



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola
Área de Armazenamento e Processamento de Produtos
Agrícolas



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
DA ALUNA:

Renata Duarte Almeida

ATIVIDADE DE ÁGUA E REOLOGIA DO AMIDO DE INHAME
VARIEDADE SÃO TOMÉ

Profa. Dra. Maria Elita Martins Duarte
(Orientadora)

Campina Grande, PB
(Outubro/2011)

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DA ALUNA:

Renata Duarte Almeida

***ATIVIDADE DE ÁGUA E REOLOGIA DO AMIDO DE INHAME
VARIEDADE SÃO TOMÉ***

Trabalho apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para a conclusão de curso.

CAMPINA GRANDE

(Outubro/2011)



A447a Almeida, Renata Duarte.

Atividade de água e reologia do amido de inhame variedade São Tomé. / Renata Duarte Almeida. - Campina Grande - PB: [s.n], 2011.

31 f.

Orientadora: Professora Dra. Maria Elita Martins Duarte.

Trabalho de Conclusão de Curso - Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

1. Inhame São Tomé. 2. Amido de inhame - reologia. 3. Atividade de água - inhame. 4. Reologia do amido de inhame. 5. Dioscorea alata L. - amido. 6. Liofilização - amido de inhame. 7. Modelo de Peleg - isotermas. I. Duarte, Maria Elita Martins. II. Título.

CDU:664(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DA ALUNA:

Renata Duarte Almeida

**ATIVIDADE DE ÁGUA E REOLOGIA DO AMIDO DE INHAME
VARIEDADE SÃO TOMÉ**

BANCA EXAMINADORA:

PARECER

(nota)

Maria Elita Martins Duarte
Prof. Dra. Maria Elita Martins Duarte
(Orientadora) UFCG/DEAg

9,9

Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata
Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata
(Examinador) UFCG/DEAg

10,0

Leila de Sousa Nunes
Doutoranda Leila de Sousa Nunes (Mestre em Eng. Agrícola)
(Examinador) UFCG/CCT/Engenharia de Processos

9,8

**CAMPINA GRANDE
(Outubro/20011)**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS



Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola
Área de Processamento e Armazenamento de
Produtos Agrícolas



**ATIVIDADE DE ÁGUA E REOLOGIA DO AMIDO DE INHAME
VARIEDADE SÃO TOMÉ**

Renata Duarte Almeida

RESUMO

Existe um crescente interesse na busca de novas fontes de amido para uso, sobretudo nas indústrias de processamento de alimentos. Devido ao seu alto conteúdo de amido, o inhame é uma fonte potencial para o uso na fabricação de alimentos. O amido de inhame é um produto de alto valor nutricional, pode ser utilizado para preparação de alimentos que proporcione uma manutenção corporal saudável. Objetivou-se com este trabalho obter maiores informações acerca de algumas propriedades do amido de inhame (*Dioscorea alata* L.) variedade São Tomé. Realizou-se a extração de amido de inhame e procedeu-se a secagem pelo método de liofilização para obtenção do amido em pó. Para o amido em pó obtido determinou-se as isotermas de adsorção a 25, 30, 35, 40 e 45 °C e aplicou-se ajustes segundo equações de Sigma-Copace, Halsey, Peleg. Estudou-se o comportamento reológico da pastas de amido nas concentrações de 4, 5 e 6% (relação massa/massa) às temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C. Concluiu-se que no processo de extração de amido de inhame, o rendimento prático médio foi de 18,28%, enquanto que o rendimento médio, em termos de matéria seca, foi de 68,48%. Quanto aos modelos utilizados para ajuste das isotermas, o modelo de Peleg se ajusta melhor os dados experimentais de atividade de água de amido de inhame. No estudo reológico, que para pasta de amido o modelo Lei da Potência foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais reológicos. As suspensões de amido gelatinizadas (pastas) foram classificadas reologicamente como fluidos não-newtonianos dependentes do tempo e com caráter tixotrópico.

PALAVRAS-CHAVE: *Dioscorea alata* L., amido, reologia, propriedades físicas.

ABSTRACT

There is growing interest in finding new sources of starch for use, especially in the industries of food processing. Due to its high content of starch, yam is a potential source for use in food manufacturing. Yam starch is a product of high nutritional value, can be used for food preparation that provides healthy body maintenance. The objective of this search had been to obtain more information about some properties of yam starch (*Dioscorea alata* L.) Sao Tome variety. The extraction of yam starch was accomplished and the obtained starch was dried by the liofilization method, resulting in powdered starch. The adsorption isotherms of powder starch at 25, 30, 35, 40 and 45 °C had been

determined and the fittings were performed according to the Sigma-Copace, Halsey, Peleg equations. Among these the rheological behavior of starch pastes at 4, 5 and 6% (mass / mass) at temperatures of 20, 30, 40 and 50 ° C. It was ended that in the extraction process of yam starch, the medium practical revenue was 18.28%, while the medium revenue, in dried basis, was 68.48%. Regarding to the models used for the isotherms fitting, Peleg is the best model to represent the experimental data of water activity of yam starch powder. It is concluded, the rheological study, which for starch pastes the Power Law model was the best fit to the experimental rheological data. The gelatinized starch suspensions (pastes) were classified rheologically as Newtonian fluids non-time-dependent thixotropic and character.

Keywords: *Dioscorea alata* L, rheology, starch, physical properties

INTRODUÇÃO

Devido à quantidade de carboidratos que possui, o Inhame foi classificado como um das bases alimentares mais importantes nas dietas de muitos países tropicais. É uma planta de constituição herbácea, trepadeira, da família das Dioscoreáceas e produtora de rizóforos alimentícios de alto valor energético e nutritivo, tendo larga aceitação pelas diversas camadas da sociedade brasileira. A exploração da cultura do inhame constitui uma alternativa viável para a agricultura nordestina, isso porque encontra-se nas zonas produtoras dessa região, condições ambientais favoráveis para seu desenvolvimento e produção, em caráter altamente econômico. Soma-se a isso o grande potencial que o inhame apresenta para expansão de sua área de cultivo, possibilitando maior produção e exportação para os grandes centros consumidores do centro-sul, além do mercado externo (OLIVEIRA et al., 2006).

Segundo FIOREZE e MORINI (2000), quando colhidos, os tubérculos apresentam cerca de 70% de umidade e são comercializados *in natura* na temperatura ambiente, o que pode ocasionar sua rápida deterioração. LEONEL e CEREDA (2002) caracterizaram algumas tuberosas amiláceas e afirmaram que o inhame apresenta potencial de uso como matéria-prima industrial, pois possui bom rendimento de extração de amido. A obtenção de produto industrializado, com valor comercial, a partir do inhame pode alavancar a exploração do potencial agroindustrial dessa espécie. Segundo CEREDA (2002) estudos poderiam ser desenvolvidos objetivando sua utilização na alimentação humana, dada à necessidade crescente de alimentos com qualidade nutritiva para atender a demanda populacional.

Este polissacarídeo apresenta propriedades específicas necessárias para dar funcionalidade e atributos desejáveis a alguns alimentos, a exemplo dos amidos pré-gelatinizados que desempenham um papel muito importante em alimentos instantâneos (ALVES et al., 1999), e da influência que exerce sobre sua textura (SINGH et al., 2003)

A farinha de inhame pode ser utilizada em substituição a outros amidos como a farinha de trigo, com algumas vantagens, como as que seguem: a) o amido do inhame não possui

glúten, diferentemente do trigo, do centeio, da cevada e da aveia, sendo ideal para quem tem alergia, como no caso dos celíacos e de outras síndromes que levam à exclusão do glúten da dieta; b) é nutricionalmente mais rico, devido às qualidades naturais, possui mais proteínas, fósforo, potássio e vitaminas do complexo B; c) o amido gerado pode desencadear incentivo e possível incremento da cultura do inhame, o que poderia gerar um grande número de empregos no campo, principalmente entre as mulheres, como ocorre na África, e, por conseguinte, o incentivo a agricultura familiar e manutenção do homem no campo; d) por fim, o processamento de inhame, sob a forma de amido, se coloca como uma alternativa para redução das perdas associadas à pós-colheita.

Somando-se as vantagens citadas sobre o amido de inhame, existe o fato de que o setor de amido vem atentando para as dificuldades de comercialização de amidos modificados para uso em alimentos, o que tem desencadeado uma busca cada vez mais crescente por amidos naturais com propriedades que atendam as exigências do mercado.

Segundo os fatos relatados sobre as perspectivas desse produto, os objetivos desta pesquisa foi realizar a extração de amido de inhame da variedade São Tomé (*Dioscorea alata* L.), a secagem pelo método de liofilização para obtenção do amido em pó, determinar a atividade de água (isotermas de adsorção a 20, 30, 40 e 50°C) e realizar o estudo do comportamento reológico de pasta de amido de inhame com 4%, 5% e 6% (Concentração massa/massa), em temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Universidade Federal de Campina Grande. Para o desenvolvimento desta pesquisa foi utilizado o inhame (*Dioscorea alata* L.) da variedade São Tomé adquiridos na zona rural do Município de Massaranduba- PB.

Extração do amido

A extração do amido nativo de inhame foi realizada de acordo com a metodologia proposta por DAIÚTO E CEREDA (2003) com algumas modificações.

Os tubérculos foram selecionados, sendo lavados e descascados manualmente apenas aqueles que não possuíam danos (mecânicos/microbiológicos). Após esse processo, por meio do uso de faca de aço os inhames foram cortados imersos em solução de bissulfito de sódio (0,5%) para a realização do branqueamento, com o objetivo de inibir a ação enzimática, até o momento da trituração.

Os tubérculos branqueados foram seccionados em pequenos cubos para que fosse facilitada a sua trituração em liquidificador doméstico (600W), juntamente com solução de hidróxido de sódio 0,03N na proporção de 1:2 (g de inhame: g da solução). O material foi triturado por aproximadamente 4 minutos na velocidade máxima do aparelho.

