

Resumo: Este artigo descreve a modificação química de um amido não convencional por meio da fosforilação, melhorando suas características para atender às demandas do mercado consumidor. Estudaram-se as propriedades reológicas de amido da fruta-de-lobo fosforilados com diferentes concentrações de tripolifosfato de sódio (5, 7 e 9%) e tempos de reação (20, 30 e 40 min). As leituras reológicas foram adquiridas em temperaturas que variaram de 80 a 98 °C. O modelo de Herschel-Bulkley foi ajustado aos dados experimentais de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação das suspensões aquosas de amidos nativos e fosforilados. As amostras apresentaram comportamento pseudoplástico. Verificou-se que os amidos fosforilados são mais viscosos que o amido nativo. Em concentrações de 1,3-2% de amidos fosforilados se obtêm boas leituras reológicas no viscosímetro Brookfield. As suspensões aquosas formadas por 1,5% de amido fosforilado produzido nas condições de 5 e 9% de tripolifosfato de sódio por 30 min de reação, apresentam maiores valores de tensão de cisalhamento, em todas as taxas de deformação e temperaturas estudadas, alcançando um valor de viscosidade aparente de 275 cP.

PALAVRAS-CHAVE: *Solanum lycocarpum*, viscosidade, reologia, frutas nativas.

Abstract: This article describes the chemical modification of a non-conventional starch by means of phosphorylation, improving its characteristics in order to meet the demands of the consumer market. Rheological properties of wolf's fruit phosphorylated starch with different sodium tripolyphosphate concentrations (5, 7, and 9%) and reaction times (20, 30, and 40 min) were studied. The rheological measurement were acquired in temperature to 80 from 98 °C. The Herschel-Bulkley model was used for fitting the data of shear rate and shear stress of native and phosphorylated starch aqueous suspensions. The samples presented pseudoplastic behavior. Phosphorylated starch was more viscous than native starch. In concentrations of 1.3-2.0% of phosphorylated starch was obtained good rheological measurement on the Brookfield viscometer. Aqueous suspensions of 1.5% of phosphorylated starch made with 5% and 9% of sodium tripolyphosphate by 30 min of reaction, presented high shear stress on all deformation rates and temperatures studied, reaching an apparent viscosity of 275 cP.

KEY WORDS: *Solanum lycocarpum*, viscosity, rheology, native fruits.

1 1 Licenciada em Química, Profa. Educação Adventista, Praça General Curado, S/N, Jundiá, Anápolis-GO.

2 Prof. Doutor, Mestrado em Ciência dos Alimentos, UEG/Anápolis – GO, ascheridpr@gmail.com, Br 153, nº 3.105 – Fazenda Barreiro do Meio. Cxa. P. 459, Anápolis, GO, Brasil.

Recebido: 21/04/2017 - Aprovado: 05/12/2017

INTRODUÇÃO

O amido além de se encontrar abundantemente na natureza, ser de baixo custo, renovável e biodegradável, é um biopolímero muito importante na agroindústria. Amidos convencionais de milho e mandioca são utilizados, por exemplo, na produção de biocombustíveis (PRIELER; FISCHER, 2009), plásticos biodegradáveis de coberturas do solo de cultivo (KASIRAJAN; NGOUAJIO, 2012), filmes e coberturas biodegradáveis para frutas e sementes (DHANAPAL et al., 2012). Na indústria de alimentos, entre outras funções, são utilizados para conferir textura, espessante, fornecedor de sólidos em suspensão e proteger os alimentos durante o processamento (ASCHERI et al., 2010).

No entanto, a utilização desses amidos convencionais na produção de gêneros não alimentícios acaba encarecendo-os e gerando competição com caráter alimentar. Por esse motivo, atualmente procura-se novas fontes de amido para o consumo humano. Dentre os diversos amidos conhecidos, estudos de amidos de espécies do cerrado são pouco realizados, podendo estes apresentar características diferentes dos amidos convencionais.

Uma espécie do cerrado, presente no bioma brasileiro conhecida popularmente como fruta-do-lobo, ou lobeira (*Solanum lycocarpum* St. Hil) da família Solanaceae, apresenta frutos grandes contendo amido. Esta planta frutífera pode apresentar vantagens devido a sua fácil localização, baixo custo e intensa frutificação, pois sua florada corresponde o período do ano inteiro (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2003). O amido da fruta-do-lobo e sua modificação química ainda não foram estudados.

