ação mecânica, o que favorece seu uso como ingredientes em diversos alimentos (DAIUTO, 2005).

5.5 Propriedades térmicas

A temperatura de transição associadas à gelatinização do amido nativo e modificados e as entalpias (ΔH) envolvidas nos processos de gelatinização e retrogradação obtidas através de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) dos amidos nativo e modificados de batata-doce encontram-se nas tabelas 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5 – Efeito da succinilação e fosfatação sobre a temperatura de transição associadas à gelatinização do amido nativo, succinilado e fosfatado de batata-doce.

Amido	Temperaturas de transição (°C)			
	To	Tp	Tc	Tc – To
Nativo	116,95	124,45	144,01	27,06
Succinilado	102,73	112,19	125,07	22,34
Fosfatado	131,08	132,26	146,43	15,35

Tabela 6 - Entalpias (ΔH) envolvidas nos processos de gelatinização e retrogradação obtidas através de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) do amido nativo, succinilado e fosfatado de batata-doce.

Amido	Entalpias(J/g)	
	1° dia	7° dia
Nativo	10,4	0,58
Succinilado	6,8	0,00
Fosfatado	14,2	0,00

A energia de gelatinização é definida como a mudança de entalpia (ΔH) que ocorre quando um sistema amido-água é aquecido sob condições definidas, e é obtida diretamente como a área sob as endotermas em J/g. To (temperatura inicial), Tp (temperatura de pico) e Tc (temperatura de conclusão) são outros parâmetros que podem ser observados através de curvas calorimétricas. Tc-To indica a temperatura de transição ao longo da qual a gelatinização do amido ocorre (BILIADERIS, MAURICE, VOSE, 1980).

O valor de ΔH representa a quantidade de energia térmica envolvida no processo de gelatinização. A nível molecular, isto ocorre pela clivagem de pontes de hidrogênio existentes entre as moléculas do amido e a formação de novas ligações envolvendo água de modo a dar uma estrutura menos ordenada com aumento da entropia (PATON, 1987).

O intercruzamento altera a transição térmica característica do amido, o efeito depende da concentração e do tipo do reagente usado na modificação, condições de reação e fonte botânica do amido. Um aumento na temperatura de gelatinização tem sido observado para amidos intercruzados; este fenômeno é responsável por reduzir a mobilidade das cadeias amorfas no grânulo de amido como resultado da formação de pontes intermoleculares (CHOI, KERR, 2003).

Yeh, Yeh (1993) reportaram que o ΔH do amido de arroz modificado com oxidocloreto de fósforo (POCl_3) aumentou com o aumento do nível de ligações cruzadas. Chatakanonda, Varavinit, Chinachoti (2000), conduzindo estudos sobre amido de arroz intercruzado (usando uma mistura de trimetafosfato e tripolifosfato de sódio) conseguiram obter endotermas profundas e nítidas, além disso, a temperatura de gelatinização aumentou significativamente com o aumento do grau de intercruzamento, enquanto que a entalpia não mostrou mudança significativa (diminuiu aproximadamente 15%), sugerindo completo derretimento das regiões cristalinas apesar da presença de ligações cruzadas que reforçam as ligações entre as moléculas do amido.

Os contrastes existentes nos diferentes estudos se devem a diversos fatores como: Tipo de reagente usado, tempo de reação, características inerentes a fonte botânica, entre outros parâmetros. No presente estudo, o resultado das endotermas obtidas para o amido nativo mostraram um valor de ΔH maior do que para o amido succinilado. T_0 , T_p e T_c também diminuíram com a succinilação, todas estas mudanças se explicam pelo fato de que o amido succinilado possui grupos hidrofílicos volumosos, os quais residem na região amorfa da molécula de amido. Isto efetivamente aumenta o número de sítios hidrofílicos nas cadeias de amilose da molécula, aumentando assim sua flexibilidade e reduzindo a temperatura de gelatinização.

Estes resultados condizem com Bhandari, Singhal (2002b) que ao estudarem amido de milho succinilado com o mesmo valor de GS deste estudo, tiveram T_0 , T_p e T_c além da temperatura de transição diminuída em relação ao amido nativo, esta

de 13,86°C passou a 10,01°C para o amido de milho succinilado. Assim como os valores de entalpia foram reduzidos em 30% para o amido de milho succinilado em relação ao amido nativo. Sá (2007) ao pesquisar amido de fruta-pão succinilado chegou a conclusões opostas ao presente trabalho, pois os valores de entalpia e transição de temperatura do amido succinilado encontrados pela autora foram superiores aos do amido nativo, isto pode ser explicado por diferenças nas fontes botânicas.

Os resultados obtidos para o amido fosfatado, onde as entalpias foram maiores e a temperatura de transição foram menores do que as do amido nativo, corroboram com os observados por Kaur *et al.*, (2005) que ao pesquisarem amido de batata de diferentes cultivares inter cruzado com o reagente POCl_3 , obtiveram temperaturas de transição (°C) e entalpia (J/g) na faixa de 8°C/ 14,7J/g para o modificado e 11°C/12,9 J/g para o nativo. Assim como, Tsai, Li, Lii (1997) ao verificar a temperatura de transição de vários amidos fosfatados com EPI obteve 10°C para o amido fosfatado e 14°C para o amido nativo. Choi, Kerr (2003) ao estudarem as propriedades térmicas do amido de trigo fosfatado obtiveram 13°C para o amido modificado e 21°C para o amido nativo. Os valores de entalpia para amido de arroz obtidos por Yeh & Yeh (1993) foram de 13,0 J/g para o amido modificado e para o nativo 10,4 J/g. As figuras 14,15 e 16 mostram as endotermas obtidas por DSC dos amidos nativo e modificados da batata-doce. Liu, Ramsden, Corke (1999b), ao inter cruzarem o amido de arroz verificaram que a entalpia aumentou em relação ao amido nativo (9,8-10,3). As curvas DSC para o amido nativo, succinilado e fosfatado estão representadas nas figuras 15, 16 e 17, respectivamente.