O material triturado foi submetido à filtração em sacos confeccionados a partir de organza (com abertura da malha próxima a 100 mesh) e o filtrado decantado, inicialmente por um período de aproximadamente 12 horas em ambiente refrigerado a 10°C para evitar ação enzimática ou fermentativa durante a decantação.

O procedimento de suspensão e decantação do amido foi efetuado até que o produto apresentasse cor e textura características e que, praticamente, toda a mucilagem presente na suspensão fosse eliminada.

Para evitar modificações do amido, foi necessário ainda, o uso de uma solução de HCl (0,1M) para proporcionar o completo ajuste do pH dessa suspensão para aproximadamente 7,0.

Secagem do amido

O material decantado foi seco por liofilização. O amido com teor de água de aproximadamente 45% (b.u.) foi colocado nas bandejas do liofilizador e então congelado a -26°C (Figura 1)

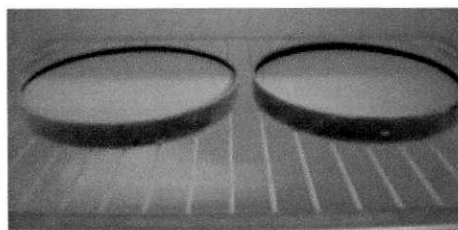


Figura 1. Congelamento do amido a -26 °C.

As bandeijas com amido congelado foram levadas ao liofilizador marca Terroni Fauvel, modelo LB 1500 (Figura 2) onde permaneceram por 48h sob vácuo.

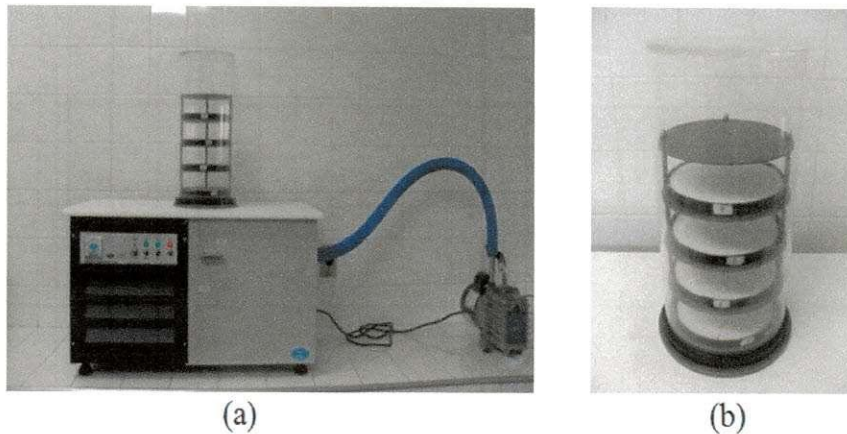


Figura 2. Equipamento utilizado para secagem do amido: (a) Liofilizador Modelo LB 1500 e (b) câmara onde o amido é liofilizado

Embalagem

Porções com aproximadamente 30 g do amido seco foram acondicionadas em sacos de polietileno com fechamento “zip lock”, em seguida cada pacote foi recoberto com duas embalagens feitas a partir de plástico metalizado e selados. Essas embalagens foram então armazenadas em uma caixa de poliestireno expandido contendo sílica gel e mantidas em temperatura ambiente até seu uso nas análises seguintes (Figura 3).

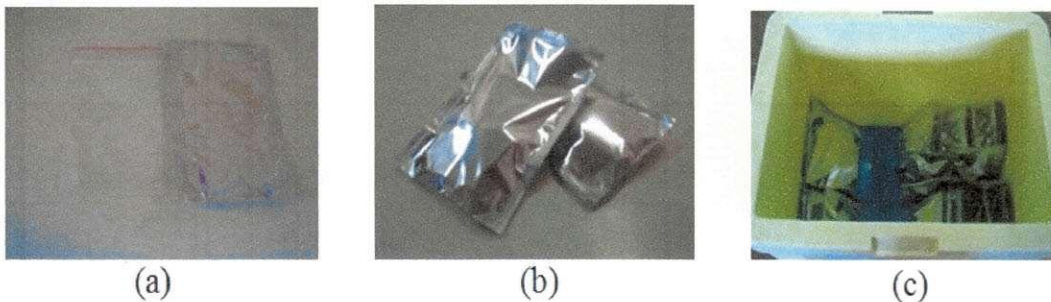


Figura 3. Embalagem do amido seco: (a) saco de polietileno com fechamento “zip lock” (à esquerda) e embalagem de plástico metalizado (à direita), (b) porções de amido já embaladas e (c) caixa de poliestireno expandido para o armazenamento do amido

Rendimento da extração

O rendimento prático da extração do amido foi calculado como percentagem da massa de amido obtida ao final da secagem, em relação à massa de tubérculos triturada, conforme Equação 1.

$$R_p = \frac{m_a}{m_i} \cdot 100 \quad (1)$$

em que:

R_p = rendimento prático (%);

m_a = massa de amido obtido após a secagem (g);

m_i = massa de inhame triturado (g).

Também se calculou o rendimento da extração, em termos de matéria seca (R_{MS}) como percentagem da quantidade de matéria seca da massa de amido obtida, em relação à quantidade de matéria seca da massa de tubérculos triturada. (Equação 2).

$$R_{MS} = \frac{C_a \cdot m_a}{C_i \cdot m_i} \cdot 100 \quad (2)$$

em que:

R_{MS} = rendimento em termos de matéria seca (%);

m_a = massa de amido obtido após a secagem (g);

m_i = massa de inhame triturado (g);

C_a = teor de matéria seca do amido obtido após a secagem (%);

C_i = teor de matéria seca do inhame triturado (%).

Atividade de água

Os dados de atividade de água do amido, nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45 ± 2 °C, foram obtidas pelo método dinâmico, utilizando-se o equipamento Thermoconstanter Novasina TH-2. Ajustaram-se, aos valores experimentais das isotermas de adsorção do amido, os modelos de Sigma-Copace, Halsey, Peleg representados pelas Equações 3, 4 e 5, respectivamente.

Sigma-Copace

$$X_e = \exp\{(a - (bT) + [c \exp(A_w)])\} \quad (3)$$

Halsey

$$X_e = \left(\frac{-a}{\ln A_w} \right)^{(1/b)} \quad (4)$$

Peleg

$$X_e = k_1 A_w^{n1} + k_2 A_w^{n2} \quad (5)$$

Em que, X_e - teor de água de equilíbrio (kg de água/kg de massa seca); A_w - atividade de água (adimensional); T - temperatura (°C); a, b e c - constantes das equações.

O ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais foi feito com o software Statistica 8.1 (Statsoft, 2008), utilizando-se análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton.

Comportamento reológico de pasta de amido de inhame

Para a realização do estudo reológico da pasta de amido, utilizou-se um viscosímetro Brookfield, modelo DVII com spindle nº25, fabricado por Brookfield Engineering Laboratories, Inc., E.U.A, conforme exposto na Figura 4. O equipamento é provido de um suporte no qual era colocado um porta amostra que comportava pequenas quantidades (cerca de 40mL), este equipamento era acoplado a um banho Maria, o que possibilitou controlar as temperaturas das amostras durante os ensaios.

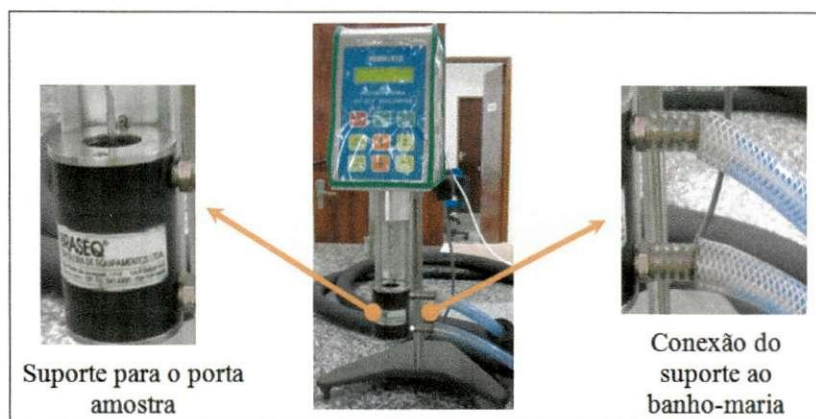


Figura 4. Viscosímetro Brookfield- DVII.

Foram preparadas pequenas quantidades de suspensões com diferentes concentrações de amido (4, 5 e 6%). Estas suspensões foram aquecidas sob constante agitação até sua total gelatinização (ponto de pasta) e em seguida levadas ao porta amostra, que por sua vez, era colocado no suporte do viscosímetro. As determinações reológicas foram realizadas às temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C. Para a obtenção dos parâmetros de interesse variou-se a taxa de deformação de 0,22 a 44 s⁻¹ e utilizou-se as velocidades de 1, 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180 e 200 rpm. Estas leituras foram feitas em escala ascendente (ciclo 1 de cisalhamento) e imediatamente em escala descendente (ciclo 2 de cisalhamento) de velocidade de rotação.

As leituras de velocidade de rotação, torque, viscosidade aparente, tensão de cisalhamento, taxa de deformação, temperatura e tempo, foram registradas em um computador conectado ao viscosímetro com auxílio de um software acoplado ao sistema de aquisição de dados do equipamento (Figura 5).

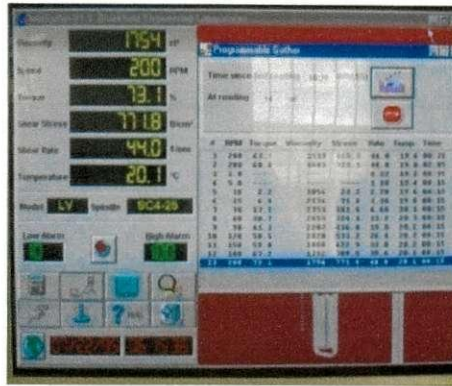


Figura 5. Registros dos dados fornecidos nos ensaios reológicos.

