

CARACTERIZAÇÃO DE FARINHA DE INHAME OBTIDA POR ATOMIZAÇÃO

Leticia Giuliani Yashiki ¹; Edison Paulo De Ros Triboli ²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *O inhame é um tubérculo rico em amido, sendo uma boa fonte de energia, no entanto é pouco utilizado pelo público. Por ser um produto perecível e de produção sazonal, seu uso é restrito. Entretanto, a transformação em farinha facilita seu manuseio e transporte, ofertando ao mercado um produto de maior durabilidade e conveniência. A secagem por atomização permite a obtenção de farinha de alta qualidade. A caracterização da farinha obtida por esse método é fundamental para seu uso na indústria. No estudo reológico, foram realizados ensaios com suspensões de farinha com frações mássicas de 4, 5 e 6 % em água, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C. A suspensão revelou comportamento não newtoniano dependente do tempo. Os resultados ajustados ao modelo de Herschel-Bulkley apresentaram coeficientes de correlação médio de 0,998, para curva ascendente, e 0,9996 para curva descendente, demonstrando que o modelo é válido. Na caracterização físico-química, foram realizados ensaios para determinação da composição centesimal e teor de potássio; determinação dos valores de Hunter L*, a* e b*; caracterização morfológica através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e determinação dos índices de fluidez Hausner e Carr.*

Introdução

O inhame (*Dioscorea* spp) é um tubérculo consumido em vários países. No Brasil é cultivado principalmente por agricultores familiares e incorporado em sua dieta (Siqueira *et al.*, 2014). Sua composição centesimal é 2,8-3,1 % cinzas, 4,1-6,4 % proteínas, 1,4-2,7 % fibras e 88-90 % carboidratos em massa seca, com 68-77 % de umidade (Paula *et al.*, 2012). Além de ser uma boa fonte de energia, 30 % dele é amido, sendo parte dele o amido lentamente digerido (Chen *et al.*, 2017), o qual provoca uma resposta lenta dos níveis de glicemia e insulina no sangue após as refeições, o que pode ser associado a um melhor controle do diabetes (Walter *et al.*, 2005). O inhame também é rico em potássio, sendo a sétima hortaliça com maior quantidade desse nutriente, de acordo com a tabela TACO, o qual está associado ao controle da pressão alta (Santos e Lima, 2009).

Apesar de todas essas características, o inhame é pouco utilizado pelo público (Siqueira *et al.*, 2011) quando comparado a outros tubérculos. Sua produção sazonal e dificuldade no armazenamento são fatores que dificultam seu uso. Entretanto, a transformação desse tubérculo em farinha facilitaria seu manuseio e transporte, permitindo disponibilidade para consumo regular, além de ofertar ao mercado o produto de forma atrativa e conveniente para diversos preparos culinários. Adicionalmente, o processamento em farinha permitiria o uso do inhame como matéria-prima para a indústria de alimentos, podendo ser utilizado como espessante em sopas, caldos e molhos de carne (Nunes *et al.*, 2010), melhorador na panificação (Contado *et al.*, 2009), entre outras aplicações.

A transformação do inhame em farinha ocorre por etapas de secagem e moagem. As características do produto final são dependentes dos tipos de processamento e condições operacionais. Alguns métodos já foram estudados, como a secagem por ar, por fumigação com enxofre, por ar quente, por congelamento, por micro-ondas e por tambor (Chen *et al.*, 2017; Hsu *et al.*, 2003).

No Brasil, a produção de farinha de inhame para comercialização é pequena, com poucos produtos presentes no mercado. Sua secagem é feita por ar quente, na qual o material, previamente descascado, lavado e cortado em tiras, é exposto a circulação forçada de ar quente, vaporizando a água presente no inhame. As tiras secas passam por um processo de moagem

para a obtenção da farinha (Carvalho e Gomes, 1997). Apesar de o método ser simples e relativamente econômico, o tempo de secagem afeta diretamente a qualidade do produto e quanto maior for esse tempo, pior será sua qualidade (Baker, 1997).

A secagem por atomização, o qual consiste na injeção de uma suspensão do material em forma líquida junto com um agente de secagem em uma câmara, ainda não foi testada. Nesse processo, a água é rapidamente evaporada da dispersão de gotas, resultando num produto seco obtido na forma de pó, grânulos ou aglomerados (Mujumdar, 2006).

Esse método de secagem permite a produção de um produto de alta qualidade, em que o tamanho e forma da partícula, densidade, umidade e outras propriedades podem ser controladas, sem precisar passar por mais etapas de processamento, além de permitir uma alta taxa de secagem com produção constante, sendo seu custo de manutenção pequeno. No entanto, a dimensão da instalação é grande, sendo proporcional a produção desejada. Desta forma, o custo inicial da instalação é alto comparado com outros métodos e gera considerável gasto de energia (Kudra e Mujumdar, 2002).

A caracterização da farinha de inhame produzida por secagem por atomização é fundamental para seu uso na culinária e como matéria-prima industrial. Dessa forma, este estudo tem como objetivo a caracterização reológica da suspensão aquosa de farinha de inhame, obtida por secagem por atomização, sua caracterização físico-química e comparação com a farinha presente no mercado.