A produção de amidos modificados é uma alternativa que vem sendo desenvolvida com o objetivo de superar limitações tecnológicas de novos amidos, aumentando, assim, a utilidade deste polímero nas diversas aplicações agroindustriais.

As propriedades físico-químicas e funcionais dos amidos são influenciadas pela fonte botânica que o originou (XIAO et al., 2011), e a estruturas granular e molecular (LINDEBOOM et al., 2004), por isso, espera-se que as propriedades do amido da fruta-do-lobo sejam bem diferentes dos amidos convencionais. Uma das propriedades mais importantes estudadas nos amidos são o comportamento reológico de suas pastas e géis moleculares (HERNÁNDEZ-MEDINA et al., 2008).

A modificação física ou química do amido também promove a alteração das suas propriedades. A acidificação com tripolifosfato de sódio (ATPS), um dos tipos de modificação química mais utilizada em amidos por ser um processo simples e econômico, produz pastas com boa claridade (BATISTA et al., 2010). Autores como Noda et al. (2007); Limberger et al. (2008); Batista et al. (2010), Pereira e Ascheri (2011) deram especial atenção à modificação de amidos por fosforilação, registrando bons resultados em suas propriedades físicas, físico-químicas e reológicas.

Estudos reológicos do amido modificado podem ser bastante úteis no entendimento de processos como estabilidade de emulsão e extrusão (SILVA et al., 2006).

Nesse sentido, o presente trabalho visou estudar o comportamento reológico do amido nativo da fruta-do-lobo e de seus amidos quimicamente modificados com tripolifosfato de sódio em três concentrações diferentes (5, 7 e 9%) e em diferentes tempos de fosforilação (20, 30 e 40 min).

MATERIAL E MÉTODOS

A experimentação foi realizada no laboratório de Análise Instrumental dos cursos de Química da UEG Câmpus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas - Henrique Santillo (Anápolis-GO).

Foi utilizado como matéria-prima o amido extraído da fruta-de-lobo. Os frutos foram coletados na região de Anápolis e conduzidos ao laboratório de Análise

Instrumental onde foram processados para a extração do amido.

Durante a coleta os frutos (aproximadamente 80 kg) foram selecionados de acordo com o estágio de maturação (de vez). No processo de extração do amido, os frutos foram descascados usando facas de aço inoxidável, picados e recebidos em baldes plásticos contendo uma solução de metabissulfito de sódio (0,5%), numa quantidade de 50 litros.

A moagem foi feita utilizando-se um moinho de facas tipo "CROPON", modelo MA580 com malha de 10 mesh, onde se obteve uma massa. Filtrou-se essa massa, e o filtrado passado em peneiras Bertell de 80 a 400 mesh, com sucessivas lavagens com água para separação do amido e posterior decantação.

O amido decantado foi lavado com álcool etílico, filtrado a vácuo, e colocado em estufa de ar forçado a 40 °C por 72 h. O amido seco permaneceu-se em um dessecador contendo sílica-gel, em seguida foi reduzido a pó utilizando gral e pistilo e peneira de 250 mesh, obtendo-se a amostra seca.

No planejamento experimental do processo de modificação do amido aplicou-se um fatorial completo 3³ com três repetições, sendo o primeiro fator a concentração de tripolifosfato de sódio (TPS: 5, 7 e 9%) e o segundo o tempo da reação de fosforilação (0: 20, 30 e 40 min). As combinações dos níveis dos fatores do planejamento experimental estão descritas na Tabela 1.