Modelagem matemática para o estudo reológico

Às curvas de taxa de deformação versus tensão de cisalhamento foram ajustados o Modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) e o Modelo de Herschel-Bulkley. Para a realização do ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais procedeu-se com análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, representados pelas equações 6 e 7. Para tanto, foi utilizado o software STATISTICA 8.0.

$$\tau = \tau_0 + k_{hb} \cdot \gamma^{n_{hb}} \quad (6)$$

$$\tau = k_{lp} \cdot \gamma^{n_{lp}} \quad (7)$$

em que:

τ = tensão de cisalhamento (Pa);

τ_0 = tensão de cisalhamento inicial (Pa);

k_{hb} = índice de consistência para o modelo de Herschel-Bulkley (Pa.s^{n_{hb}});

k_{lp} = índice de consistência para o modelo Lei da Potência (Pa.s^{n_{lp}});

γ = taxa de deformação (s⁻¹);

n_{hb} = índice de comportamento do fluido para o modelo de Herschel-Bulkley (adimensional);

n_{lp} = índice de comportamento do fluido para o modelo Lei da Potência (adimensional).

O coeficiente de correlação (R^2) dado pelo software e o desvio percentual médio (P) foram tidos como base para a avaliação do ajuste de cada modelo aos dados experimentais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Rendimento da extração

O rendimento prático da extração do amido (R_p) foi calculado como percentagem da massa de amido obtida ao final da secagem, com teor de água de 2,2%, em relação à massa de tubérculos triturada, com teor de água original de 73,9%. Nesse processo de extração de amido de inhame, o rendimento prático médio foi de 18,28%.

Também foi calculado o rendimento da extração em termos de matéria seca (R_{MS}) como percentagem da quantidade de matéria seca da massa de amido obtida, com teor de água de 2,2%, em relação à quantidade de matéria seca da massa de tubérculos triturada, com teor de água original de 73,9%, sendo o rendimento médio de 68,48%.

Estudando a extração do amido de araruta (*Maranta arundinacea*), LEONEL et al. (2002a), obteve um rendimento prático de 21,34% para um amido com teor de água de 12,79%. Devido ao valor do teor e água encontrado para este amido, o percentual de rendimento observado pelos autores é bem maior que o encontrado na extração do amido de inhame. Pelo mesmo motivo, é que o rendimento prático de 7,22% na extração do amido de gengibre (*Zingiber officinale*) com teor de água de 11,75% realizada por LEONEL et al. (2004) e o rendimento prático da extração do amido de jacatupé (*Pachyrhizus ahipa*) cujo teor de água era de 12,31% verificado por LEONEL et al. (2003), foi de 4,28%, foram menores que o rendimento prático encontrado na extração do amido de inhame neste trabalho.

Atividades de água

Os resultados experimentais de teores de água de equilíbrio (X_e) para adsorção do amido de inhame com suas respectivas atividades de água a diferentes temperaturas estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores experimentais de teor de água de equilíbrio (%b.s.) para as isotermas de adsorção de água do amido nativo de inhame em função da atividade de água para as temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45 °C

Temperatura (°C)									
25		30		35		40		45	
X _e	A _w	X _e	A _w	X _e	A _w	X _e	A _w	X _e	A _w
1,752	0,079	1,721	0,074	2,026	0,069	1,500	0,064	1,629	0,059
3,004	0,079	2,566	0,074	2,992	0,069	3,062	0,065	3,231	0,065
3,342	0,079	3,249	0,074	3,555	0,069	3,469	0,067	2,926	0,067
6,711	0,141	6,344	0,148	6,536	0,157	7,379	0,163	8,944	0,166
9,639	0,200	9,080	0,215	9,352	0,231	9,452	0,244	9,336	0,279
13,320	0,388	13,983	0,405	13,846	0,425	13,786	0,440	12,882	0,427
17,959	0,539	16,950	0,562	17,421	0,584	17,191	0,595	15,332	0,549
20,645	0,670	20,959	0,697	20,686	0,723	21,192	0,752	21,614	0,777
25,578	0,812	24,814	0,825	25,032	0,828	24,539	0,841	24,014	0,840
31,855	0,903	30,626	0,910	35,163	0,919	30,291	0,925	32,189	0,937

Nota-se que, com a elevação da atividade de água à mesma temperatura, os valores de teor de água de equilíbrio aumentam. Observando ainda a Tabela 1, percebe-se que para umidades relativas de equilíbrio menores de 0 a 40%, os teores de água de equilíbrio praticamente não variam com a temperatura, ou seja, para a mesma umidade relativa e temperaturas variando de 25 a 45 °C, o teor de água de equilíbrio se mantém aproximadamente constante. GOMES et al. (2002) durante o estudo do comportamento higroscópico da polpa de acerola em pó, em temperaturas de 20, 25 e 30°C, e ALEXANDRE et al. (2007) na pesquisa com pitanga em pó, utilizando as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C encontraram resultados que apresentaram este mesmo comportamento na mesma faixa de atividade de água.

Amidos de algumas tuberosas amiláceas, como batata-doce (*Ipomoea batatas*), biri (*Canna edulis*), mandioca (*Manihot esculenta*), taioba (*Xanthosoma sagittifolium*) e jacatupé (*Pachyrhizus ahipa*) se mostraram, quando caracterizados, providos de teores de açúcares totais menores que 1,2% (LEONEL et al., 2003; LEONEL et al., 2004). Este fato pode explicar a baixa higroscopicidade do amido em relação à pós obtidos a partir de algumas frutas que apresentam quantidade de açúcares mais elevadas, já que os açúcares contidos nos pós de frutas (sacarose, glicose e frutose) são responsáveis pela elevada higroscopicidade desses produtos. Referidos componentes interagem fortemente com vapor de água em seu ambiente em consequência da sua natureza hidrofílica (JAYA & DAS, 2004; CARLOS et al., 2005).

Representação matemática das curvas de adsorção

Nas Figuras 6, 7 e 8 se encontram as isotermas de adsorção do amido de inhame nas temperaturas (25, 30, 35, 40 e 45 °C) com ajuste para os modelos de Peleg, Sigma-Copace e Halsey, respectivamente.

Na Tabela 2, encontram-se os valores dos parâmetros estimados e coeficientes de determinação (R^2) obtidos através dos ajustes dos modelos de Peleg, Sigma-Copace e Halsey às isotermas de adsorção do amido de inhame, nas diferentes temperaturas.

Percebe-se, observando as Figuras 6, 7 e 8 que as isotermas obtidas para o amido de inhame apresentam comportamento típico de isotermas do tipo II, de acordo com a classificação da IUPAC (1985). Mesma classificação foi atribuída às isotermas de equilíbrio higroscópico para a farinha de pupunha a 15 e 35°C estudadas por FERREIRA & PENA (2003). Foram encontradas, também, isotermas com comportamento sigmoidal, do tipo II, em pesquisa realizada por SANTOS et al. (2004) com farinha de mandioca temperada. Isotermas de equilíbrio higroscópico para o amido de batata foram estudadas por AL-MUHTASEB et al. (2004); o comportamento das curvas também refletiu uma isoterma do tipo II.

Observa-se ainda, a existência de um paralelismo, que já era esperado, entre as isotermas, o mesmo não é percebido quanto aos pontos experimentais, pelo menos na faixa de umidade relativa de 0 a 30%.

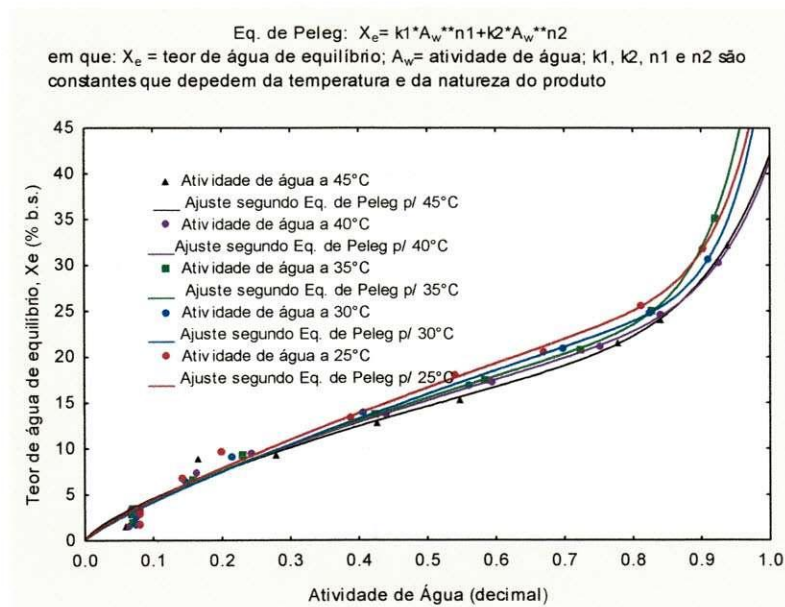


Figura 6. Isotermas de equilíbrio por adsorção para amido de inhame nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45°C, segundo o modelo de Peleg