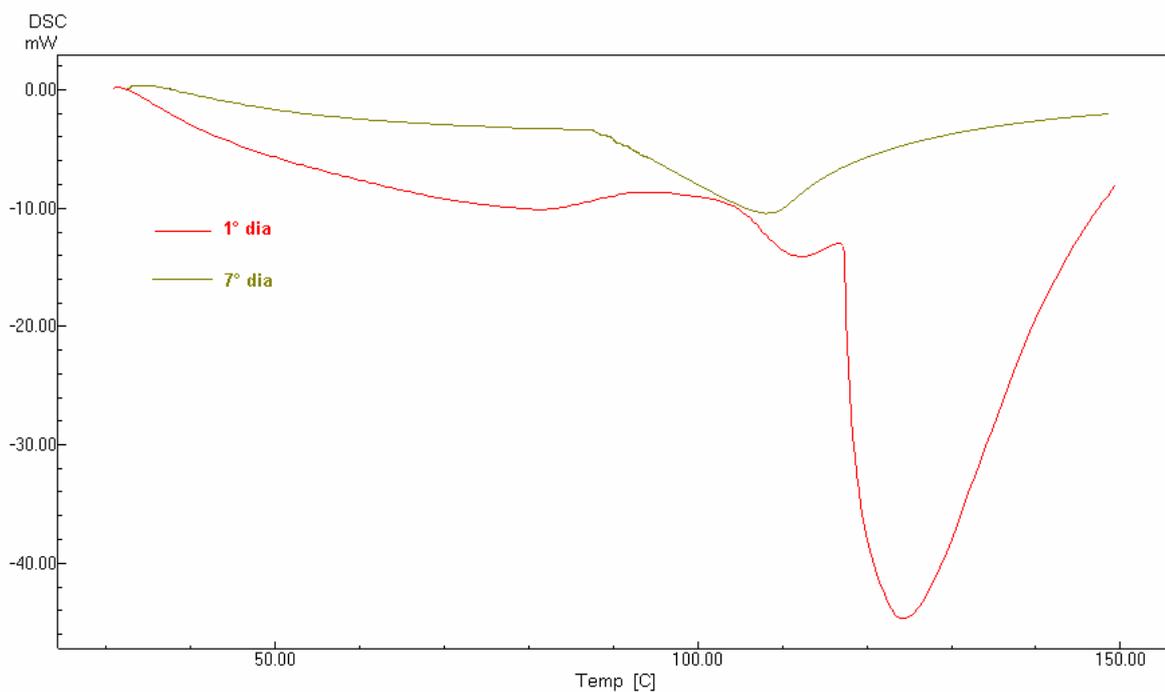


Figura 15 – Curvas DSC do amido nativo no 1°e 7°d ias.

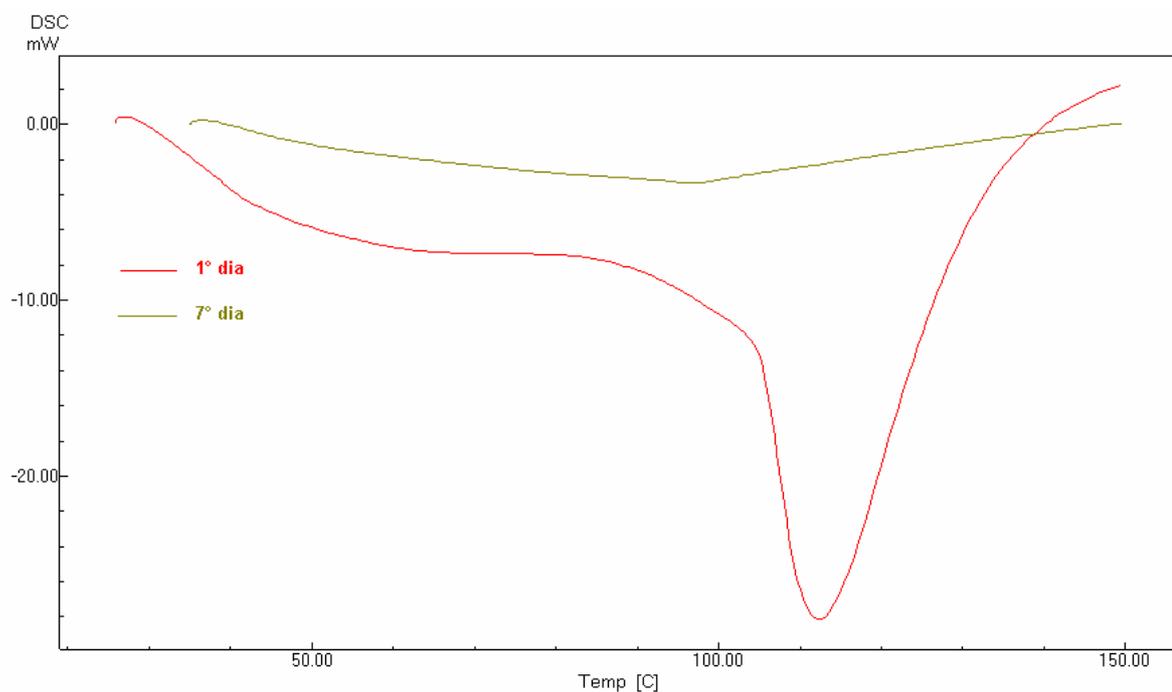


Figura 16 – Curvas DSC do amido succinilado no 1°e 7°dias.