A fosforilação do amido foi realizada conforme Limberger (2006) com algumas modificações. Em 33 g de amido nativo do fruto-do-lobo adicionou-se 55 mL da solução de TPS, agitou-se pelo tempo estabelecido no planejamento fatorial para cada experimento. Após esse tempo, a mistura foi centrifugada por cinco minutos. O sedimento da centrifugação foi seco em estufa a 45 °C até massa constante. A amostra seca foi pulverizada, passada em peneira de 250 mesh e novamente colocada em estufa a 65 °C até massa constante. Em seguida foi transferida

para uma estufa estacionária a 155 °C por 40 min e deixado a resfriar a temperatura ambiente. Logo após, foi adicionado 100 mL de etanol a 50% e centrifugado por cinco minutos, sendo repetida esse processo por mais duas vezes. Ao final, o produto foi colocado em estufa de ar forçado a 45 °C por 48 h, e deixado em dessecador até seu posterior uso.

Para a remoção do excesso de sais de fósforo, foi realizado o processo de diálise. Fez-se suspensões a 10% (p/v) de amido fosforilado, que foram colocados em sacos de papel celofane e imersos em água destilada durante sete dias, trocando-se a água diariamente. O recipiente contendo os sacos foi colocado em geladeira e controlada a temperatura a 6 °C para diminuir o desenvolvimento de micro-organismos. Após o processo de diálise, o amido fosforilado foi colocado em placas Petri e secos em estufa a 45 °C, resfriado e pulverizado até passar em peneira de malha 150 µm de abertura. As amostras fosforiladas foram armazenadas em recipiente fechado, sob refrigeração.

As medidas reológicas das suspensões aquosas do amido fosforilado e do amido nativo foram obtidas de acordo com a metodologia descrita no manual da Brookfield DV-II+ (2006) nas temperaturas de 80, 86, 92, 98 °C controladas em banho termostático com circulação de água. Estas temperaturas foram escolhidas uma vez que a gelatinização do amido de fruta-de-lobo se dá em uma temperatura de 70-80 °C, de acordo com os dados de temperatura de gelatinização obtidos por meio de análise calorimétrica e de viscosidade de pasta por Clerici et al. (2011) e Ascheri et al. (2014).

Os dados experimentais, em unidades de torque nas velocidades de 20, 50, 100 rpm, a partir de um volume de 8,0 mL da suspensão, foram obtidos utilizando-se um viscosímetro de cilindros concêntricos da marca Brookfield digital DV-II+ com adaptador de pequenas amostras e pino SC4-18. Os ensaios foram realizados em três repetições, sendo a tensão de cisalhamento resultante da média das repetições experimentais.

A tensão de cisalhamento em pascal (Pa) e a taxa de deformação ($\dot{\gamma}$) expressa no inverso do tempo (s^{-1}) foram calculadas de acordo com o manual do viscosímetro utilizado (Brookfield, 2006):

$$\dot{\gamma} (s^{-1}) = RPM \times SRC$$

(1)

$$\tau (Pa) = TK \times SMC \times SRC \times Torque$$

(2)

Onde: RPM = velocidade do pino (rpm); TK= torque constante do modelo de viscosímetro (0,09373); SMC= constante multiplicador do pino SC4-18 (3,2); SRC= taxa de deformação constante do pino SC4-18 (1,32); Torque= torque (%) obtido pela medida de viscosidade.

A equação de Herschel-Bulkley (H-B) foi ajustado aos dados experimentais de $\tau \times \dot{\gamma}$, por regressão não-linear:

$$\tau = \tau_o + K_H \cdot \dot{\gamma}^{n_H}$$

(3)

Onde: τ_o = tensão de cisalhamento inicial (Pa); K_H = índice de consistência ($Pa \cdot s^{n_H}$); n_H = índice de comportamento do fluido (adimensional).

O ajuste da equação foi analisado por meio do cálculo do coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2), utilizando o programa gráfico ORIGIN 5.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando que suspensões aquosas de amido são formadas quando aquecidas acima da temperatura de pasta, isto é, quando os seus grânulos incham irreversivelmente num fenômeno denominado gelatinização (DENARDIN; SILVA, 2009), e que amidos fosforilados apresentam temperatura de pasta diferentes entre si e diferem do amido nativo (ASCHERI et al., 2014), no presente estudo houve a necessidade de determinar a quantidade de amido necessário para elaborar suspensões aquosas com o intuito de ter boa leitura das medidas reológicas, considerando-se o torque de leitura entre 10-90% estabelecido pelo manual do viscosímetro de Brookfield.