Material e Métodos

Obtenção da farinha

Para a obtenção da farinha, inhame foi adquirido em mercado local. Em seguida foram descascados, lavados em água corrente e triturados em um moinho de facas com água na proporção de 1:1 em massa. A secagem foi realizada em atomizador de disco rotativo semi-industrial modelo SD-05 (Tecnape, Sertãozinho), com velocidade angular do disco de 30000 rpm, velocidade tangencial de $17,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ e temperatura do ar de entrada de 160°C . A farinha é recolhida tanto na saída da câmara de secagem, quanto pelo ciclone, equipamento acoplado a unidade.

Para comparação com o produto existente no mercado, se comprou farinha de inhame da marca Nyame, cujo processo de secagem, de acordo com informação obtida com o fabricante, é feito por circulação forçada de ar quente.

Caracterização reológica

Para a caracterização reológica da farinha produzida por atomização, foram feitas suspensões aquosas de 4, 5 e 6 % em massa de farinha de inhame, as quais foram aquecidas com agitação constante até a gelatinização do amido (71 a 84°C) e depois resfriadas até as temperaturas de ensaio de 20 , 30 , 40 e 50°C . Nos testes foram utilizados o reômetro Brookfield, modelo DV3T-LV extra, *spindle* SC4-31 acoplado a um banho-maria para controle da temperatura, foi utilizado com velocidades de 1 , 5 , 10 , 15 , 30 , 60 , 90 , 120 , 150 , 180 e 200 rpm, sendo as leituras realizadas em curvas ascendente e descendente, para a tensão de cisalhamento e viscosidade aparente em função da taxa de deformação. A aquisição de dados foi feita com o software Rheocalc T 1.2.19 e os ensaios foram realizados em triplicata. O modelo de Herschel-Bulkley, equação 1, foi ajustado às curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação com auxílio da ferramenta Solver do programa Microsoft Excel e o coeficiente de correlação (R^2) foi utilizado para avaliar o ajuste do modelo.

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

Em que, τ é a tensão de cisalhamento (Pa); τ_0 , tensão de cisalhamento inicial (Pa); k , o índice de consistência ($\text{Pa} \cdot \text{s}$); $\dot{\gamma}$, a taxa de deformação (s^{-1}) e n , o índice de comportamento do fluido (adimensional).

Os parâmetros obtidos através da modelagem foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e ao teste de Duncan, com significância de 5 %, para a verificação da diferença entre eles.

Determinação da composição centesimal

A umidade foi determinada por perda por dessecação pelo método (012/IV) proposto pelo Instituto Adolf Lutz (2005). Uma placa de petri foi aquecida em estufa a 106 °C por 3 horas, resfriada em dessecador até temperatura ambiente e pesada. Uma massa de 5 g da farinha de inhame na placa de petri, o qual foi aquecido em estufa a 106 °C durante 3 horas. Resfriou-se em dessecador e sua massa foi anotada. A farinha foi novamente levada a estufa e aquecida por 30 minutos, resfriada em dessecador e sua massa anotada. Esse processo foi repetido duas vezes até o peso se tornar constante. A umidade é determinada pela diferença de peso.

As cinzas são determinadas por resíduo por incineração de acordo com o método (018/IV) proposto pelo Instituto Adolf Lutz (2005). Pesou-se uma cápsula de porcelana previamente aquecida em mufla a 550 °C e resfriada em dessecador até temperatura ambiente. Pesaram-se 3 g da farinha de inhame na cápsula. Sua carbonização foi feita com a ajuda de bico de Bunsen. Em seguida, este foi levado a mufla a 550 °C por 5 horas, resfriado até temperatura ambiente em dessecador e sua massa foi anotada. A diferença entre o peso inicial e final determina a quantidade de cinzas.

A determinação da quantidade de proteína foi feita pelo método de Kjeldahl modificado (037/IV) (Instituto Adolf Lutz, 2005). Pesou-se 0,3 g da farinha em papel de seda, transferindo ambos para um tubo de Kjeldahl. Adicionaram-se 1,5 g de catalisador de proteína e 5,0 mL de ácido sulfúrico PA, levou-se ao aquecimento em bloco digestor em capela até completar a digestão (solução azul-esverdeada livre de material orgânico não digerido) e resfriou-se até temperatura ambiente. Em um erlenmeyer de 250 mL adicionaram-se 20 mL de solução de Kjeldahl. O frasco de amostra digerida foi conectado ao destilador da marca Tecnal modelo TE-036/1 e o erlenmeyer a extremidade afilada ao refrigerante. Solução de NaOH foi adicionada até a solução da amostra se tornar marrom. O resfriamento e aquecimento do destilador foram ligados e destilou-se até se obter 100 mL no erlenmeyer. O destilado foi titulado com ácido clorídrico 0,02 M, sendo o ponto de viragem a identificação por meio da coloração vermelha original, o volume final foi anotado. O mesmo procedimento foi realizado sem a farinha para determinar o número de mols de ácido clorídrico reagido. A massa de proteína foi determinada pela massa de nitrogênio reagido multiplicado por fator 6,25 que é a relação entre a massa de nitrogênio presente nas proteínas e a massa desta.