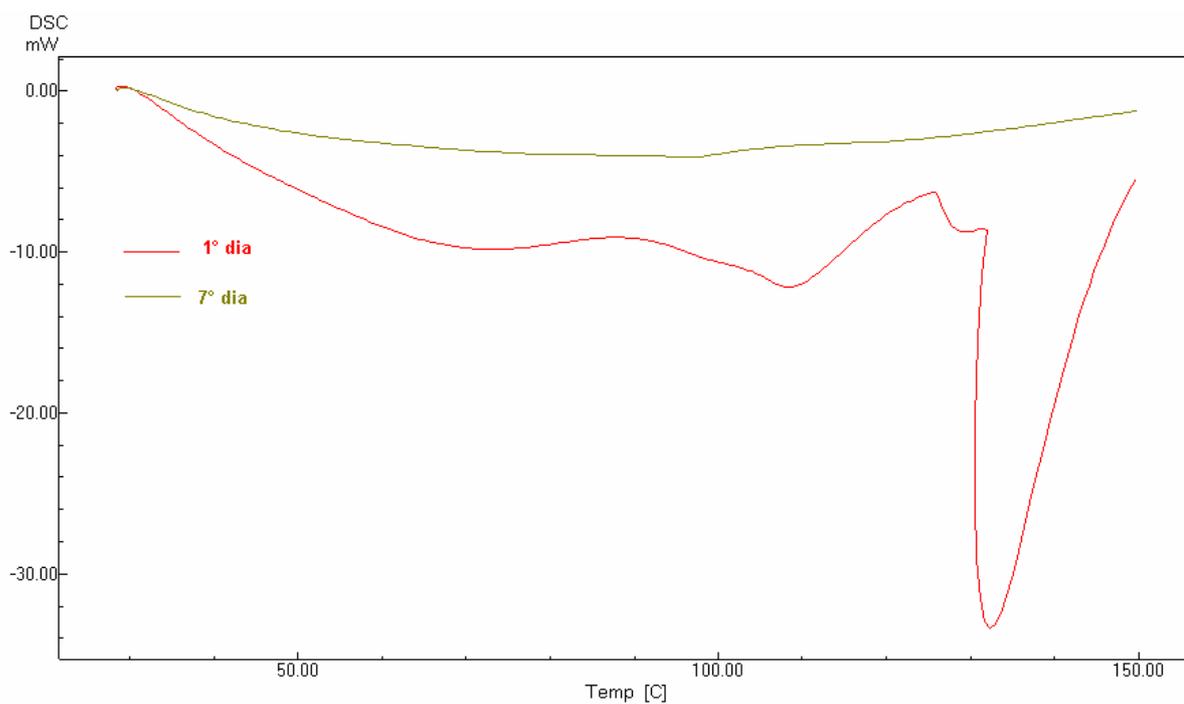


Figura 17 – Curvas DSC do amido fosfatado no 1° e 7 ° dias.

A retrogradação ocorre após um certo período de estocagem, no amido nativo após uma semana de armazenamento, obteve-se um valor de entalpia de 0,58 J/g, o que indica que houve retrogradação embora muito discreta (5,6 %). Os amidos modificados não retrogradaram evidenciando que a succinilação e a fosfatação foram eficientes para esta propriedade.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos dos experimentos realizados neste trabalho permitiram concluir que:

- A succinilação aumentou o poder de inchamento e a solubilidade do amido nativo enquanto a fosfatação restringiu tais parâmetros.
- A viscosidade do amido succinilado, quando submetido a diferentes temperaturas e concentrações, aumentou consideravelmente em relação aos outros amidos, que por sua vez, apresentaram perfis semelhantes.
- Por ser estável a altas temperaturas, o amido fosfatado pode ser usado em alimentos infantis e produtos esterilizados. Assim como, pode ser aplicado em molhos para saladas, maionese, temperos e sucos de frutas cítricas por ter estabilidade a baixos valores de pH.
- Em alimentos semi-prontos, que serão submetidos ao forno de microondas, é imprescindível o uso do amido fosfatado pela sua resistência a tratamentos térmicos.
- Para alimentos fritos, o amido fosfatado é ideal por apresentar baixa capacidade de retenção de óleo, resultando em um produto mais crocante; também pode ser usado para confecção de balas e caramelos onde baixas viscosidades são requeridas.
- O amido succinilado, por sua vez, é indicado para compor sopas desidratadas já que possui baixa temperatura de formação de gel e em produtos cárneos por possuir capacidade de reter água superior ao amido nativo.
- Os amidos, succinilado e fosfatado, podem ser utilizados em alimentos congelados e refrigerados por serem resistentes à retrogradação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIME, D.B.; ARNTFIELD, S.D.; MALCOLMSON, L.J.; RYLAND, D. Textural analysis of fat reduced vanilla ice cream products. **Food Research International**, v.34, p.237-246, 2001.

AN-I-YEH; SU-LAN-YEH._Some characteristics of hydroxypropylated and cross-linked rice starch. **Cereal chemistry**, v.70, n.5, p.596-601, 1993.

ATWEL, W. A. The terminology and methodology associated with basic starch phenomenon. **Cereal Foods World**. v. 33, p. 603-311, 1988.

BALDWIN,P.M. Starch granule-associated proteins and polypeptides: A review. **Starch/Stärke**, v.53, p. 475–503, 2001.

BATISTUTI, J.P.; VALIM, M.F.C.F.A.; CÂMARA, F.L.A. Amido de batata-doce (*Ipomoea batatas*, L.). Parte II. Características morfológicas e estudos de algumas propriedades funcionais. **Alimentação e Nutrição**, v.5, p.9-25, 1994.

BEMILLER, J.N. Starch modification: challenges and prospects. **Starch/Stärke**, v. 49, n. 4, p 31-127, 1997.

BERRY, C. S. Physical chemical characterisation of resistant starch from wheat. **Journal of Cereal Science**. v. 8, p. 203-206, 1988.

BERTOLINI, A. C., SOUZA, E., NELSON, J. E., & HUBER, K. C. Composition and reactivity of A- and B-type starch granules of normal, partial waxy and waxy wheat. **Cereal Chemistry**, v.80, p.544–549, 2003.

BHANDARI, P. N.; SINGHAL, R. S. Studies on the optimisation of preparation of succinate derivatives from corn and amaranth starches. **Carbohydrate Polymers**. v. 47, p. 277–283, 2002a.

BHANDARI, P. N.; SINGHAL, R. S. Effect of succinylation on the corn and amaranth starch pastes. **Carbohydrate Polymers**., v. 48, n.3, p. 233–240, 2002b.

BHANDARI, P.N.; SINGHAL, R.S.; KALE, D.D. Effect of succinylation on the rheological profile of starch pastes. **Carbohydrate polymers**, v.47, p. 365-371, 2002.

BILIADERIS, C.G.; MAURICE, T.J.; VOSE, J.R. Starch gelatinization phenomenon studied by differential scanning calorimetry. **Starch/Stärke**, v. 45, p. 1669-1980, 1980.

BILIADERIS, C. G. **Thermal analysis of food carbohydrates**. In V.R. Harwalker & C.Y. Ma, Thermal analysis of foods New York: Elsevier, p. 168-220, 1990.

BILIADERIS, C.G. The structure and interactions of starch with food constituents. **Canadian Journal Physiology Pharmacology**, v. 69, p. 60-78, 1991.