As suspensões aquosas de amido nativo e fosforilados foram elaboradas aquecendo-as a temperaturas igual ou maiores de 80 °C por aproximadamente 10 min. Na Tabela 1 se mostra as porcentagens de amido utilizadas para determinar as propriedades reológicas dos amidos estudados, em função da concentração do tripolifosfato de sódio e tempo de reação.

O amido nativo necessitou maior quantidade de amostra (3 g de amido/100 mL de água) para elaborar uma suspensão aquosa com viscosidade estabelecida dentro da faixa do torque determinado pelo viscosímetro Brookfield, enquanto que os amidos fosforilados requereram menores quantidades, isto é, proporcionaram maior hidratação dos seus grânulos que o amido nativo, produzindo uma pasta mais viscosa.

Tabela 1. Porcentagem de amido utilizado para a elaboração de suspensões aquosas empregadas para a análise reológica do amido da fruta-de-lobo e fosforilados com tripolifosfato de sódio (TPS) em diferentes tempos de reação.

Tratamento	TPS (%)	Tempo (%)	Porcentagem de amido (%)*
T ₁	5	20	1,5 ± 0,23
T ₂	7	20	2,0 ± 0,32
T ₃	9	20	1,5 ± 0,41
T ₄	5	30	1,5 ± 0,19
T ₅	7	30	2,0 ± 0,21
T ₆	9	30	1,5 ± 0,14
T ₇	5	40	2,0 ± 0,23
T ₈	7	40	2,0 ± 0,24
T ₉	9	40	1,3 ± 0,51
Amido nativo			3,0 ± 0,32

* Médias calculadas de três repetições.

Os amidos fosforilados necessitaram de 1,3 a 2% de amostra para conseguir boa leitura reológica. As suspensões aquosas elaboradas com os tratamentos T₁, T₃, T₄ e T₆ apresentaram porcentagens de 1,5% de amido, tendo sua viscosidade estabelecida dentro da faixa do torque determinado. Soluções aquosas desses tratamentos com porcentagens igual ou acima de 2% se tornaram muito viscosas, não sendo possível a leitura de suas propriedades reológicas.

As suspensões aquosas elaboradas com os tratamentos T₂, T₅, T₇ e T₈ tiveram uma porcentagem de 2% de amido. Nestes tratamentos as suspensões com porcentagens abaixo de 2% ficaram muito líquidas, tendo a leitura da viscosidade em torques abaixo do limite inferior (<10 %), enquanto que as porcentagens maiores de 2,0% se tornaram bastante viscosas, causando erro na leitura do torque do viscosímetro Brookfield.

O tratamento T₉ formou uma suspensão aquosa com a menor porcentagem 1,3% de amido fosforilado, este fato pode ser atribuído ao maior tempo (40 min) e concentração de tripolifosfato de sódio (9%) utilizados para fosforilar o amido nativo.

A razão da variação da porcentagem de amido nas soluções aquosas preparadas pode ser pelo fato de que o amido fosforilado

forma suspensões mais viscosas que seu amido nativo em razão da natureza iônica do radical fosfato, isto é, a presença de forças intermoleculares originadas pela fosforilação reforça a região amorfa dos grânulos de amido (KARIM et al., 2007), aumentando sua capacidade de absorção de água.

Caso contrário, se durante a reação de fosforilação ocorre alguma hidrólise do amido por condições ácidas, o amido fosforilado resultante apresentará uma viscosidade mais baixa comparada a seu amido nativo (CEREDA et al., 2002).

Em decorrência da variabilidade da quantidade de amido utilizada para a elaboração das suspensões aquosas, dentre dos tratamentos se escolheram aquele que formaram suspensões aquosas de 1,5% de amido fosforilado em níveis de 5 e 9% de tripolifosfato de sódio e 20 e 30 min de reação, formando um planejamento fatorial 2². A Tabela 2 mostra os valores da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação dos tratamentos T₁, T₃, T₄ e T₆.