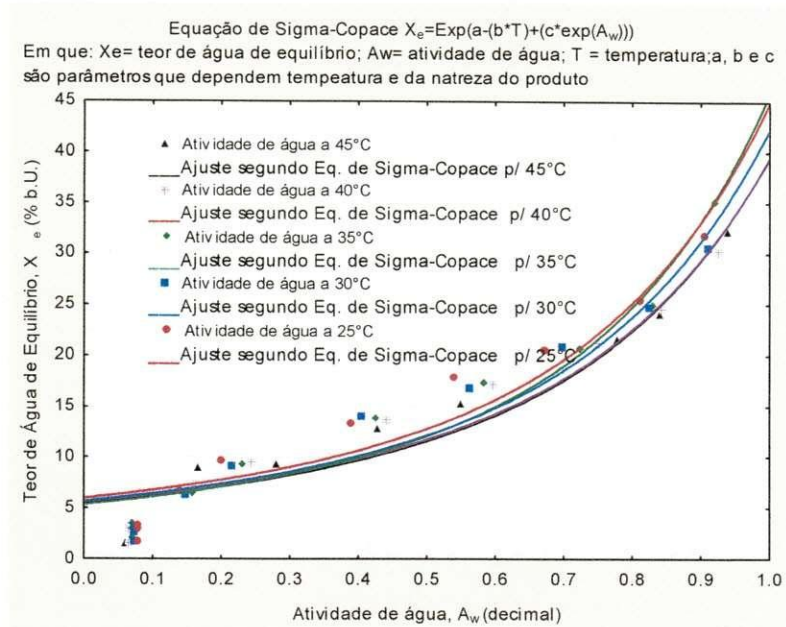


Figura 7. Isotermas de equilíbrio por adsorção para amido de inhame nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45 °C, segundo o modelo de Sigma-Copace

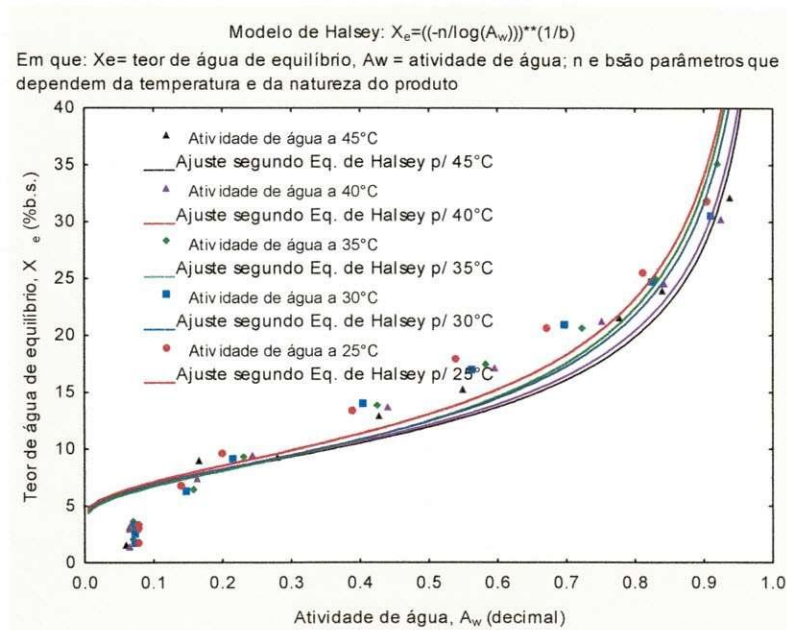


Figura 8. Isotermas de equilíbrio por adsorção para amido de inhame nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45 °C, segundo o modelo de Halsey

Tabela 2. Parâmetros de ajuste dos modelos de Peleg, Sigma-Copace e Halsey, às isotermas de adsorção do amido de inhame, coeficiente de determinação e desvio padrão para amido nativo de inhame, nas temperaturas de 25, 30, 35, 40 e 45 °C.

Modelos	T (°C)	Parâmetros				R ² (%)
		k1	n1	k2	n2	
Peleg	25	29,29485	0,81632	27,72091	16,97026	96,06
	30	2446,424	1001,776	44,447	1,216	97,31
	35	1,000000	0,822695	0,572935	0,729871	96,04
	40	52,56544	45,71359	4,965099	0,122338	96,32
	45	1,000000	0,654919	0,173737	0,087716	97,01
Sigma-Copace	T (°C)	a	b	c		R ² (%)
	25	-14,5806	-0,607843	1,173309		91,31
	30	-13,3238	-0,555994	1,165695		91,42
	35	-19,8202	-0,810255	1,246509		94,76
	40	-1,5445	-0,485793	1,130762		92,84
Halsey		n	b			R ² (%)
	25	109,3997	1,969022			90,08
	30	113,0750	2,019903			89,8
	35	92,5943	1,93864			91,04
	40	158,1229	2,175340			90,65
45	171,9891	2,222935			91,98	

Observando a Tabela 2, percebe-se que tanto pelo coeficiente de determinação como pela representação dos pontos experimentais, o modelo que melhor representam as isotermas de adsorção, de amido de inhame é o de Peleg.

Estudo reológico

Os ensaios reológicos foram realizados com o objetivo de fornecer dados que possibilitassem um melhor entendimento em relação ao comportamento reológico de suspensões gelatinizadas de amido de inhame o qual, conforme suas características, poderá ser empregado industrialmente.

Comportamento reológico da pasta de amido de inhame

Nas Figuras 9, 10, 11 e 12 estão plotados os resultados experimentais de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação para a pasta do amido de inhame em três diferentes concentrações, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C, respectivamente.

Quanto à relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento, a pasta de amido de inhame apresenta-se como um fluido não newtoniano e dependente do tempo com predominância do comportamento tixotrópico.

Em pesquisa realizada por MATSUGUMA (2006) com os amidos nativo e modificado por oxidação de mandiocinha-salsa, foram avaliados os perfis reológicos das pastas dos produtos. O autor concluiu que dentre os amidos provenientes das diferentes variedades de mandiocinha-salsa estudadas, as amostras de amidos das variedades Amarela de Carandaí de Pirai do Sul e Amarela de Carandaí de Castro apresentaram comportamento tixotrópico.

A pasta com 4 e 6% de amido de inhame mostrou comportamento tixotrópico para todas as temperaturas as quais foram submetidas. Porém, a pasta com 5% de amido caracterizou-se como um fluido com comportamento levemente reopético a 20 e 30°C, enquanto que para as temperaturas de 40 e 50°C, o fluido tornou a apresentar comportamento tixotrópico.

Segundo DEWAR e JOYCE (2006), dispersões de amido podem exibir comportamento tanto tixotrópico quanto reopético. Os autores estudaram o comportamento reológico do amido de milho e também verificaram que as suspensões de amido oscilavam entre reopético e tixotrópico.

TATTIYAKUL e RAO (2000) analisaram dispersões com diferentes concentrações de amido de milho ceroso quanto ao comportamento dependente do tempo, e concluíram que o material exibiu ambos os comportamentos sob uma mesma temperatura, reopético e tixotrópico, conforme a faixa de tensão de cisalhamento e a concentração da suspensão de amido. Os pesquisadores verificaram ainda que comparando-se o comportamento do fluido com 5% de amido para uma mesma faixa de tensão de cisalhamento ($0,1 \pm 500 \text{ S}^{-1}$), o comportamento reopético se torna mais proeminente com o aumento da temperatura, e que o comportamento da pasta em estudo pode variar com a concentração de amido.

Uma pequena influência é exercida pela temperatura sobre o comportamento das pastas com amido de inhame. Este fato é marcado pela tendência de a histerese se acentuar quando a temperatura aumenta conferindo ao fluido maior tixotropicidade, é possível verificar também que o último ciclo de cisalhamento (ciclo 2) coincidiu com o ciclo anterior (ciclo 1), evidenciando a eliminação da tixotropia do fluido a baixas taxas de deformação.

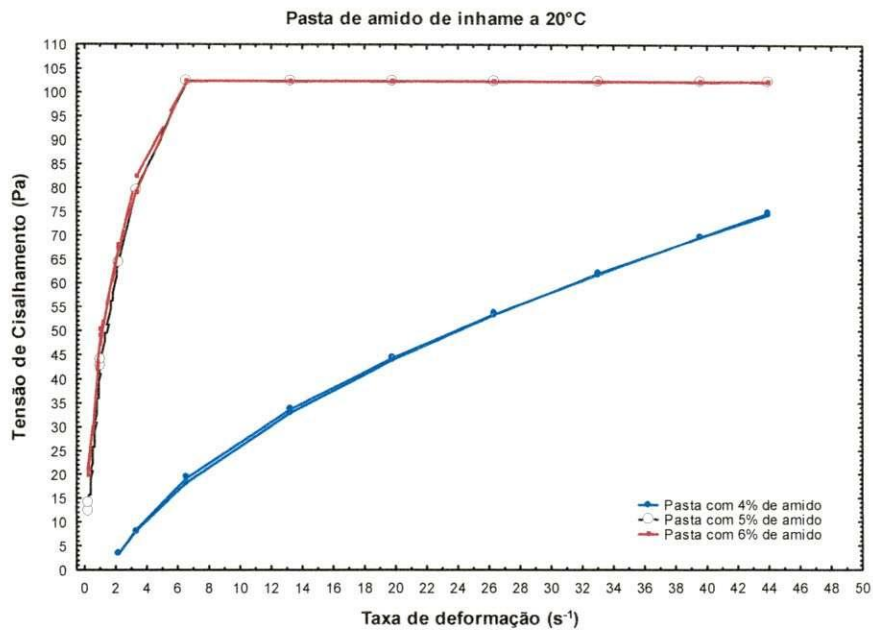


Figura 9- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a pasta de amido de inhame a 20°C, nas concentrações de 4, 5 e 6%.