A determinação do teor de gordura é feita de acordo com o método *Bligh Dyer*. Em um tubo de ensaio de 70 mL pesaram-se 2,0 g de farinha de inhame. Foram adicionados 10,00 mL de clorofórmio, 20,00 mL de metanol e 8,0 mL de água destilada. O tubo foi tampado hermeticamente e agitado durante 15 minutos. Em seguida, foram adicionados 10,00 mL de clorofórmio e 10,00 mL de sulfato de sódio 1,5 %. O tubo foi novamente tampado e agitado por 2 minutos. Retiraram-se de 13 a 15 mL da camada inferior com ajuda de uma pipeta e transferiu-se para um tubo de ensaio de 30 mL. A ele foi adicionado 1 g de sulfato de sódio anidro, o qual foi tampado e agitado. A suspensão foi filtrada e 5,00 mL foram transferidos para um béquer de 50 mL previamente pesado. O béquer foi aquecido em estufa a 100 °C até evaporação do solvente, resfriado em dessecador até temperatura ambiente e pesado. A determinação de teor de gordura é obtida pela diferença entre as massas inicial e final.

Todos os ensaios foram realizados em triplicata para a farinha de inhame produzida por atomização. A taxa de carboidratos é obtida por subtração dos teores de umidade, de cinzas, de proteínas e de gorduras.

Determinação do teor de potássio

A determinação da quantidade de potássio é feita pela detecção dos íons potássio por fotometria de emissão de chama. Pesou-se 0,1907 g de cloreto de potássio, previamente seco

em estufa a 200 °C por 3 horas e resfriado até temperatura ambiente em dessecador. Transferiu-se para um balão volumétrico de 100 mL e o volume foi completado com água deionizada. Em seguida, transferiram-se 10 mL para um balão volumétrico de 100 mL e completado com água destilada e deionizada, sendo esta a solução intermediária para realização da curva-padrão, na qual 1 mL corresponde a 0,1 mg de íons potássio.

A partir da solução intermediária, transferiu-se 0,1; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 8,0; e 10,0 mL para balões volumétricos de 10 mL para obtenção de soluções-padrão para realização de uma curva-padrão com concentração entre 0,1 e 10,0 mg/L de íons potássio. O comprimento de onda de 766,5 nm foi ajustado ao fotômetro de chama da marca Micronal, modelo B462. A escala foi zerada com utilização de água deionizada. Em seguida, foi feita a leitura das soluções-padrão em ordem crescente de diluição, checando-se o zero da escala do aparelho após cada leitura. O processo de leitura foi repetido até os valores se tornassem confiáveis. A partir disso, foi construída a curva-padrão da intensidade de emissão de chama em função da concentração de íons potássio.

Pesou-se 1,0 g da farinha de inhame por atomização, a qual foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL e o volume completado com água destilada e deionizada. Em seguida, 1,0 mL da solução foi transferido para outro balão volumétrico de 100 mL e o volume completado com água destilada e deionizada. Cerca de 40 mL dessa solução foi transferida para um béquer para realização da leitura no fotômetro para comprimento de onda de 766,5 nm, checando-se anteriormente o zero da escala com água destilada e deionizada. Os ensaios foram realizados em duplicata e a concentração de íons potássio foi determinada através da curva-padrão.

Determinação dos valores de cor L^ , a^* e b^**

Os atributos de cor (L^* , a^* , b^*) são determinados por reflectância utilizando o colorímetro modelo ColorQuest XE da marca Hunter Lab Inc. (Reston, VA, USA) e a aquisição de dados realizada pelo software *Easy Match QC*, versão 4.77, utilizando iluminação D65 com ângulo de 10°. O ensaio foi realizado tanto para a farinha de inhame produzida por atomização quanto farinha da marca Nyame. As amostras são medidas em ambos os lados, em duplicata. A diferença entre os parâmetros é calculada através das equações 2, 3 e 4 e a diferença de cor total ΔE^* através da equação 5.

$$\Delta L^* = L^*_{amostra} - L^*_{padrão} \quad (2)$$

$$\Delta a^* = a^*_{amostra} - a^*_{padrão} \quad (3)$$

$$\Delta b^* = b^*_{amostra} - b^*_{padrão} \quad (4)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (5)$$

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As características morfológicas da farinha de inhame por atomização e a farinha da marca Nyame foram observadas utilizando um microscópio eletrônico de varredura da marca JEOL, modelo JCM 6000. Pequenas quantidades de amostra foram colocadas sobre uma placa de metal com porta-amostra e depositadas no microscópio, as imagens foram obtidas com potencial acelerado de 5 kV.

Determinação dos índices de fluidez de Hausner e Carr

A densidade aparente aerada e a densidade compactada, tanto para a farinha de inhame obtida por atomização quanto a da marca Nyame, foram determinadas pelo método proposto por Oliva e Triboli (2016) adaptado para uma proveta de 250 mL. Pesou-se a proveta e transferiu-se para esta aproximadamente 170 mL da farinha com ajuda do funil de garrafa PET, representado pela figura, o qual estava apoiado sobre um suporte. As condições de queda foram padronizadas e evitou-se impactos ao sistema para não afetar a medição. A massa e o volume inicial (V_i) da farinha foram anotados.