Independentemente da variação da temperatura, a tensão de cisalhamento aumentou com o aumento da taxa de deformação (Tabela 2). Com exceção do valor de tensão de cisalhamento de T₄ a 98 °C, os tratamentos T₄ e T₆ apresentaram maiores

valores de tensão de cisalhamento do que os tratamentos T₁ e T₃. Isso indica que quanto maior o tempo de reação de fosforilação, independentemente da concentração de tripolifosfato de sódio, maior a tensão de cisalhamento o que demonstra uma diminuição da viscosidade (HAMINUIK, 2005). Sitohy et al. (2000) atribui este fato como resultado do aumento do número de grupos fosfatos que estendes a estrutura granular. Assim o decréscimo na viscosidade com o aumento do grau de fosforilação pode ser devido à diminuição do número de pontes de hidrogênio entre grupos hidroxilas na estrutura do amido.

Considerando que 1 cP é igual a 0,001 Pa s, da Tabela 2 se pode calcular a viscosidade aparente das suspensões aquosas do amido fosforilado obtidos aplicando os tratamentos T₄ e T₆. A taxa de deformação correspondente aos maiores valores de tensão de cisalhamento é de 138 s⁻¹ e a média essa tensão foi aproximadamente 38 Pa, o que dá, aproximadamente, o valor de viscosidade aparente de 275 cP.

Tabela 2. Valores da tensão de cisalhamento (τ) em função da taxa de deformação (γ) e temperatura de suspensões aquosas a 1,5% de amido de fruta-de-lobo fosforilado com diferentes concentrações de tripolifosfato de sódio (TPS) e tempos de reação (TR)

Tratamento	γ (s ⁻¹)	Tensão de cisalhamento (τ , Pa)			
		80 °C	86°C	92°C	98°C
T ₁	27,6	13,27 ± 1,01	12,08 ± 1,39	14,21 ± 0,10	12,95 ± 1,02
	69,0	24,08 ± 0,51	22,19 ± 2,20	25,04 ± 0,35	22,07 ± 1,63
	138,0	36,59 ± 1,26	33,86 ± 2,43	36,22 ± 2,03	31,72 ± 1,67
T ₃	27,6	9,79 ± 0,18	14,42 ± 0,36	15,14 ± 0,86	16,06 ± 0,98
	69,0	18,22 ± 0,43	24,40 ± 0,69	24,89 ± 1,41	27,13 ± 0,14
	138,0	28,56 ± 0,82	35,44 ± 1,47	35,50 ± 1,67	37,17 ± 1,54
T ₄	27,6	17,23 ± 1,06	16,95 ± 2,25	17,89 ± 1,35	16,10 ± 1,20
	69,0	30,43 ± 0,73	26,90 ± 2,87	29,05 ± 1,44	24,95 ± 1,40
	138,0	39,94 ± 0,16	37,00 ± 2,36	39,34 ± 0,12	36,02 ± 1,85
T ₆	27,6	16,06 ± 0,42	16,92 ± 0,49	17,43 ± 0,41	17,74 ± 0,20
	69,0	26,49 ± 0,71	27,24 ± 0,32	27,76 ± 0,61	27,90 ± 0,62
	138,0	37,33 ± 0,34	38,10 ± 0,51	38,58 ± 0,40	38,85 ± 0,83

T₁= amido fosforilado com 5% de ATPS por 20 mim de reação; T₃= amido fosforilado com 9% de ATPS por 20 mim de reação; T₄= amido fosforilado com 5% de ATPS por 30 mim de reação; T₆= amido fosforilado com 9% de ATPS por 30 mim de reação.

O modelo H-B se ajustou adequadamente aos dados experimentais desses tratamentos em toda a faixa de temperatura estudada, apresentando valor de R_{aj}^2 próximo de 1 (Tabela 3).

A Figura 1a representa a relação do índice de comportamento do fluido em função da temperatura. O valor do índice de comportamento indica o grau de pseudoplasticidade do produto (SILVA et al., 2005). Se na equação o índice de comportamento reológico, η for menor que um

($\eta < 1$) o fluido é considerado pseudoplástico (ASCHERI et al, 2008).

Independente da concentração de tripolifosfato de sódio observa-se que os tratamentos que tiveram tempo de 30 min. apresentam maior comportamento pseudoplástico, e os tratamentos que tiveram tempo de 20 min. possuíram menor comportamento pseudoplástico.