BLENNOW, A. Starch molecular structure and phosphorylation investigated by a combined chromatographic and chemometric approach. **Carbohydrate Polymers**, v.41, n.2, p.163-174, 2000.

BLENNOW, A., ENGELSEN, S.B., NIELSEN, T.H., BAUNSGAARD, L., MIKKELSEN, R., Starch phosphorylation: a new front in starch research. **Trends in Plant Science**, v.7, 445–450, 2002.

BRASIL. Leis, decretos, etc. Decreto nº 12.486 de 20 de outubro de 1978. p. 20. Normas técnicas especiais relativas a alimentos e bebidas.

BRASILEIRO, O. L. **Comparação das propriedades funcionais do amido de inhame (*Dioscorea cayennensis*) nativo e modificado por acetilação e succinilação**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) Universidade Federal da Paraíba (UFPB). 90p., 2006.

BUCHHOLZ, S.; DORN, K.; THOMAS, E. **Swellable starch Ester, process for its preparation and its use as absorbants**. US Patent 578957 (Cited from Chem. Abstr. 1996, 125, 117932w)

BYRNE, M. Fat replacer in foods. **Food Engineering International**, v.17, n.4, p.41-48, 1992.

CÂNDIDO, L. M. B.; CAMPOS, A. M. **Alimentos para fins especiais: Dietéticos – Legislação, Mercado, Adoçantes e Edulcorantes, Substitutos de Gordura, Sucedâneos do Sal**. 423 p. 1996.

CEREDA, M. P. Amidos modificados. **Boletim SBCTA**, v. 30, n. 1, p. 31-36, 1996.

CEREDA, M.P. **Propriedades gerais do amido**, série: Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-americanas, São Paulo, Fundação Cargill, v. 1, 221 p., 2002.

CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.; DEMIATE, I.M. Amidos modificados. In: CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F. **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v.3, Cap.12, p. 246-332, 2003.

CFR (Code of Federal Regulation) 2001. **Food starch modified**. In: Food Additives Permitted in Food for Human Consumption, 21/1/172/ 172.892, Washington, USA: Government Printing Office.

CHATAKANONDA, P.; VARAVINIT, S.; CHINACHOTI, P. Effect of crosslinking on thermal and microscopic transitions of rice starch. **Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie**, v.33, p.276–284, 2000.

CHOI, S.G.; KERR, W. L. Effects of chemical modification of wheat starch on molecular mobility as studied by pulsed ¹H NMR. **Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie**, v.51, p.1–8, 2003.

CHUNG, H.J.; WOO, K.S.; LIM, S.T. Glass transition and enthalpy relaxation of cross-linked corn starches. **Carbohydrate polymers**, v.55, p.9-15, 2004.

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

COOREMAN, F.L.; VANRENSBURG, H.; DELCOUR, J.A. Pasting profiles and solubility of native and cross-linked corn starch in dimethylsulfoxide –water mixtures. **Journal of Cereal Science**, v.22, p.251-257, 1995.

CORRADINI, E.; LOTTI,C.; MEDEIROS, E.S.; CARVALHO, A.J.F.; CURVELO, A.A.S.; MATTOSO, L.H.C. Comparative studies of corn thermoplastic starches with different amylose content. **Polímeros** , São Carlos, v. 15, n. 4, 2005 .

CRAIG, S. A. S.; MANINGAT, C. C.; SEIB, P. A.; HOSENEY, R. C. Starch paste clarity. **Cereal chemistry**, v. 66, 173-182, 1989.

CROSBIE, G. B. The relationship between starch swelling properties paste viscosity and boiled noodle quality in wheat flours. **Journal of cereal science**, v.13, p.145-150, 1991.

CRUZ, R.; EL DASH, A. A. M. Amido de chuchu (*Seichium edule*, Swartz). Efeito da fosfatação em sua viscosidade. **Boletim SBCTA**, v.18, n. 4, p. 371-378, 1984.

DAIUTO, E.R. **Características de féculas de tuberosas e suas relações com resistências dos géis sob condições de estresse aplicada na industrialização de alimentos**. 2005,146p.Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP.

DEA, I.C.M. Market trends in food ingredients. **Food Technology in New Zealand**, v.27, n.8, p.37-40, 1992.

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

DEVEREUX, H.M.; JONES, G.P.; MCCORMACK, L.M.; HUNTER, W.C. Consumer acceptability of low fat foods containing inulin and oligofructose. **Journal of Food Science**, v.68, n.5, p.1850-1854, 2003.

DOMINGOS, J. B.; LONGHINOTTI, E.M.; VANDERLEI, G. A química dos ésteres de fosfato. **Química Nova**, v. 26, n. 5, 2003.

DRAKE, M.A.; HERRETT, W.; BOYLSTON, T.D.; SWANSON. B.G. Lecithin improves texture of reduced fat cheeses. **Journal of Food Science**, v. 61, n.3, p. 639-642, 1996.

ELIASSON, A. C.; GUDMUNDSSON, M. Starch: physico-chemical and functional aspects. In A. C. Eliasson (Ed.), **Carbohydrates in food**. New York: Marcel Dekker Inc. p. 431–503, 1996.

EMEPA. **Cultivares de batata-doce**. Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba. Disponível em < <http://www.emepa.org.br> > Acesso em 02/04/2008.

EMIOLA, L.C.; DELAROSSA, L.C. Physicochemical characteristics of yam starches. **Food Biochemistry**, v.5, p.115–130, 1981.

FAO – **Faostat database**. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acessado em 13 de janeiro de 2008.

FDA. **Food and Drug Administration**. Food starch modified: code of federal regulation. Washington: U.S. Department of Health and Human Services, 2003. (Título21).

FRANCO, C.M.L.; DAIUTO, E.R.; DEMIETE, I.M.; CARVALHO, L.J.C.B.; LEONEL, M.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S.B.S. **Propriedades gerais do amido**. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. 221p. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, 1).

FREDERICK, T. L. Characteristics of 95% lean beef German sausages varying in phosphate and added water. **Journal of Food Science**, v. 59, p. 453-455, 1994.

GALLANT, D. J.; BOUCHET, B.; BALDWIN, M. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. **Carbohydrate polymers**, v.32, n.3-4, p. 177-191, 1997.