Em seguida, a proveta foi submetida a uma série de choques mecânicos sobre uma superfície macia até seu volume se tornar constante, atingindo a compactação. O volume compactado (V_c) foi anotado. Os ensaios foram realizados em quintuplicadas. A densidade aerada (ρ_a) é determinada pela razão entre a massa de farinha e o volume inicial e a densidade compactada (ρ_c) pela razão entre a massa de farinha e o volume compactado. Os índices de Hausner (I_H) e de Carr (I_C) são calculados com auxílio das equações 6 e 7.

$$I_H = \frac{\rho_c}{\rho_a} = \frac{V_i}{V_c} \quad (6)$$

$$I_C = 100 \cdot \frac{(\rho_c - \rho_a)}{\rho_c} = 100 \cdot \frac{(V_i - V_c)}{V_i} \quad (7)$$



Figura 1 – Funil de garrafa PET para padronização da altura de queda das farinhas
Fonte: Marina Piasentini Oliva, 2016.

Resultados e Discussão

Caracterização reológica

No estudo reológico, foram considerados os dados de 10 a 90 % de torque. Para todas as concentrações e temperaturas testadas, a suspensão de farinha de inhame se apresentou como fluido não-newtoniano dependente do tempo, o que indica comportamento tixotrópico. Para as condições estudadas, a tensão de cisalhamento aumentou com o aumento da concentração e diminuiu com o aumento da temperatura, a diminuição da temperatura também provocou maior histerese (Figuras 2, 3 e 4). A viscosidade aumentou com a concentração e diminuiu com o aumento da temperatura (Figuras 5, 6 e 7).

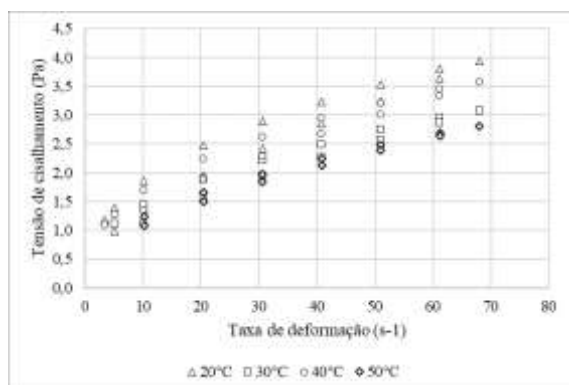


Figura 2 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para suspensão de 4 % de farinha de inhame, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C.

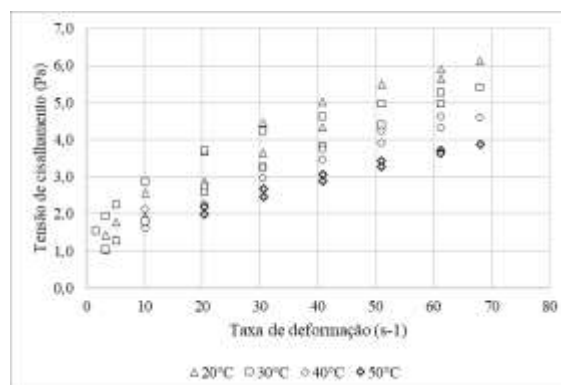


Figura 3 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para suspensão de 5 % de farinha de inhame, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C.

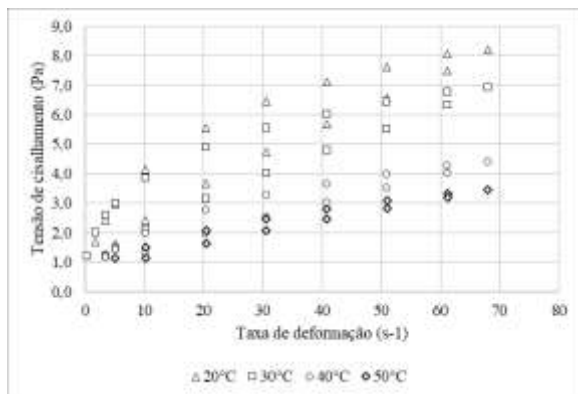


Figura 4 - Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para suspensão de 6 % de farinha de inhame, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C.

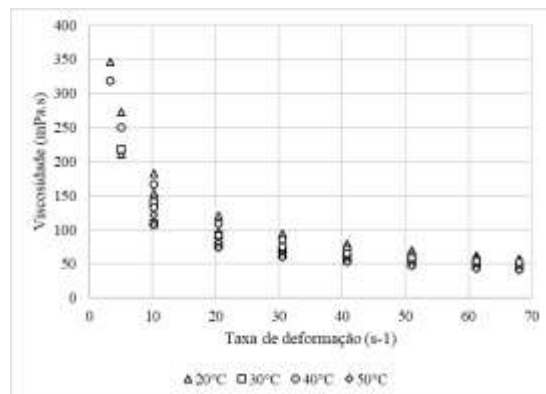


Figura 5 - Relação entre viscosidade e taxa de deformação para a suspensão de 4 % de farinha de inhame, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C.