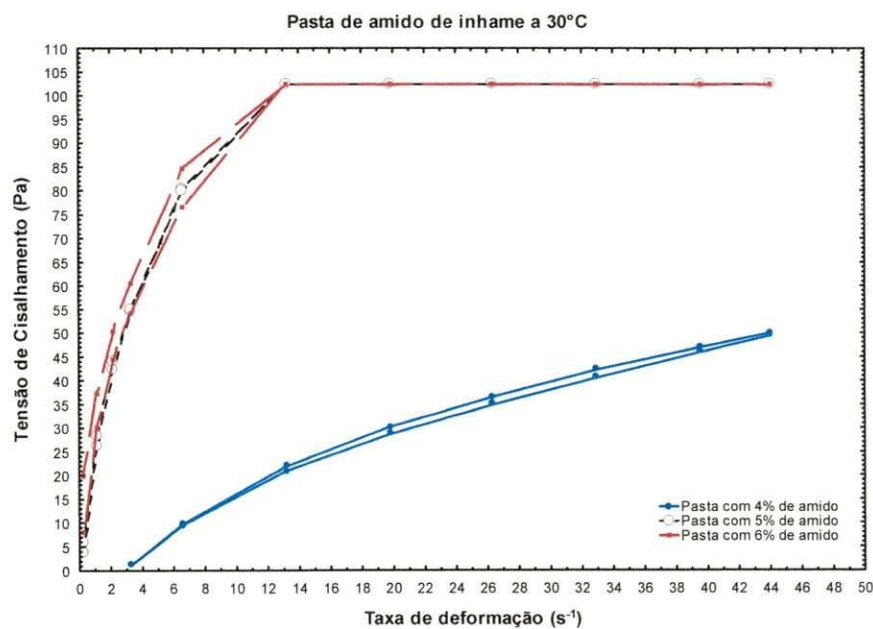


Figura 10- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a pasta de amido de inhame a 30°C, nas concentrações de 4, 5 e 6%.

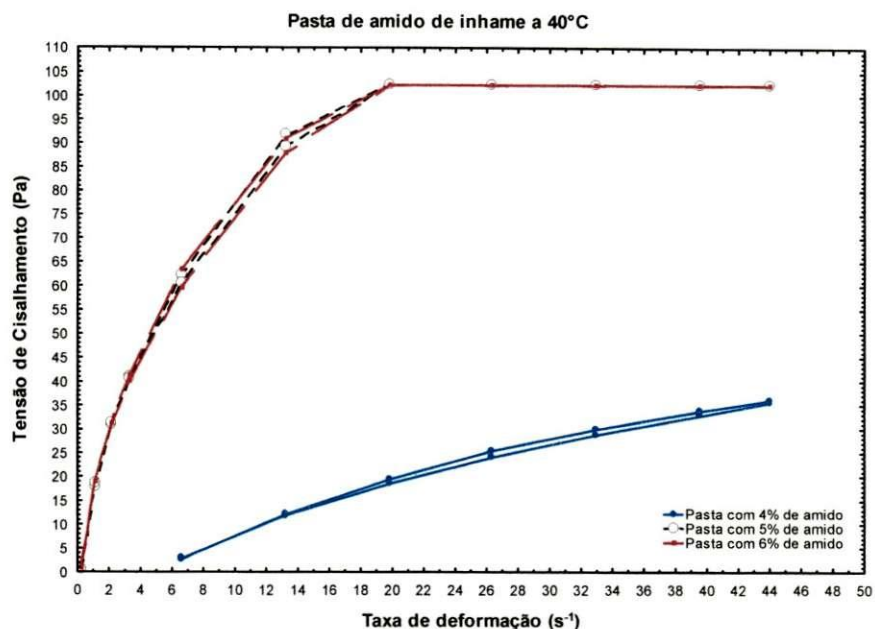


Figura 11- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a pasta de amido de inhame a 40°C, nas concentrações de 4, 5 e 6%.

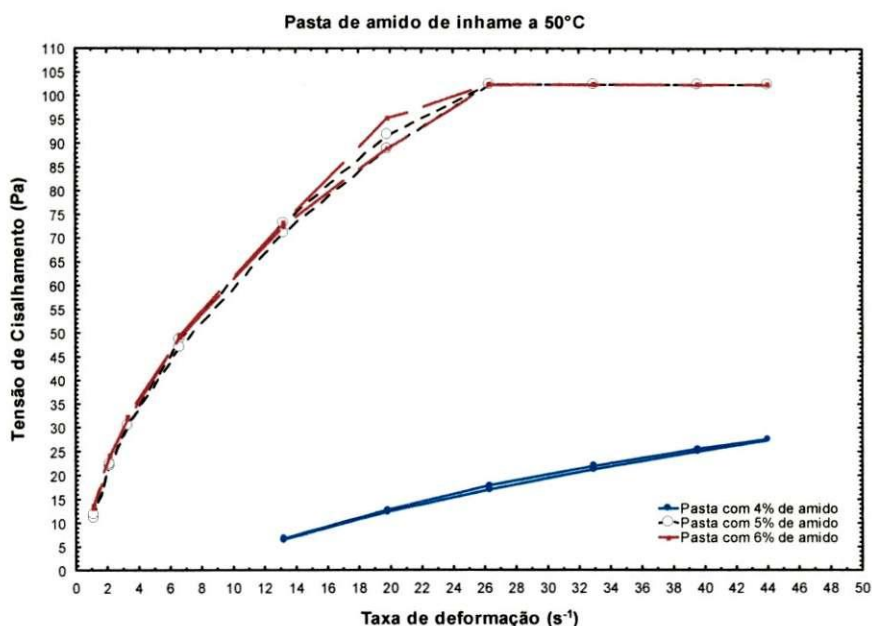


Figura 12- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para a pasta de amido de inhame a 50°C, nas concentrações de 4, 5 e 6%.

Ao caracterizar reologicamente suspensões gelatinizadas de amido de amaranto, PEREIRA (2004) constatou que o comportamento reopético da suspensão foi acentuado pelo aumento da concentração de 10 para 15% de amido. Pode-se verificar claramente que para o amido de inhame, o comportamento é tixotrópico. E assim como para o autor anteriormente citado, o aumento da concentração de amido de inhame também acentuou o comportamento

tixotrópico das suspensões de amido de inhame gelatinizada ainda que em menor intensidade (demonstrado pela histerese).

É perceptível que para as pastas com concentrações de 5 e 6% de amido, a taxa de deformação correspondente à máxima tensão de cisalhamento cresce à medida que se eleva a temperatura na qual o ensaio foi realizado. E ainda, que independente do aumento da temperatura do sistema, o valor máximo de tensão de cisalhamento permanece o mesmo para as duas concentrações e não se modifica ainda que a taxa de deformação seja aumentada a partir deste ponto.

Este mesmo comportamento não é observado na pasta com 4% de amido. Diferentemente do que ocorre com as pastas com 5 e 6%, para as diferentes temperaturas, verifica-se que o mesmo valor de taxa de deformação é mantido quando a tensão de cisalhamento é máxima, e que esses valores de tensão de cisalhamento diminuem com o aumento da temperatura. No entanto, para o menor valor de tensão de cisalhamento a taxa de deformação correspondente cresce de acordo com o aumento da temperatura.

Viscosidade aparente da pasta de amido de inhame

Tem-se nas Figuras 13, 14, 15 e 16 a representação gráfica da viscosidade aparente em função da taxa de deformação para as pastas de amido de inhame nas concentrações de 4, 5 e 6% a 20, 30, 40 e 50°C, respectivamente.

Para fluidos newtonianos a temperatura e pressão constantes, a viscosidade não varia com a taxa de deformação. No entanto, para a maioria dos fluidos não-newtonianos que têm suas propriedades dependentes do tempo de aplicação da tensão de cisalhamento, a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação conferindo ao fluido um comportamento tixotrópico em consequência do novo rearranjo molecular na sua estrutura após a gelatinização (MARCOTTE et al., 2001).

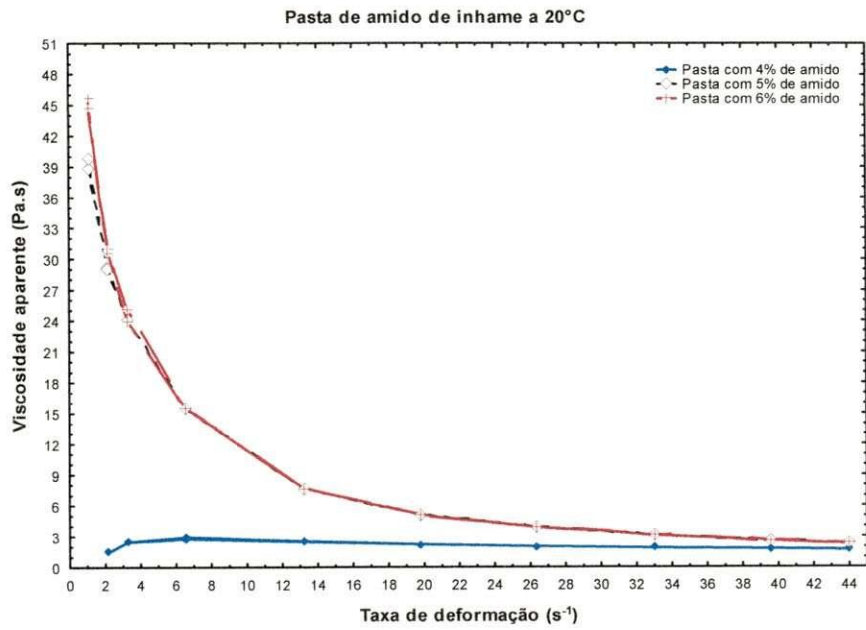


Figura 13 - Efeito da taxa de deformação sobre a viscosidade aparente para a pasta com 4, 5 e 6% de amido de inhame, à temperatura de 20°C.