GALLIARD, T.; BOWLER, P. Morphology and composition of starch. In: GALLIARD, T. (Ed.) **Starch:properties and potential**. Society of Chemical Industry, p.55-78, 1987.

GARCIA, A.M.; WALTER, W.M. Physicochemical characterization of starch from Peruvian sweet potato selections. **Starch/Stärke**, v. 50, p.331-337, 1998.

GEISE, J. Developing low-meat products. **Food Technology**, v. 46, n. 4, p. 100-108, 1992.

GEISE, J. Fat, oils and fat replaces. **Food Technology**, v. 50, n. 4, p. 77-83, 1996.

GENUNG, L. B.; MALLAT, R. C. **Ind. Eng. Chem.**, v.13, p.369–374,1941.

GIDLEY, M. J. Molecular mechanisms underlying amylose aggregation and gelation. **Macromolecules**, v.22, p.351–358, 1989.

GUILBOT, A.; MERCIER, C. **Starch In: The polysaccharides**, v.3, p 209-273, 1985.

HARWALKAR, V. R.; MA, C. Y. **Thermal Analysis of Foods**; Elsevier Applied Science: London, 1990.

HERMANSSON, A. M.; SVEGMARK, K. Developments in the understanding of starch functionality. **Trends in Food Science and Technology**, v.7, p.345–353, 1996.

HIRSCH, J. B.; KOKINI, J. L. Understanding the mechanism of cross-linking agents (POCl₃, STMP, and EPI) through swelling behaviour and pasting properties of cross-linked waxy maize starches. **Cereal Chemistry**, v.79, p. 102–107, 2002.

HIZUKURI, S.; TABATA, S.; NIKUNI, Z.. Studies on starch phosphates. **Starch/Stärke**, v. 22, p. 338–343, 1970.

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

HOOVER, R.; DENANAYAKE, S. P. J. N. Composition and physicochemical properties of oat starches. **Food Research International**, v. 29, n.1, p.15-26, 1996.

HOOVER, R.; MANUEL, H. The effects of heat moisture treatment on the structure and physicochemical properties of normal maize, waxy maize, Dull waxy maize and amylo maize starches. **Journal of Cereal Science**, v.23, p. 153–162, 1996.

HOSENEY, R. C. Principles of cereal science and technology. **American Association of Cereal Chemistry Inc.**, St. Paul, Minnesota, USA, p. 47-63, 1986.

SÃO PAULO. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 3^o ed., v.1, 1985.

JANE, J.; CHEN, J.F. Effect of amylose molecular size and amylopectin branch chain length on paste properties of starch. **Cereal Chemistry**, v.69, n.1, p. 60-65, 1992.

JANE, J.; CHEN, Y.Y.; LEE, L.F.; MCPHERSON, A.E.; WONG, K.S.; RADOSAVLJEVIC, M.; KASEMSUWAN, T. Effects of amylopectin branch chain length and amylase content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, v. 76, p. 629-637, 1999.

JOBLING, S. Improving starch for food and industrial applications. **Current Opinion in Plant Biology**. v.7, n.2, 210-218, 2004.

KASEMSUAWAM, T. Characterization of the dominant mutant amyloseextender(Acl-5180) maize starch. **Cereal Chemistry**, v.72, n.5, p.457-464, 1995.

KHALIL, A. H. Quality characteristics of low-fat beef patties formulated with modified corn starch and water. **Food Chemistry**, v. 68, p. 61-68, 2000.

KUHN, K.; SCHLAUCH, S. Comparative study about commercially available starches for high shear and high temperature applications in foods. **Starch/Stärke**, v.46, 208–218, 1994.

LAGARRIGUE, S.; ALVAREZ, G. The rheology of starch dispersions at high temperatures and high shear rates: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 50, p.189–202, 2001.

LANGAN, R. E. In O. B. Wurzburg, Modified starches: properties and uses **Food industry**, p. 199-212. Boca Raton, 1986.

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

LAWAL, O. S. Succinyl and acetyl starch derivatives of a hybrid maize: Physicochemical characteristics and retrogradation properties monitored by differential scanning calorimetry. **Carbohydrate Research**, v.339, p.2673–2682 2004b.

LAWAL, O.S.; ADEBOWALE, K.O. Physicochemical characteristics and thermal properties of chemically modified jack bean (*Canavalia ensiformes*) starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 60, n.3, p. 331-341, 2005.

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

LEONEL, M.; JACKEY, S.; CEREDA, M.P. Processamento industrial de fécula de mandioca e batata doce – um estudo de caso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 3, p. 343-345, 1998.

LEONEL, M.; CEREDA, M.P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.22, n.1, p. 65-69, 2002.

LEONEL, M.; SARMENTO, S.B.S.; CEREDA, M.P.; GUERREIRO, L.M.R. Extraction and Characterization of Biri Starch (*Canna edulis*) **Brazilian Journal food technology**, v.5, p.27-32, 2002.

LEONEL, M.; SARMENTO, S.B.S; FRANCO, C.M.L; OLIVEIRA, M.A.; CEREDA, M.P. Avaliação de cultivares de batata-doce como matéria-prima para extração de amido. **Brazilian Journal Food Technology**.v.7 n.1, p. 47-55, 2004.

LII, C. Y.; SHAO, Y. Y.; TSENG, K. H. Gelation mechanism and rheological properties of rice Starch. **Cereal Chemistry**, v. 72, n. 4, p. 393-400, 1995.

LIM, S.; SEIB, P. A. Preparation and pasting properties of wheat and corn starch phosphates. **Cereal Chemistry**, v.70, p.137-144,1993.

LIMA, J.A. **Obtenção e caracterização da farinha de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L) Lam)Cv “cenoura” parboilizada**. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia de alimentos), Universidade Federal da Paraíba, 112 p., 2001.

LIMBERGER, V.M. **Modificação física e química do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 79p, 2006.

LINEBACK, D. R. The starch granule: organization and properties. **Bakers Digest**, v.58 n.2, p.18-21,1984.

LINEBACK, D. R. Current concepts of starch structure and its impact on properties. **Journal of the Japanese Society of Starch Science**, v.33 n.1, p.80-88, 1986.

LIU, H.; RAMSDEN, L.; CORKE, H. Physical properties and enzymatic digestibility of hydroxypropylated ae, wx and normal maize starch. **Carbohydrate Polymers**, v.40, p.175-182, 1999a.