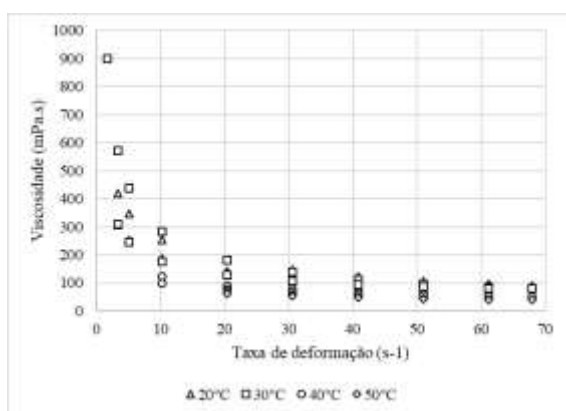


Figura 6 - Relação entre viscosidade e taxa de deformação para a suspensão de 5 % de farinha de inhame, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C.

Fonte: A autora, 2017

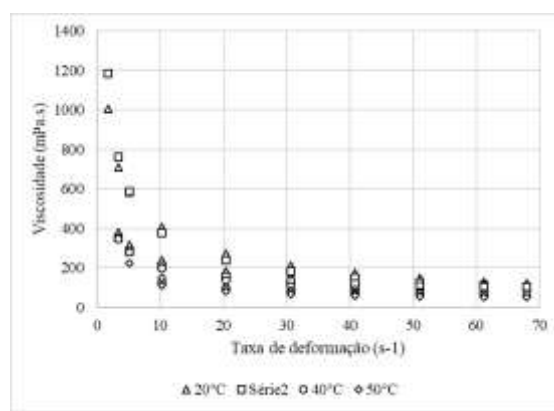


Figura 7 - Relação entre viscosidade e taxa de deformação para a suspensão de 6 % de farinha de inhame, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C.

Os parâmetros do ajuste ao modelo de Herschel-Bulkley para a curva ascendente são apresentados na Tabela 1. A tensão de cisalhamento inicial (τ_0) apresentou valor nulo em quase todos os ensaios, o que determinou que se adotasse valor nulo para esse parâmetro por ocasião dos ajustes dos dados. Para mesma concentração, observa-se que o índice de consistência (k) tende a diminuir com o aumento da temperatura e para mesma temperatura, o índice aumentou com o aumento da concentração. Já o índice de comportamento (n) do fluido aumentou com a concentração para mesma temperatura e não apresentou comportamento linear para uma mesma concentração. O valor do coeficiente de correlação médio de 0,998 caracteriza a qualidade do ajuste do conjunto de dados.

Para a curva descendente, os parâmetros do ajuste ao modelo de Herschel-Bulkley estão representados na tabela 2. A tensão de cisalhamento inicial (τ_0) não apresentou comportamento linear para uma mesma concentração e para mesma temperatura, a tensão diminuiu com a diminuição da concentração. O índice de consistência do modelo (k), apresentou o mesmo comportamento da curva ascendente.

Já o índice de comportamento (n) do fluido aumentou com a concentração para uma mesma temperatura e não apresentou comportamento linear para uma mesma concentração. Na curva descendente, os valores referentes ao índice de comportamento do fluido (n) foram maiores ao serem comparados com os referentes a curva ascendente, o que demonstra que o fluido apresenta comportamento mais próximo de um fluido newtoniano, para o qual o índice tem valor 1. O valor do coeficiente de correlação médio foi de 0,9996.

Tabela 1 – Ajuste matemático ao modelo de Herschel-Bulkley, na curva ascendente, para as suspensões de concentrações de 4, 5 e 6 %, nas temperaturas 20, 30, 40 e 50 °C.

Concentração de farinha (%)	Temperatura (°C)	k (Pa·s)	n	R^2
4	20	$0,71 \pm 0,07^B$	$0,41 \pm 0,02^{AB}$	0,9996
	30	$0,57 \pm 0,04^C$	$0,40 \pm 0,01^A$	0,9990
	40	$0,67 \pm 0,05$	$0,40 \pm 0,01$	0,9998
	50	$0,45 \pm 0,02$	$0,44 \pm 0,02$	0,9994
5	20	$^b 0,89 \pm 0,17^B$	$^a 0,46 \pm 0,04^A$	0,9964
	30	$^a 1,31 \pm 0,32^B$	$^b 0,34 \pm 0,06^{AB}$	0,9989
	40	$^{bc} 0,69 \pm 0,04$	$^a 0,54 \pm 0,03$	0,9998
	50	$^c 0,56 \pm 0,02$	$^a 0,51 \pm 0,07$	0,9992
6	20	$^a 1,61 \pm 0,14^A$	$^a 0,39 \pm 0,02^B$	0,9931
	30	$^a 1,78 \pm 0,36^A$	$^b 0,33 \pm 0,04^B$	0,9981
	40	$^b 0,75 \pm 0,14$	$^a 0,43 \pm 0,04$	0,9971
	50	$^b 0,56 \pm 0,16$	$^a 0,44 \pm 0,05$	0,9997

Teste de Duncan para diferença significativa de 5 %. Letras minúsculas são referentes a mesma concentração e letras maiúsculas referentes a mesma temperatura.