Tabela 3. Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley ajustado às medidas reológicas obtidas de suspensões aquosas a 1,5% de amido de fruta-de-lobo fosforilado com diferentes concentrações de tripolifosfato de sódio (TPS) e tempos de reação (TR).

Tratamento	Parâmetro	Temperatura (°C)			
		80	86	92	98
T ₁	τ_0	-120,2 ± 18,6	-112,5 ± 12,3	-111,7 ± 19,4	-94,4 ± 9,6
	K _H	95,5 ± 12,2	89,0 ± 9,3	90,1 ± 13,7	76,8 ± 7,3
	n _H	0,1 ± 4 10 ⁻⁶	0,1 ± 2 10 ⁻⁶	0,1 ± 5 10 ⁻⁶	0,1 ± 3 10 ⁻⁶
	R ² _{aj.}	0,746	0,742	0,745	0,745
T ₃	τ_0	-97,6 ± 7,0	-105,8 ± 10,6	-101,3 ± 6,8	-115,3 ± 14,5
	K _H	76,6 ± 5,0	86,0 ± 7,9	83,3 ± 5,9	95,5 ± 11,9
	n _H	0,1 ± 5 10 ⁻⁶	0,1 ± 2 10 ⁻⁶	0,1 ± 1 10 ⁻⁶	0,1 ± 4 10 ⁻⁶
	R ²	0,740	0,744	0,745	0,742
T ₄	τ_0	-112,9 ± 13,8	-97,8 ± 2,9	-104,9 ± 15,6	-97,9 ± 12,7
	K _H	93,5 ± 8,6	82,1 ± 1,4	88,0 ± 9,3	81,3 ± 9,0
	n _H	0,1 ± 2 10 ⁻⁶	0,1 ± 2 10 ⁻⁶	0,1 ± 4 10 ⁻⁶	0,1 ± 4 10 ⁻⁶
	R ² _{aj.}	0,997	0,994	0,995	0,985
T ₆	τ_0	-105,7 ± 6,9	-104,3 ± 1,5	-103,6 ± 1,2	-103,1 ± 7,2
	K _H	87,1 ± 4,3	86,7 ± 0,8	86,6 ± 0,7	86,4 ± 5,3
	n _H	0,1 ± 6 10 ⁻⁶	0,1 ± 2 10 ⁻⁶	0,1 ± 2 10 ⁻⁶	0,1 ± 2 10 ⁻⁶
	R ² _{aj.}	0,997	0,994	0,995	0,985

T₁= amido fosforilado com 5% de TPS por 20 min de reação; T₃= amido fosforilado com 9% de TPS por 20 min de reação; T₄= amido fosforilado com 5% de TPS por 30 min de reação; T₆= amido fosforilado com 9% de TPS por 30 min de reação. τ_0 = tensão de cisalhamento inicial (Pa); K_H= índice de consistência (Pa.s^{n_H}); n_H= índice de comportamento do fluido (adimensional); R²_{aj.} = coeficiente de determinação ajustado.