LIU, H.; RAMSDEN, L.; CORKE, H. Physical properties of crosslinked and acetylated normal and waxy rice starch. **Starch**, v.51, p. 249-252, 1999b.

LOH, J. The effect of shear rate and strain on the pasting behaviour of food starches. **Journal of Food Engineering**, v.16, 75–89,1992.

LUCCA, P.A.; TEPPER, B.J. Fat replacers and the functionality of fat foods. *Trends in Food Science & Technology*. Cambridge, v. 5, n.1, p.12-19, 1994.

MANSOUR, E. H.; KHALIL, A. H. Characteristics of low-fat beefburger as influenced by various types of wheat fibers. **Food Research International**, v. 30, p. 199-205, 1997.

MAROCO, J. **Análise estatística** – com utilização do SPSS. Lisboa: Ed. Sílabo, 2003.

MESTRES, C.; MOUQUET, C. Principios físico-químicos de la viscosidad de suspensiones de almidones. In: Conferencia Internacional de Almidón, 1996. Quito **Anais**. p.23-39, 1996.

MILES, M. J.; MORRIS, V. J.; ORFORD, P. D.; RING, S. G. The role of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. **Carbohydrate Research**, v.135, p.271–281, 1985.

MORIKAWA, K.; NISHINARI, K. Rheological and DSC studies of gelatinization of chemically modified starch heated at various temperatures. **Carbohydrate Polymers**, v.43, p.241–247, 2000.

MORRISON, W.R.; KARKALAS, J. Starch. In: DEY, P.M., (Ed.), **Methods in Plant Biochemistry**, v. 2, p. 323–352, 1990.

MORRISON, W.R., Starch lipids and how they relate to starch granule structure and functionality. **Cereal Foods World**, n.40, p.437–446, 1995.

MOUNSEY, J.S.; O’RIORDAN, E.D. Characteristics of imitation cheese containing native or modified Rice starches. **Food Hydrocolloids**,v..22, p. 1160-1169, 2008.

MUHAMMAD, K.; HUSSIN, F.; MAN, Y. C.; GHAZALI, H. M.; KENNEDY, J. F. Effect of pH on phosphorylation of sago starch. **Carbohydrate Polymers**, v.42, p.85–90, 2000.

NABESHIMA, E.; ATIA EL-DASH, A. Modificação química da farinha de arroz como alternativa para o aproveitamento dos subprodutos do beneficiamento do arroz. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, América do Sul, 2005.

NAYOUF, M.; LOISEL, C.; DOUBLIER, J.L. Effect of thermomechanical treatment on the rheological properties of crosslinked waxy corn starch. **Journal of food engineering**, v.59, p.209-219, 2003.

NODA, T.; TSUDA, S.; MORI, M.; TAKIGAWA, S.; ENDO, C.-M.; HANASHIMOTO, N.; YAMAUCHI, H. Properties of starches from potato varieties grown in Hokkaido. **Journal of Applied Glycoscience**, v.51, p.241-246, 2004

PASCHALL, E. F. Phosphation with organic phosphate salts. In: WHISTLER, R. E. L. (ed). **Methods of carbohydrate chemistry**, v. 4, p. 294-296. New York: Academic Press, 1964.

PATON, D. Differential scanning calorimetry of oat starch pastes. **Cereal Chemistry**, v.64, p.394-398, 1987.

PECK, A. Use of acesulfame-k in light and sugar-free baked goods. **Cereal Foods World**, v.39, n.10, p.743-745. 1994.

PERONI, F. H. G. **Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas**. Dissertação de mestrado (Engenharia e Ciência de Alimentos). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 135p., 2003.

PICTRASIK, Z. Effect of content of protein, fat and modified starch on binding textural characteristics, and colour of comminuted scalded sausages. **Meat Science**, v. 51, p. 17-25, 1999.

PONTES, A.E.R. **Desenvolvimento de pão de forma sem adição de açúcares, gorduras e emulsificantes, com o uso de enzimas e amido de mandioca modificado**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 73p, 2006.

RANGANNA, S. **Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Products**, 1112p. 1991.

REYES, F.G.R. Characterization of starch from ginger root (*Zingiber officinale*). **Starch/Stärke**, v.34, n.2, p.40-44, 1982.

RIBEIRO, A. P. L. **Efeito das modificações químicas (Acidificação e Oxidação) sobre as propriedades funcionais do amido de mandioca (Manihot esculenta, Crantz)**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) Universidade Federal da Paraíba (UFPB). 97p., 2006.

RICKARD, J.E.; ASAOKA, M.; BLANSHARD, J.M.V. The physicochemical properties of cassava starch. **Tropical Sciences**, v. 31, p. 189-207, 1991.

ROBERTS, S. A.; CAMERON, R. E. The effects of concentration and sodium hydroxide on the rheological properties of potato starch gelatinisation. **Carbohydrate Polymers**, v.50, p.133–143,2002.

RUTENBERG, M. W.; SOLAREK, D. Starch derivatives: Production and uses. In Whistler, R. L.; BeMiller, J. N. & Paschall, E. F. (Eds.), **Starch: Chemistry and technology** . London: Academic Press. p. 312–388, 1984.

SÁ, F. M. P. **Avaliação das propriedades funcionais e térmicas do amido da fruta-pão (*Astocarpus altilis*) nativo e modificado por succinilação e hidrólise ácida**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) Universidade Federal da Paraíba (UFPB). 78p. 2007.

SANDHU, K. S.; SINGH, N.; KAUR, N. Characteristics of the different corn types and their grain fractions: physicochemical, thermal, morphological, and rheological properties of starches. **Journal of Food Engineering**. v. 64, p. 119-127, 2004.

SASAKI, T.; MATSUKI, J. Effect of wheat starch structure on swelling power. **Cereal chemistry**, v.75, p.525-529, 1998.

SATHE, S.K.; SALUNKHE, D.K. Isolation, partial characterisation and modification of the great Northern bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) starch. **Journal of Food Science**, v.46, p.617–621, 1981.

SCHIRMER, M. A.; TOLEDO, M. C. F.; REYS, F. G. R. Amido fosfatado de milho. Partel. Efeito da temperatura e tempo de tratamento térmico. **Boletim SBCTA**. v. 20, p. 55-66, 1986a.