Tabela 2 – Ajuste matemático ao modelo de Herschel-Bulkley, na curva descendente, para as suspensões de concentrações de 4, 5 e 6 %, nas temperaturas 20, 30, 40 e 50 °C.

Concentração de farinha (%)	Temperatura (°C)	τ_0 (Pa)	k (Pa·s)	n	R^2
4	20	$^b 0,42 \pm 0,03^{AB}$	$0,190 \pm 0,005^B$	$^a 0,689 \pm 0,005^B$	0,9995
	30	$^{bc} 0,39 \pm 0,05^B$	$0,152 \pm 0,003^B$	$^a 0,68 \pm 0,02^B$	0,9997
	40	$^a 0,52 \pm 0,05$	$0,175 \pm 0,008^B$	$^a 0,68 \pm 0,01^B$	0,9997
	50	$^c 0,34 \pm 0,03^B$	$0,178 \pm 0,007^A$	$^b 0,62 \pm 0,02^C$	0,9999
5	20	$^b 0,34 \pm 0,05^B$	$^a 0,312 \pm 0,009^A$	$0,689 \pm 0,007^B$	0,9997
	30	$^a 0,50 \pm 0,09^A$	$^b 0,24 \pm 0,02^A$	$0,71 \pm 0,02^B$	0,9994
	40	$^a 0,52 \pm 0,02$	$^{bc} 0,22 \pm 0,04^A$	$0,69 \pm 0,03^B$	0,9996
	50	$^a 0,49 \pm 0,07^A$	$^c 0,19 \pm 0,07^A$	$0,68 \pm 0,05^B$	0,9999
6	20	$^b 0,49 \pm 0,03^A$	$^a 0,34 \pm 0,02^A$	$^c 0,74 \pm 0,01^A$	0,9994
	30	$^a 0,58 \pm 0,04^A$	$^b 0,256 \pm 0,007^A$	$^{bc} 0,757 \pm 0,005^A$	0,9993
	40	$^{ab} 0,50 \pm 0,06$	$^c 0,12 \pm 0,01^C$	$^a 0,82 \pm 0,02^A$	0,9995
	50	$^b 0,44 \pm 0,08^A$	$^c 0,11 \pm 0,02^B$	$^b 0,78 \pm 0,03^A$	0,9997

Teste de Duncan para diferença significativa de 5 %. Letras minúsculas são referentes a mesma concentração e letras maiúsculas referentes a mesma temperatura.

Composição centesimal

A composição centesimal da farinha de inhame por atomização está representada na tabela 3. Observa-se que a maior parte da farinha é composta por carboidratos, com quantidades parecidas de proteína, umidade e cinzas, uma porcentagem pequena de gordura. Ao ser

comparado com o inhame *in natura*, houve uma redução de 91,8 % da umidade. Consequentemente, as porcentagens dos outros componentes aumentaram.

Tabela 3 – Composição centesimal da farinha de inhame obtida por atomização

Componente	Inhame cru (%)	Farinha de inhame por atomização (%)
Umidade	73,3*	6,04 ± 0,07
Proteína	2,1*	7,1 ± 0,2
Cinzas	1,2*	6,45 ± 0,04
Gordura	0,2*	0,353 ± 0,008
Carboidrato	23,2*	80,09 ± 0,02

* Valores retirados da Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (UNICAMP, 2006).

Teor de potássio

A curva de calibração está representada na figura 8, nela foi ajustada uma equação linear com coeficiente de correlação de 0,997 para a determinação do teor de potássio. As leituras das intensidades de emissão da farinha de inhame foram no meio da curva. O teor de potássio encontrado foi de (3,10 ± 0,07) %. De acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (UNICAMP, 2006), 100 g de inhame *in natura* contém 567,7 mg de potássio, que corresponde a 2,12 % em base seca, estando próximo ao encontrado para a farinha.

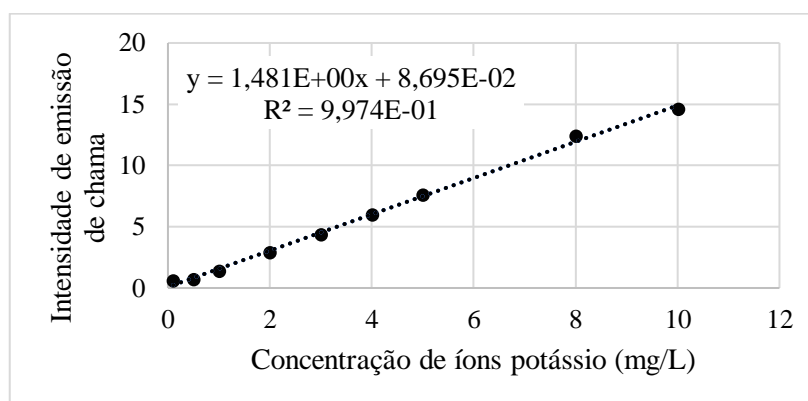


Figura 8 – Curva de calibração de íons potássio

Valores de Hunter L*, a* e b*

Os atributos de cor (Hunter L*, a*, b*) tanto para a farinha de inhame produzida por atomização quanto por ar quente estão representados na tabela 4. Ambas possuem valores altos de L* o que indica alta intensidade de luminosidade. Para o parâmetro a*, o valor baixo e negativo da farinha de inhame por atomização indica pequena intensidade de verde, enquanto que a farinha da marca Nyame, apresenta baixa intensidade de cor vermelha. Já para o parâmetro b*, ambas obtiveram valores positivos, indicando intensidade de amarelo.