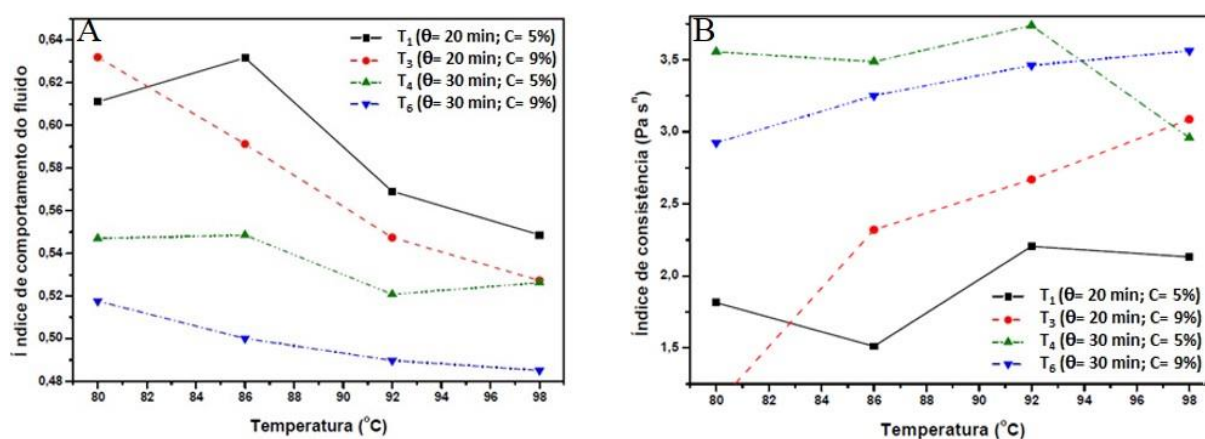


Figura 1. Efeito da temperatura sobre os parâmetros do fluido de amido de fruto-do-lobo. A) Índice de comportamento e B) Índice de consistência

A Figura 1b é referente ao índice de consistência em relação à temperatura. Indica a consistência do fluido, quanto maior o K mais consistente é o fluido. Segundo Queiroz et al. (2002) quando o valor de K é maior que zero o

fluido é considerado não-newtoniano (QUEIROZ et al., 2002). Quanto ao índice de consistência observou-se uma forte dependência da temperatura. Em geral com o

aumento da temperatura pode ser observado que o índice de consistência também aumenta.

Em comparação dos tratamentos T₆ e T₄ que contêm o mesmo tempo de fosforilação e diferentes concentrações, verifica-se que o tratamento T₆ apresenta menor consistência que o tratamento T₄. Já os tratamentos T₁ e T₃ observam que o T₃ possui maior consistência.

CONCLUSÃO

Os amidos fosforilados da fruta-de-lobo formam pastas mais viscosas que o seu amido nativo. Concentrações de 1,3-2% de amidos fosforilados com 5-9% de tripolifosfato de sódio por 20-40 min de reação, fornecem boa leitura reológica no viscosímetro Brookfield.

O modelo matemático de Herschel-Bulkley se ajusta adequadamente aos dados reológicos obtidos das soluções de 1,5% de amido fosforilado com 5 e 9% de tripolifosfato de sódio por 20 e 30 min de reação.

As suspensões aquosas de 1,5% de amido fosforilado com 5 e 9% de tripolifosfato de sódio por 30 min de reação fornecem maiores valores de tensão de cisalhamento, em todas as taxas de deformação e temperaturas aplicadas.

Em taxas de deformação de 138 s⁻¹, as suspensões aquosas de 1,5% de amido fosforilado com 5 e 9% de tripolifosfato de sódio por 30 min de reação apresentam maior viscosidade aparente do fluido, em torno de 275 cP, com comportamento de fluido pseudoplástico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Estadual de Goiás pelo suporte técnico, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de IC e ao Programa de Concessão de Bolsa de Incentivo ao Pesquisador (BIP) da UEG.

REFERÊNCIAS

- ASCHERI, D. P. R.; SILVA, P. H. X. F.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Comportamento reológico de farinha mista extrusada de bagaço de jabuticaba e Arroz. **Revista Processos Químicos**, Anápolis, v. 2, n. 4, p. 68-73, 2008.
- ASCHERI, D. P. R.; MOURA, W. S.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Caracterização física e físico-química de rizomas e amido do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 159-166, 2010.
- ASCHERI, D. P. R.; PEREIRA, L. D.; BASTOS, S. M. C. Chemical, morphological, rheological and thermal properties of *Solanum lycocarpum* phosphorylated starches. **Revista Ceres [online]**. Viçosa, v. 61, n. 4, p. 458-466, 2014.
- BATISTA, W. P.; SILVA, C. E. M.; LIBERATO, M. C. Propriedades químicas e de pasta dos amidos de trigo e milho fosforilados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 88-93, 2010.
- BROOKFIELD DV-II+. Brookfield DV-II+ programmable viscometer. Operating instructions manual n° M/97-164, 2006. Disponível em <http://www.brookfielengineering.com>
- CEREDA, M. P.; DEMIATE, I. M.; VILPOUX, O.; FRANCO, C. M. L.; LEONEL, M. **Amidos modificados. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amilácea Latino-Americanas, vol. 3**. In. Culturas de tuberosas amiláceas latinoamericanas. São Paulo: Fundação Cargill, 2002, p. 247-285.
- CLERICI, M. T. P. S.; KALLMANN, C.; GASPI, F. O. G.; MORGANO, M. A.; MARTINEZ-BUSTOS, F.; CHANG, Y. K. Physical, chemical and technological characteristics of *Solanum lycocarpum* A. St. - HILL (Solanaceae) fruit flour and starch. **Food Research International [online]**, v. 44, p. 2143-2150, 2011.

- DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural [online]**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 945-954, 2009.
- DHANAPAL, A.; SASIKALA P.; RAJAMANI, L.; KAVITHA V.; YAZHINI, G.; BANU, M. S. Edible films from Polysaccharides. **Food Science and Quality Management**, Kusami, v. 3, s/n, p. 9-17, 2012.
- HAMINUIK, C. W. I. **Comportamento reológico e fracionamento péctico das polpas integrais de araçá (*Psidium cattleianum sabine*) e amora-preta (*Rubus spp*)**. 2005. 85p. (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR.
- HERNÁNDEZ-MEDINA, M.; TORRUCO-UCO, J. G.; CHEL-GUERRERO, L.; BETANCUR-ANCONA, D. Caracterización físicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 718-726, 2008.
- KARIM, A. A.; TOON, L. C.; LEE, V. P.; ONG, W.Y.; FAZILAH, A.; NODA, T. Effects of phosphorus contents on the gelatinization and retrogradation of potato starch. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 72, n. 2, p. C132-C138, 2007.
- KASIRAJAN, S.; NGOUAJIO, M. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 32, n. 2, p.501-529, 2012.
- LIMBERGER, V. M. **Modificação física e química do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos**. 2006, 78p. (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS. Disponível em http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_arquivos/2/2/TDE-2006-08-02T054322Z-92/Publico/DISSERTACAO%20COMPLETA.pdf
- LINDEBOOM, N.; CHANG, P. R.; TYLER, R. T. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. **Starch/Stärke**, Zagazig, v. 56, n. 3-4, p. 89-99, 2004.
- NODA, T.; KOTTEARACHCHI, N. S.; TSUDA, S.; MORI, M.; TAKIGAWA, S.; MATSUURA-ENDO, C; KIN, S. J.; HASHIMOTO, N.; YAMAUCHI, H. Starch phosphorus content in potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars and its effect on other starch properties. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 68, n. 4, p. 793-796, 2007.
- OLIVEIRA JUNIOR, E. N.; SANTOS, C. D.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D.; LOPEZ SANTOS, J. Z. Análise nutricional da fruta-de-lobo (*Solanum lycocarpum* St. Hil.) durante o amadurecimento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 4, p. 846-851, 2003.
- PEREIRA, L. D.; ASCHERI, D. P. R. Efeitos do tempo de reação em função da concentração de tripolifosfato de sódio sobre as propriedades físicas e químicas do amido da fruta-de-lobo (*Solanum lycocarpum*). **Revista Agrotecnologia**, Anápolis, v. 2, n. 2, p. 82-97, 2011.
- PRIELER, S.; FISCHER, G. **Agricultural by-products associated with biofuel production chains**. Netherlands: Elobio, 2009. Report D5.1, 14p. Disponível em http://www.elobio.eu/fileadmin/elobio/user/docs/DeliverableE_5.1.pdf
- QUEIROZ, A. J. M; FERREIRA, G. M; CONCEIÇÃO, R. S; GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. **Ciências exatas e naturais**, Campinas, v. 4, n. 2, p. 175-184, 2002.
- SILVA, F. C.; GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C. A. Reologia do suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.1, p.121-126, 2005.

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. **Ciências e Tecnologias de Alimentos**, Campinas, v. 26, n.1, p. 188-197, 2006.

SITOHY, M. Z.; EL-SAADANY, S. S.; LABIB, S. M.; RAMADAM, M. F. Physicochemical properties of different type of starch phosphate monoester.

Starch/stärke, Zagazig, v. 52, n. 4, p. 101-105, 2000.

XIAO, H.; LIN, Q.; LIU, G. W.; WU, Y.; TIAN, W.; WU, W.; FU, X. Physicochemical properties of chemically modified starches from different botanical origin. **Scientific Research and Essays**, Lagos, v. 6, n. 21, p. 4517-4525, 2011.