SEGURA-CAMPOS, M.; CHEL-GUERRERO, L.; BETANCUR-ANCONA, D. Synthesis and partial characterization of octenylsuccinic starch from *Phaseolus lunatus*. **Food Hydrocolloids**, v.22, n.8, 2008.

SHI, X.; BEMILLER, J. N.. Effect of sulfate and citrate salts on derivatization of amylose and amylopectin during hydroxypropylation of corn starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 43, p.333–336, 2000.

SILVA, G.O.; TAKIZAWA, F.F.; PEDROSO, R.A.; FRANCO, C.M.L.; LEONEL, M.; SARMENTO, S.B.S.; DEMIATE, I.M. Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26 n.1 p. 188-197, 2006.

SITOHY, M. Z.; EL-SAADANY, S. S.; LABIB, S. M.; RAMADAN, M. F. Physicochemical properties of different types of starch phosphate monoesters. **Starch/Stärke**, v.52, n. 4, p. 101-105, 2000.

SIVAK, M.N.; PREISS, J. Industrial Applications of starch. In: Starch. **Basic Science to biotechnology, Advances in Food Nutrition Research**. v. 41, p. 163-170, 1998.

SONI, P.L.; SHARMA, H.W.; DOBHAL, N.P.; BISEN, S.S.; SRIVEVASTAVA, H.C; GHARIA, M.M. The starches of *Dioscorea ballophyiia* and *Amorphophailus companulatus*. **Starch/Starke**, v.37, n.1, p.6-9, 1985.

SPSS. INC. 11.0 for Windows [Computer program]; LEAD Technologies **SPSS** Inc., 2001.

STAHL, J.A. **Efeito da modificação por fosfatação sobre as características do amido de pinhão (*Araucaria angustifolia*, Bert, O. Ktze)**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). 128p., 2003.

STAHL, J.A.; LOBATO,L.P.; BOCHI,V.C.; KUBOTA, E.H.; GUTKOSKI,L.C.; EMANUELLI, T. **physicochemical properties of pinhão (*Araucária angustifolia*) starch phosphates**. **Food science and technology**, n.40, p. 1206-1214, 2007.

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

SWINKELS, J. J. M. **Industrial Starch Chemistry: Properties, modifications and applications of starch**. Vendam, AVEBE, 48 p., 1996

TAKEDA, Y.; HIZUKURI, S. Structures of branched molecules os amylose of various origins, and molar fraction of branched and unbranched molecules. **Carbohydrate Research**, v. 165, n.1, p. 139-145, 1987.

TEIXEIRA, M.A.V. **Amidos quimicamente modificados empregados na substituição de gorduras em alimentos**. 2002, 116p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp, Campinas-SP.

TESTER, R. F.; MORRISON, W. R. Swelling and gelatinization of cereal starches, I. Effect of amylopectin, amylose, and lipids. **Cereal Chemistry**, v.67, p.551-557, 1990a.

TESTER, R. F.; MORRISON, W. R. Swelling and gelatinization of cereal starches, II. Waxy rice starches. **Cereal Chemistry**, v.67, p.558–563, 1990b.

TESTER, R. F. **Starch: The polysaccharide fractions**. In R. J. Frazier, A. M. Donald, & P. Richmond (Eds.), *Starch structure and functionality* p. 163–171 Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1997.

TESTER, R.F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch-composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science** v.39, n.2, p.151-165, 2004.

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

THUIJUN, L.; RAMSDEN, L; CORKE, H. Physical properties of cross-linked and acetylated normal and waxy rice starch, **Starch/Stärke**, v.51, n.7, p.249-252, 1999.

TRUBIANO, P. C. **Succinate and Substituted Succinate Derivatives of Starch**. In *Modified Starches Properties and Uses*, 2nd ed.; Wurzburg, O. B., Ed.; CRC: Boca Raton, Florida, p. 131–148, 1987.

TSAI, M. L.; LI, C. F.; LII, C. Y. Effects of granular structure on the pasting behavior of starches. **Cereal Chemistry**, 74, 750–757, 1997.

VILPOUX, O. Amidos adaptados ao uso nas indústrias de alimentos. **Jornal CERAT/UNESP**, Botucatu, n.70, p.1-2, 1998.

WALISZEWSKI, K.N.; APARICIO, M.A.; BELLO, L.A.; MONROY, J.A. Changes of banana starch by chemical and physical modification. **Carbohydrate polymers**, v.52, p. 237-242, 2003.

WANG, L.; SEIB, P.A. Australian salt-noodle flours and their starches compared to us wheat flours and their starches. **Cereal Chemistry**, v.73, p.167-175, 1996.

WATTANCHANT, S.; MUHAMMAD, K.; HASHIM, D.; RAHMAN, R. A. Effect of cross-linking reagents and hydroxypropylation levels on dual-modified sago starch properties. **Food Chemistry**, v.80, p.463–471, 2003.

WHISLER, R. L.; BEMILLER, J. N. Starch. In R. L. Whisler, & J. N. BeMiller (Eds.), **Carbohydrate chemistry for food scientists**, St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists, p. 117–151, 1997.

WOO, K.; SEIB, P. A. Cross-linking of wheat starch and hydroxypropylated wheat starch in alkaline slurry with sodium trimetaphosphate. **Carbohydrate Polymers**, v.33, n.4, p.263 -271, 1997.

WOO, K.S. Cross-linked, **RS4 type resistant starch: preparation and properties**. PhD Thesis. Kansas State, University Manhattan, KS. 1999.

WOO, K.S.; SEIB, P.A. Cross-linked resistant starch: preparation and properties. **Cereal chemistry**, v.79, n. 6, p. 819-825, 2002.

WOOTTON, M.; BAMUNUARACHCHI, A. **Starch/Stärke**, v.31, p.201–204, 1979.

WURZBURG, O.B.. Cross-linked starches. In: WURZBURG, O.B. (Ed.), **Modified Starches: Properties and Uses**. CRC Press Inc., Boca Raton, pp. 41–53, 1986.

YADAV, A.R.; MAHADEVAMMA, S.; THARANATHAN, R.N.; RATEKE, R.S. Characteristics of acetylated and enzyme-modified potato and sweet potato flours. **Food Chemistry**, V.103, 1119–1126, 2007.