Tabela 4 – Valores de L*, a*, b* para farinha de inhame obtida por atomização e farinha de inhame da marca Nyame

Parâmetro	Farinha por atomização	Farinha Nyame	Δ
L*	93,9 ± 0,3	87,1 ± 0,5	6,78
a*	-0,86 ± 0,04	1,65 ± 0,04	-2,52
b*	7,1 ± 0,3	10,08 ± 0,07	-3,70

Como a diferença ΔL* é positiva, a farinha de inhame por atomização é mais clara que a encontrada no mercado. As diferenças Δa* e Δb*, por serem negativas, indicam que a farinha por atomização é mais esverdeada e azulada que a farinha da marca Nyame, respectivamente.

A diferença total de cor (ΔE^*) foi de 8,12, dessa forma, a diferença entre as cores das farinhas é perceptível ao olho humano.

Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Os grãos da farinha de inhame obtida por atomização, representados na Figura 9, possuem aspecto esférico e uniforme, o que era esperado devido ao processo de secagem, no qual a vaporização da água ocorre durante a dispersão em forma de gotas da suspensão de inhame. Os grãos da farinha de inhame da marca Nyame, representados na Figura 9, tem formato irregular com diferentes tamanhos, devido a moagem que sucede o processo de secagem na obtenção da farinha. O tamanho de grão médio da farinha por atomização é de $(10,5 \pm 4,5) \mu\text{m}$, sendo maior que o tamanho de grão médio da farinha no mercado de $(4,5 \pm 1,8) \mu\text{m}$.

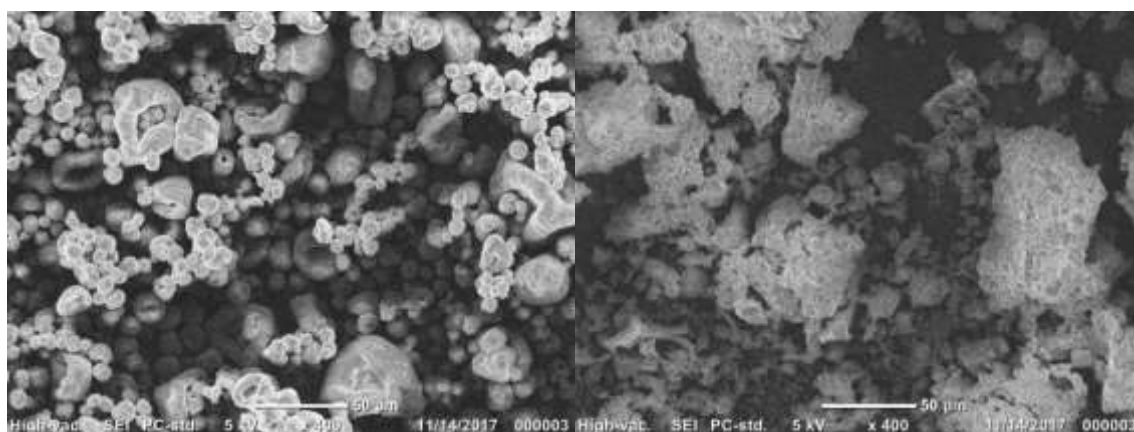


Figura 9 – Microscopia Eletrônica de Varredura para farinha de inhame obtida por atomização (esquerda) e farinha de inhame da marca Nyame (direita)

Índices de fluidez de Hausner e Carr

As densidades aerada (ρ_a) e compactada (ρ_c) e os índices de Hausner (I_H) e Carr (I_C) estão representados na tabela 5. Ambas as densidades foram menores para a farinha de inhame obtida por atomização ao ser comparada a do mercado. No entanto, os valores tanto para o índice de Hausner quanto de Carr são os mesmos para ambas as farinhas, o que demonstra serem feitas do mesmo material. De acordo com a escala de fluidez, pelo índice de Hausner, tanto a farinha de inhame obtida por atomização quanto a da marca Nyame estão na fronteira entre fluidez ruim e muito ruim (USP 37, 2014). Já para o índice de Carr ambas são classificadas como tendo fluidez ruim.