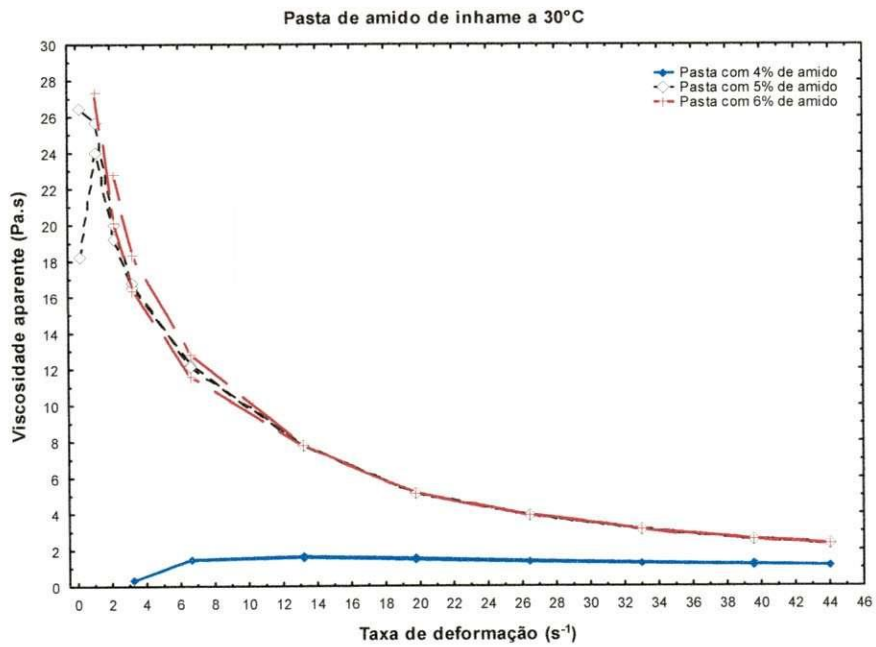


Figura 14 - Efeito da taxa de deformação sobre a viscosidade aparente para a pasta com 4, 5 e 6% de amido de inhame, à temperatura de 30°C.

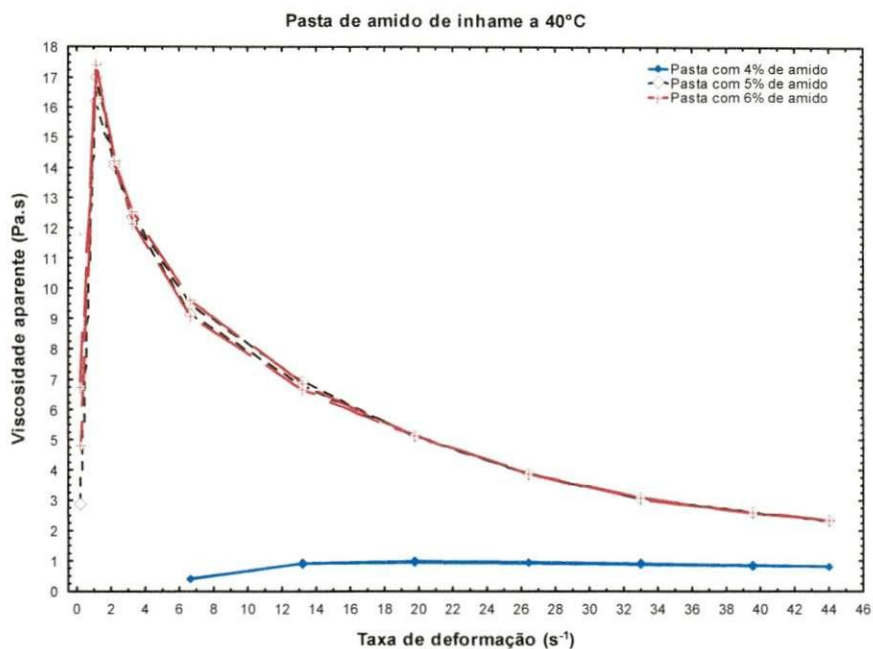


Figura 15 - Efeito da taxa de deformação sobre a viscosidade aparente para a pasta com 4, 5 e 6% de amido de inhame, à temperatura de 40°C.

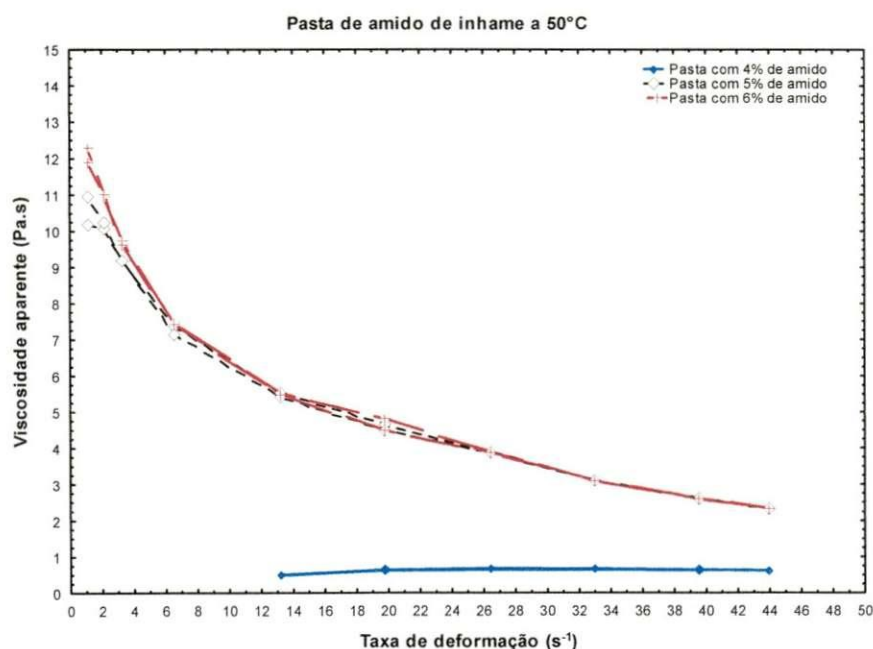


Figura 16- Efeito da taxa de deformação sobre a viscosidade aparente para a pasta com 4, 5 e 6% de amido de inhame, à temperatura de 50°C

Confirmando o comportamento tixotrópico das pastas de amido de inhame nas três diferentes concentrações, a viscosidade aparente das mesmas diminui à medida que a taxa de deformação é elevada.

Nota-se ainda que os valores para a máxima viscosidade aparente das suspensões gelatinizadas decrescem com o aumento da temperatura e também, como esperado, com a

diminuição da concentração de amido, uma vez que as pastas com 6% apresentam maiores viscosidades aparentes, indicando um maior grau de estruturação da suspensão gelatinizada.

Durante os ensaios reológicos, as pastas com concentração de 5 e 6% de amido apresentaram valores para a viscosidade aparente mínima idênticos em todas as temperaturas estudadas, enquanto para a pasta com 4% de amido, estes valores decrescem em função do aumento da temperatura. Isto pode sugerir a existência de um limite de concentração de amido nas suspensões gelatinizadas entre 4 e 5%, a partir do qual ocorrem mudanças consideráveis em suas características reológicas.

Modelagem matemática

Tendo as suspensões gelatinizadas de amido de inhame apresentado comportamento reológico dependente do tempo e sabendo que os modelos reológicos Lei da Potência e Herschel-Bulkley são mais comumente utilizados para fluidos independentes do tempo, a modelagem matemática utilizando esses modelos foi realizada, apenas, com o intuito de se verificar o ajuste dos mesmos aos dados experimentais obtidos nos ensaios reológicos das suspensões gelatinizadas de amido. Os dados reológicos experimentais de tensão de cisalhamento e taxa de deformação relativos às leituras feitas em escala ascendente de velocidade de rotação (ciclo 1) durante os ensaios foram utilizados então para avaliar o ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley e Lei da Potência.

As curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação obtidas a 20, 30, 40 e 50°C e ajustadas pelo modelo de Herschel-Bulkley para as suspensões de amido de inhame gelatinizadas nas concentrações de 4, 5 e 6% de amido, encontram-se apresentadas nas Figuras 17, 18 e 19, respectivamente.

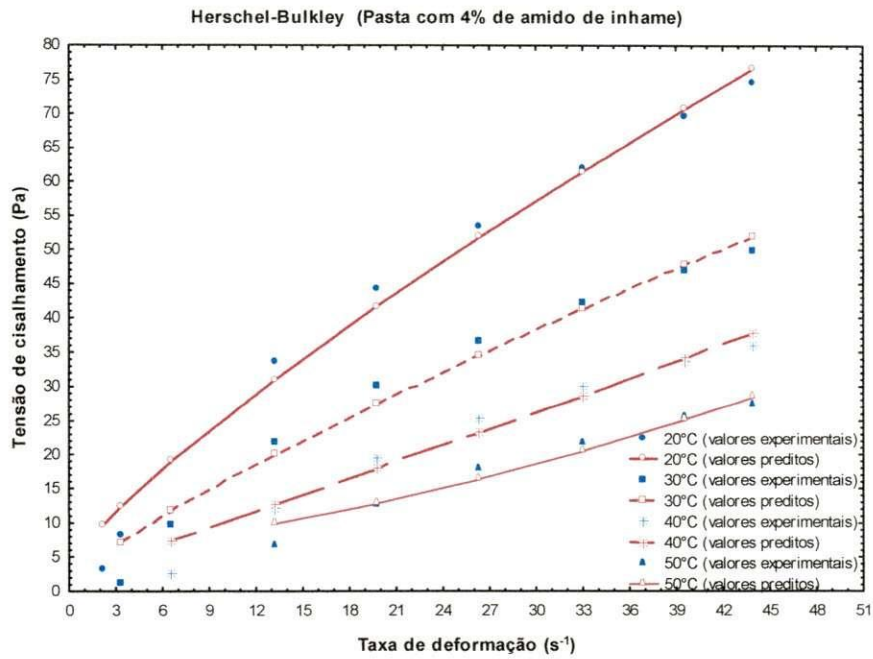


Figura 17- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo de Herschel-Bulkley para a pasta com 4% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C.