YEH, A. I.; YEH, S. L. Property differences between cross-linked and hydroxypropylated rice starches. **Cereal Chemistry**, v.70, 596-608, 1993.

YONEYA, T.; ISHIBASHI, K.; HIRONAKA, K.; YAMAMOTO, K. Influence of cross-linked potato starch treated with POCl_3 on DSC, rheological properties and granule size. **Carbohydrate Polymers**, v. 53, p.447–457, 2003.

YOOK, C.; PEK, U. H.; PARK, K. H. Gelatinization and retrogradation characteristics of hydroxypropylated cross-linked rices. **Journal of Food Science**, v. 58, p.405–407, 1993.

ZIEGLER, G. R.; THOMPSON, D. B.; CASASNOVAS, J. Dynamic measurement of starch granule swelling during gelatinization. **Cereal chemistry**, v.70, p.247-251, 1993.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Poder de intumescimento em função da temperatura dos amidos de batata-doce nativo, succinilado e fosfatado.

Amostras	Temperaturas			
	60°C	70°C	80°C	90°C
Nativo	1,55±0,05cB	1,95±0,04cB	15,83±0,55bB	20,30±0,64aB
Succinilado	1,96±0,10cA	3,20±0,07cA	18,99±0,73bA	25,40±0,68aA
Fosfatado	1,38±0,05bB	1,48±0,09bC	3,47±0,42aC	3,64±0,09aC

Cada valor representa a média e o desvio de três determinações.

Diferença significativa entre as linhas – representada pelas letras maiúsculas.

Diferença significativa entre as colunas – representada pelas letras minúsculas

APÊNDICE B - Solubilidade em função da temperatura dos amidos de batata-doce nativo, succinilado e fosfatado.

Amostras	Temperaturas			
	60°C	70°C	80°C	90°C
Nativo	0,50±0,01cB	0,57±0,07cB	2,80±0,18bB	5,49±0,40aB
Succinilado	2,07±0,07dA	2,83±0,01cA	15,71±0,40bA	20,41±0,10aA
Fosfatado	0,53±0,05cB	0,55±0,01cB	0,64±0,02bC	0,71±0,01aC

Cada valor representa a média e o desvio de três determinações.

Diferença significativa entre as linhas – representada pelas letras maiúsculas.

Diferença significativa entre as colunas – representada pelas letras minúsculas

APÊNDICE C - Poder de intumescimento dos amidos nativo, succinilado e fosfatado de batata-doce em função do pH

Amostras	pH				
	3	5	7	9	12
Nativo	1,39±0,19bA	1,55±0,11bA	1,76±0,24bB	1,88±0,02bB	3,09±0,35aB
Succinilado	1,28±0,20cA	1,43±0,09cA	2,35±0,11bA	2,48±0,10bA	3,76±0,19aA
Fosfatado	1,52±0,06aA	1,49±0,17aA	1,50±0,04aB	1,46±0,09aC	1,44±0,14aC

Cada valor representa a média e o desvio de três determinações.

Diferença significativa entre as linhas – representada pelas letras maiúsculas.

Diferença significativa entre as colunas – representada pelas letras minúsculas

APÊNDICE D – Solubilidade dos amidos nativo, succinilado e fosfatado de batata-doce em função do pH

Amostras	pH				
	3	5	7	9	12
Nativo	1,47±0,03dB	1,64±0,07cdB	1,89±0,07cB	2,95±0,09bB	5,14±0,19aB
Succinilado	1,97±0,06dA	2,07±0,12dA	2,71±0,06cA	4,09±0,08bA	8,44±0,09aA
Fosfatado	1,18±0,07aC	1,20±0,02aC	1,08±0,08aC	1,14±0,07aC	1,20±0,06aC

Cada valor representa a média e o desvio de três determinações.

Diferença significativa entre as linhas – representada pelas letras maiúsculas.

Diferença significativa entre as colunas – representada pelas letras minúsculas

APÊNDICE E - Viscosidade dos amidos nativo, succinilado e fosfatado de batata-doce em função da concentração

Amostras	Concentração (%)					
	0,5	0,75	1	2	3	4
Nativo	0,98±0,011dB	1,07±0,005dB	1,41±0,015cB	3,09±0,036bA	7,44±0,08aA	0
Succinilado	4,15±0,010cA	11,69±0,036bA	27,21±0,35aA	0	0	0
Fosfatado	0,64±0,010eC	0,86±0,005dC	0,93±0,01cC	0,98±0,01bB	1,02±0,01bB	1,06±0,005aA

Cada valor representa a média e o desvio de três determinações.

Diferença significativa entre as linhas – representada pelas letras maiúsculas.

Diferença significativa entre as colunas – representada pelas letras minúsculas.

APÊNDICE F - Viscosidade dos amidos nativo, succinilado e fosfatado de batata-doce em função do pH

Amostras	pH				
	3	4	5	7	9
Nativo	1,21±0,01abA	1,14±0,017bA	1,20±0,050aA	1,26±0,005aA	1,26±0,005aA
Succinilado	1,19±0,006abA	1,09±0,045cdA	1,05±0,005dB	1,21±0,010aB	1,13±0,045bcB
Fosfatado	1,21±0,006bA	1,11±0,005cA	1,03±0,005eB	1,22±0,005 aB	1,10±0,005dB

Cada valor representa a média e o desvio de três determinações.

Diferença significativa entre as linhas – representada pelas letras maiúsculas.

Diferença significativa entre as colunas – representada pelas letras minúsculas

APÊNDICE G - Viscosidade dos amidos nativo, succinilado e fosfatado de batata-doce em função da temperatura

Amostras	Temperatura				
	50°C	60°C	70°C	80°C	90° C
Nativo	1,02±0,005eB	1,00±0,005dA	0,94±0,006cC	1,47±0,03bB	1,64±0,015aA
Succinilado	1,03±0,010bA	1,05±0,006bB	13,18±0,010bA	27,29±0,4aA	0
Fosfatado	1,02±0,010aB	0,98±0,006bA	1,03±0,011cB	0,98±0,005dB	0,94±0,017eB

Cada valor representa a média e o desvio de três determinações.

Diferença significativa entre as linhas – representada pelas letras maiúsculas.

Diferença significativa entre as colunas – representada pelas letras minúsculas

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)