Tabela 5 – Densidades aerada e compactada e índices de Hausner e Carr para as farinhas de inhame obtida por atomização e da marca Nyame

Produto	ρ_a (g.mL ⁻¹)	ρ_c (g.mL ⁻¹)	I_H	I_C (%)
Farinha obtida por atomização	$0,464 \pm 0,002$	$0,675 \pm 0,009$	$1,46 \pm 0,02$	31 ± 1
Farinha Nyame	$0,599 \pm 0,007$	$0,867 \pm 0,005$	$1,45 \pm 0,03$	31 ± 1

Conclusões

Na caracterização reológica, a suspensão aquosa de farinha de inhame, obtida por secagem por atomização, comportou-se como um fluido não newtoniano dependente do tempo, tendo caráter tixotrópico. As correlações médias do ajuste matemático ao modelo de Herschel-Bulkley foram de 0,998 para a curva ascendente e 0,9996 para a curva descendente, caracterizando sua qualidade. Portanto, pode-se utilizar esse modelo para prever o comportamento do fluido.

Na caracterização físico-química, a farinha de inhame obtida por atomização apresentou grande redução da umidade devido a secagem do material, o que facilita o transporte. Ela é composta em sua maior parte por carboidrato, principalmente amido, o qual pode se tornar um atrativo para a indústria química com um teor de potássio de 3,10 %. Seus grãos têm formato esférico e regular. Os índices de Hausner e Carr classificam a farinha com fluidez ruim ou muito ruim, o que a caracteriza como um pó coesivo.

Já a farinha de inhame da marca Nyame, diferentemente da anterior, tem grãos de formato irregular e tamanho menor. Tanto a densidade aerada quanto compactada foram maiores para a farinha da marca Nyame em relação à farinha obtida por atomização. No entanto, os índices de Hausner e Carr foram iguais aos da anterior. Também foi constatada diferença entre as colorações de ambas farinhas.

Referências Bibliográficas

- Baker, C. G. J. (1997) *Industrial Drying of Foods*. London: Blackie Academic & Professional.
- Carvalho, C. W. P.; Gomes, C. A. O. (1997) *Embrapa Agroindústria de Alimentos*, N° 24, 1-5.
- Chen, X.; Li, X.; Huang, H.; Wang, T.; Qu, Z.; Miao, J.; Gao, W. (2017) Effects of drying processes on starch-related physicochemical properties, bioactive components and antioxidant properties of yam flours. *Food Chemistry*, 224, 224-232.
- Contado, E. W. N. F.; Pereira J.; Evangelista, S. R.; Júnior, F. A. L.; Romano, L. M.; Couto, E. M. (2009) Composição centesimal da mucilagem do inhame (*Dioscorea* spp.) liofilizado comparado a de um melhorador comercial utilizado na panificação e avaliação sensorial de pães de forma. *Ciênc. Agrotec.* 33, 1813-1819.
- Hsu, C. L.; Chen, W.; Weng, Y. M.; Tseng, C. Y. (2003) Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by diferente drying methods. *Food Chemistry*, 83, 85-92.
- Instituto Adolfo Lutz. (2005) Métodos Físico-químicos para Análise de Alimentos. 4ª ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde.
- Kudra, T., Mujumdar, A. S. (2002) *Advanced Drying Technologies*. New York: Marcel Dekker.
- Mujumdar, A. S. (2011) *Handbook of Industrial Drying*. 3rd ed. CRC Press.
- Nunes, L. S.; Duarte, M. E. M.; Mata, M. E. R. M. C.; Almeida, R. D.; Gouveia, D. S. (2010) Comportamento reológico de pasta de amido de inhame variedade São Tomé. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 12, 141-154.
- Oliva, M. P.; Triboli, E. P. D. R. (2016) Desenvolvimento de dispositivo auxiliar para a determinação de densidade aparente de pós com garrafa de refrigerante. *Instituto Mauá de Tecnologia*.
- Paula, C. D.; Pirozi M.; Puiatti, M.; Borges, J. T.; Durango, A. M. (2012) Características físico-químicas e morfológicas de rizóforos de inhame (*Dioscorea alata*). *Biotechnologia en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10, 61-70.
- Santos, A. C., Lima, C. A. (2009) Hipertensão de difícil controle: impacto do estilo de vida. *Rev. Bras. Hipertens*, 16, S5-S6.
- Siqueira, M. V. B. M. (2011) Yam: a neglected and underutilized crop in Brazil. *Hortic. Bras*, 29, 16-20.
- Siqueira, M. V. B. M.; Nascimento, W. F.; Silva, L. R. G.; Ferreira, A. B.; Silva, E. F.; Ming, L. C.; Veasy, E. A. (2014) Distribution, management and diversity of yam local varieties in Brazil: a study on *Dioscorea alata* L. *Braz. J. Biol.*, 74, 52-61.
- UNICAMP (2011) Tabela brasileira de composição de alimentos. 4ª ed. Campinas: NEPA-UNICAMP.
- USP 37. (2014) Powder flow. In: _____ *United States Pharmacopeia*. 37. ed. Rockville: [s.n.],. Cap. General Information. Disponível em: <<http://www.uspnf.com/>>. Acesso em: 16 julho 2014.
- Monografia 1174, p. 1051.
- Walter, M., Silva, L. P. & Emanuelli, T. (2005) Amido resistente: características físico-químicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. *Ciência Rural*, 35, 974-980.