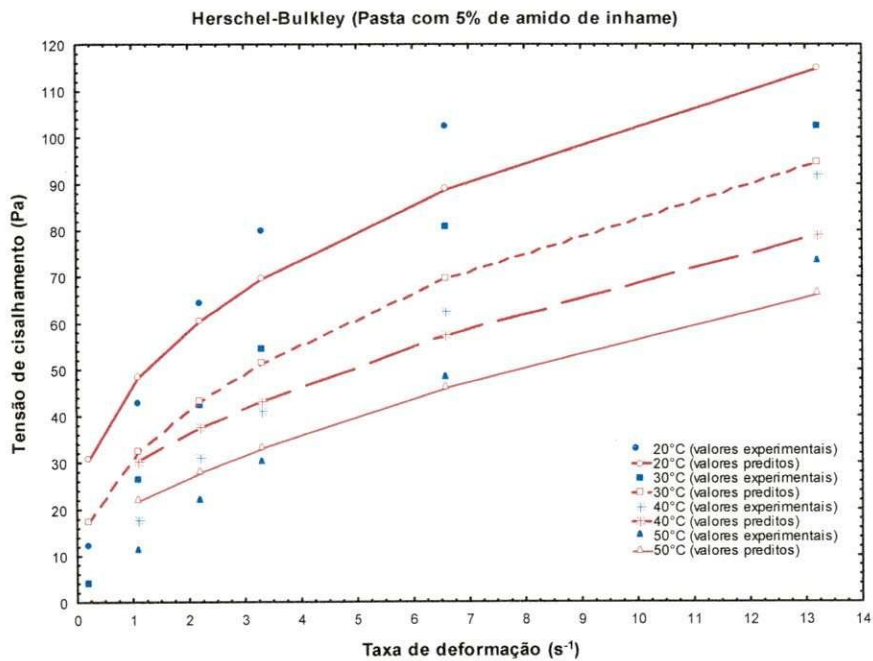


Figura 18- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo de Herschel-Bulkley para a pasta com 5% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C.

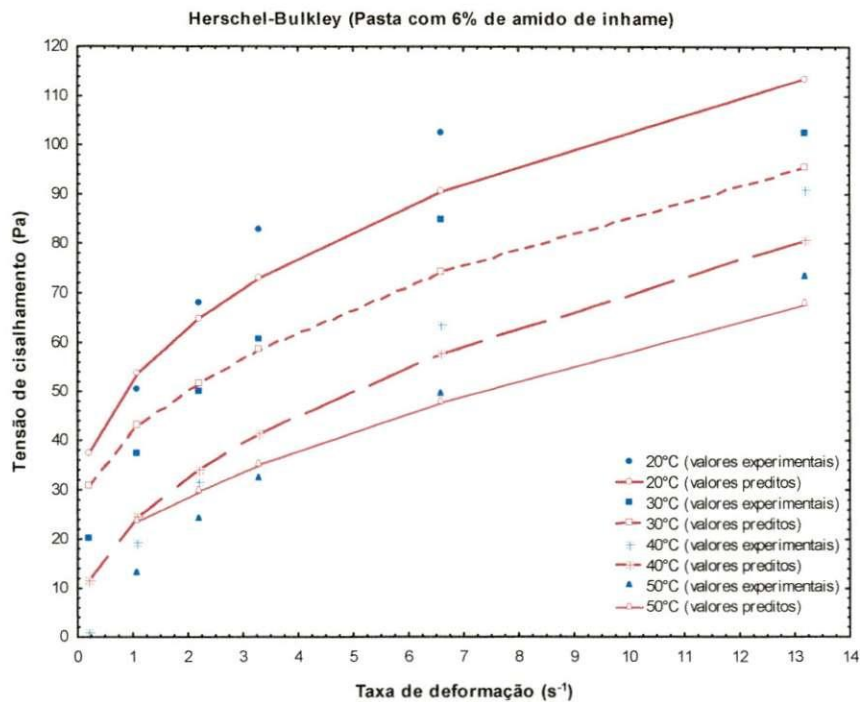


Figura 19- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo de Herschel-Bulkley para a pasta com 6% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C.

Na Tabela 3 são apresentados os valores para os coeficientes de determinação, os desvios percentuais médios e os parâmetros de ajuste do modelo de Herschel-Bulkley. Como esperado, para uma mesma concentração, os valores do índice de consistência (k_{hb}) da suspensão de amido gelatinizada diminuem com o aumento da temperatura. Comparando-se este parâmetro a mesma temperatura, observa-se a inexistência de um comportamento linear quando se aumenta a concentração da pasta. O mesmo não ocorre com os valores do índice de comportamento (n_{hb}) que tendem a diminuir com a elevação da concentração de amido na amostra para uma mesma temperatura. No entanto, n_{hb} tem seus valores mais elevados, se uma suspensão com determinada concentração de amido for analisada quando se aumenta a temperatura de estudo.

Tabela 3- Coeficientes de determinação, desvios percentuais médios e parâmetros de ajuste do modelo reológico Herschel-Bulkley, obtidos para as pastas contendo 4, 5 e 6% de amido de inhame a diferentes temperaturas

T (°C)	% Amido	Modelo Herschel-Bulkley			R ² _{hb} (%)	P _{hb} (%)
		$\tau = \tau_0 + k_{hb} \cdot \dot{\gamma}^{n_{hb}}$				
		τ_0 (Pa)	k_{hb} (Pa.s ^{n_{hb}})	n_{hb}		
20	4	3,27	3,419392	0,810684	98,571	3,334
	5	12,25	34,57340	0,421093	86,853	5,725
	6	19,95	32,47724	0,410659	86,622	3,701
30	4	1,16	2,254865	0,823622	97,208	8,939
	5	4,01	27,07214	0,467560	93,826	8,062
	6	20,6	21,24515	0,488085	93,483	2,108
40	4	2,64	0,673454	1,045184	95,946	4,372
	5	17,84	11,82668	0,637731	92,799	2,749
	6	1,06	22,34639	0,492667	96,093	18,925
50	4	6,76	0,052089	1,597311	95,014	1,885
	5	11,19	10,12647	0,659062	95,882	2,649
	6	13,09	10,03255	0,657638	95,440	3,015

Ao contrário do índice de consistência, os valores experimentais de tensão inicial (τ_0), de forma geral, para uma mesma temperatura, apresentaram-se maiores com a elevação da concentração de amido. Porém, não se verifica um comportamento definido quando se compara os valores de τ_0 para uma mesma concentração de amido a diferentes temperaturas.

As Figuras 20, 21 e 22 mostram as curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação ajustadas pelo modelo Lei da potência nas temperaturas 20, 30, 40 e 50°C para as suspensões de amido de inhame gelatinizadas nas concentrações de 4, 5 e 6% de amido, respectivamente.

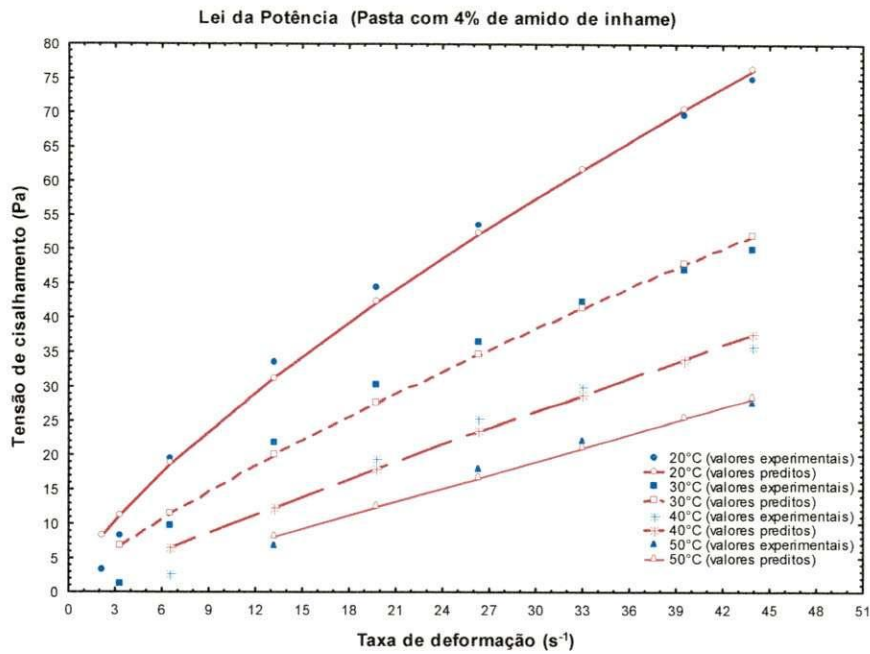


Figura 20 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo Lei da Potência para a pasta com 4% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C.

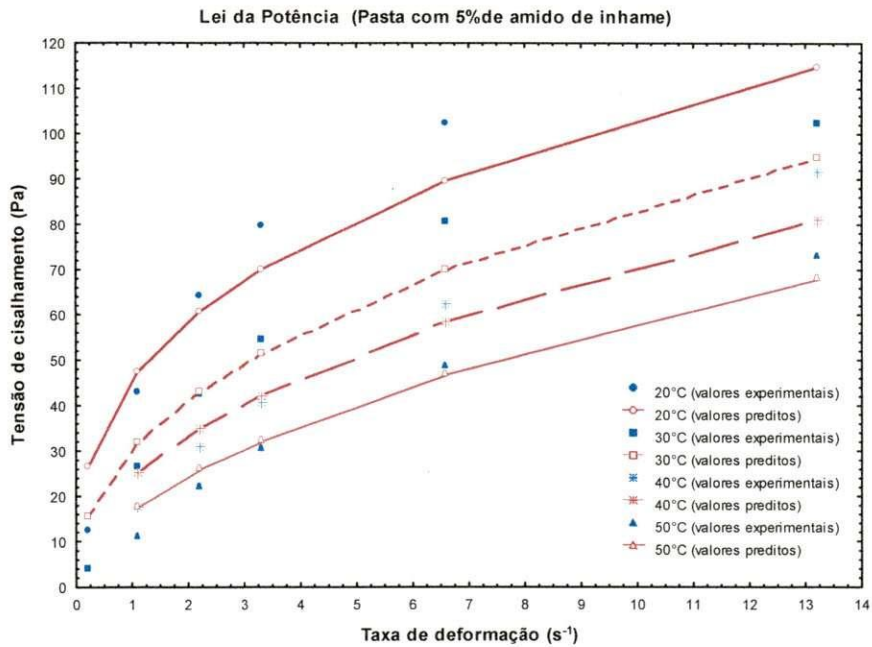


Figura 21- Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo Lei da Potência para a pasta com 5% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C.

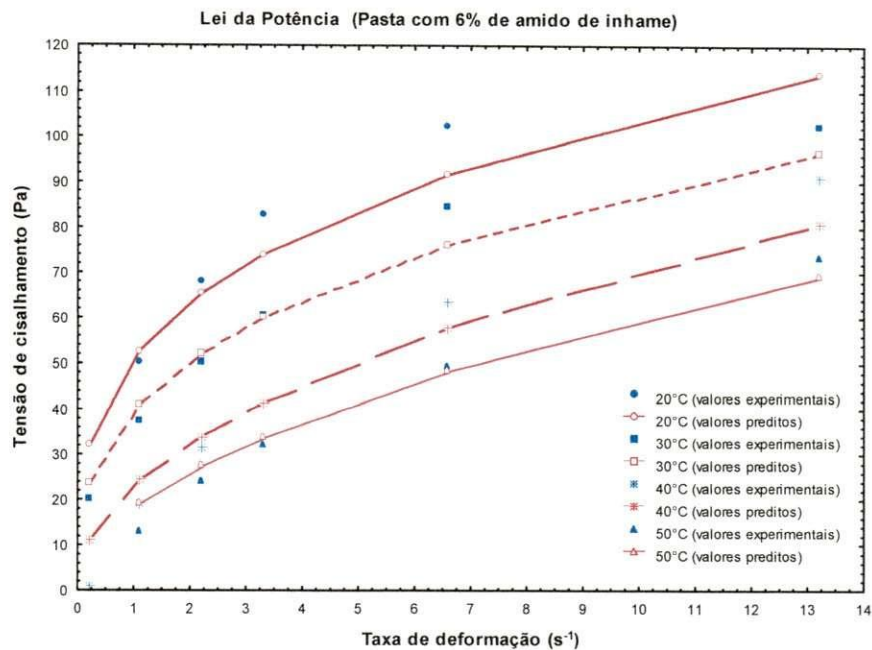


Figura 22 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação descrita pelo modelo Lei da Potência para a pasta com 6% de amido de inhame, a 20, 30, 40 e 50°C.

Os valores para os coeficientes de determinação, os desvios percentuais médios e os parâmetros de ajuste do modelo Lei da Potência são apresentados na Tabela 4. Percebe-se que, como esperado, os valores de k_{lp} diminuem com o aquecimento e aumentam com o incremento da concentração de amido estando em uma mesma temperatura. Já os valores de n_{lp} crescem com a elevação de temperatura quando observada a mesma concentração de amido na pasta. Comportamento semelhante, para o índice em questão, ocorreu quando utilizado o modelo de Herschel-Bulkley neste trabalho.

Tabela 4- Coeficientes de determinação, desvios percentuais médios e parâmetros de ajuste do modelo reológico Lei da Potência, obtidos para as pastas contendo 4, 5 e 6% de amido de inhame a diferentes temperaturas.

T (°C)	% Amido	Modelo Lei da Potência		R ² _{lp} (%)	P _{lp} (%)
		$\tau = k_{lp} \cdot \dot{\gamma}^{n_{lp}}$			
		k _{lp} (Pa. s ^{n_{lp}})	n _{lp}		
20	4	4,626487	0,740875	99,126	2,597
	5	45,76336	0,356267	89,574	4,745
	6	51,09039	0,309710	90,797	2,802
30	4	2,608477	0,790631	97,582	8,232
	5	30,47479	0,439505	94,589	7,136
	6	39,68403	0,343865	96,549	1,160
40	4	1,142051	0,923732	97,161	3,544
	5	24,03893	0,471164	95,704	1,812
	6	23,18327	0,484107	96,268	18,022
50	4	0,600844	1,019039	98,424	1,035
	5	16,96917	0,538927	97,528	1,767
	6	18,18726	0,519936	97,305	1,460

Aplicando os modelos de Herschel-Bulkley e Lei da Potência, observa-se que todos os valores dos desvios percentuais médios (P) estão abaixo de 10%, exceto para a amostra com 6% de amido na temperatura de 40°C. De maneira geral, pode-se indicar a possibilidade de utilização desses modelos para a estimativa dos valores desejados de tensão de cisalhamento para a pasta de amido de inhame. Porém, uma melhor adequação aos dados experimentais pode ser atribuída ao modelo Lei da Potência, considerando que apresentou valores maiores de R² (média de 95,88%) e valores menores de P (média de 4,53%) em relação ao modelo de Herschel-Bulkley, para o qual os valores médios de R² e P foram de 93,98% e 5,46%, respectivamente.

CONCLUSÕES

O rendimento prático médio obtido com o método de extração de amido de inhame utilizado foi 18,28% e em termos de matéria seca o rendimento médio foi 68,48%. O modelo de Peleg foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais e pode ser utilizado satisfatoriamente na predição das isothermas de equilíbrio higroscópico do amido de inhame.

Preferencialmente, o amido de inhame deve ser manuseado em Umidades Relativas inferiores a 40% quando em temperaturas na faixa de 25 a 45°C e armazenados em embalagens herméticas e de preferência à vácuo para lhes garantir maior vida de prateleira.

Dentre os modelos matemáticos utilizados no estudo reológico da pasta de amido o que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o modelo Lei da Potência. Embora o modelo de Herschel-Bulkley também tenha mostrado um considerável ajuste. As suspensões gelatinizadas

com 4, 5 e 6% de amido de inhame foram classificadas reologicamente como fluidos não-newtonianos dependentes do tempo, com predominância do caráter tixotrópico.

A variação na temperatura da pasta de amido de inhame exerce uma pequena influência sobre a sua tixotropicidade. Com a elevação da temperatura, o caráter tixotrópico da pasta de amido cresce e constatou-se a ocorrência de mudanças substanciais nas características reológicas das suspensões gelatinizadas de 4 para 5% de amido de inhame, sendo possível a existência de uma concentração crítica entre esses limites para uma suspensão, na qual ocorrem tais mudanças.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, R.M.L.; GROSSMANN, M.V.E.; SILVA, R.S.S.F. Gelling properties of extruded yam (*Dioscorea alata*) starch. **Food Chemistry**, Amsterdam, v.67, n.2, p.123-127, 1999.

ALEXANDRE, H.V.; FIGUEIRÊDO, R.M.F. de; QUEIROZ, A.J. de M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, n.1, 2007.

CARLOS, L.A.; RESENDE, J.V.; CAL-VIDAL, J. Reduction of freeze-dried powder hygroscopicity by inducing crystallization in model fruit sugar solutions. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.8, n.2, p.163-173, 2005.

CEREDA, M. P. Importância das tuberosas tropicais. In: **Agricultura: cultura de tuberosas amiláceas latino-americanas**. São Paulo: Fundação Cargill. v. 2. 2002a, p. 13-25. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-Americanas).

DAIÚTO, E.R.; CEREDA, M.P. Extração de fécula de inhame (*Dioscorea* sp.). In: **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v.3 cap. 8, p. 176-190. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-Americanas). Disponível em: <<http://www.abam.com.br/livroscargil/>>. Acesso em: 02 dez. 2008.

DEWAR, R. J.; JOYCE, M. J. The thixotropic and rheopectic behaviour of maize starch and maltodextrin thickeners used in dysphagia therapy. **Carbohydrate Polymers**, v. 65, p. 296–305, 2006.

FIGUEIREDO, R.; MORINI, B. Yam (*Discorea sp*) drying with different cuts and temperatures: experimental and simulated results. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 262-266, 2000.

GOMES, P.M.A.; FIGUEIREDO, R.M.F. de; QUEIROZ, A.J. de M. Caracterização e isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4, n.2, p.157-165, 2002.

JAYA, S.; H. DAS. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. **Journal of Food Engineering**, v.63, n.2, p.125-134, 2004.

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

LEONEL, M.; GARCIA, A.C.D.B.; REIS, M.M. Physico-chemical and microscopical characterisations of sweet potato, canna, cassava and cocoyam starches and their expansion properties after photochemical modification. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.7, n.2, p.129-137, 2004.

LEONEL, M.; SARMENTO, S.B.S.; CEREDA, M.P.; CÂMARA, F.L.A. Extração e caracterização de amido de jacatupé (*Pachyrhizus ahipa*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.3, p.362-365, 2003.

MARCOTTE, M.; TAHERIAN, A. R.; RAMASWAMY, H. S. Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. **Food Research International**, v. 34, n. 8, p. 695-703, 2001.

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

OLIVEIRA, A. P. **Inhame: alimento indispensável à mesa nordestina**. Associação Brasileira de Horticultura, 2006. Disponível em <<http://www.abhorticultura.com.br/News/Default.asp?id=4966>>. Acesso em 06 de agosto de 2007.

PEREIRA, L. B. **Caracterização de suspensões e géis de amido de amaranto: efeito da adição de sacarose e NaCl nas propriedades reológicas e térmicas**. 2004. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N.S.; GILL, B.S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v.81, n.2, p.219-231, 2003.

STATSOFT, Inc. STATISTICA for Windows (data analysis software system), version 8.0. Computer program manual. Tulsa: Statsoft, 2008.

TATTIYAKUL, J.; RAO, M. A. Rheological behavior of cross-linked waxy maize starch dispersions during and after heating. **Carbohydrate Polymers**, v. 43, p. 215-222, 2000.