

ESTUDO DE CONDIÇÕES OPERACIONAIS PARA OTIMIZAR A PRODUÇÃO DE FARINHA DE INHAME POR ATOMIZAÇÃO

Marianna Isabella De Simone Sgarbi¹; Edison Paulo De Ros Triboli²

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

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

Resumo. *Atualmente se observa o interesse crescente por parte da população mundial em alimentos com real valor nutricional para o consumo. O inhame é um tubérculo rico em carboidratos, potássio e outras substâncias, sendo uma fonte energética boa para a alimentação. Como é um produto sazonal, a produção de farinha de inhame pode promover seu maior consumo e sua utilização em diversas aplicações. As propriedades de uma suspensão de inhame triturado em água são adequadas para a secagem por atomização. Este estudo tem o objetivo de produzir informações iniciais sobre a influência da vazão e da rotação do disco atomizador para a obtenção de farinha de inhame em equipamento semi-industrial com disco atomizador, por meio de delineamento experimental fatorial 2². O processo foi caracterizado por rendimentos e os produtos, pela umidade e índice de fluidez. Os resultados sugerem a utilização de baixas vazões mássicas e altas velocidades para a rotação do disco atomizador, para obter bons rendimentos do processo e da secagem. Além da utilização de um disco com canaletas circulares.*

Introdução

O Inhame é um tubérculo rico em carboidratos, potássio, cálcio, ferro, fósforo, vitaminas e fibras, sendo uma fonte energética de boa qualidade para a alimentação (ARAÚJO, 2010). Como o inhame é um alimento perecível e sazonal, é interessante transformá-lo em farinha, de forma a ter sua oferta de forma regular no mercado. A produção de farinha de inhame contribui para o aumento da durabilidade, para a expansão do seu uso na culinária e para uma alimentação rica em nutrientes. Um estudo para a fabricação de biscoitos (SANTANA, 2014) foi realizado com a substituição farinha de trigo pela farinha de inhame, tornando-se uma alternativa para celíacos.

O estudo sistemático das condições adequadas para a secagem permite a construção de modelos matemáticos do processo e, com eles, determinar as condições ótimas para a obtenção da farinha de inhame em equipamento semi-industrial, ou seja, condições muito próximas daquelas a serem utilizadas na operação de um processo de produção em escala industrial, com objetivos comerciais.

Materiais e Métodos

Para a realização dos ensaios do projeto foram necessários inhame *in natura*, moinho de facas, moinho coloidal e secador por atomização em escala semi-industrial (*spray dryer*).

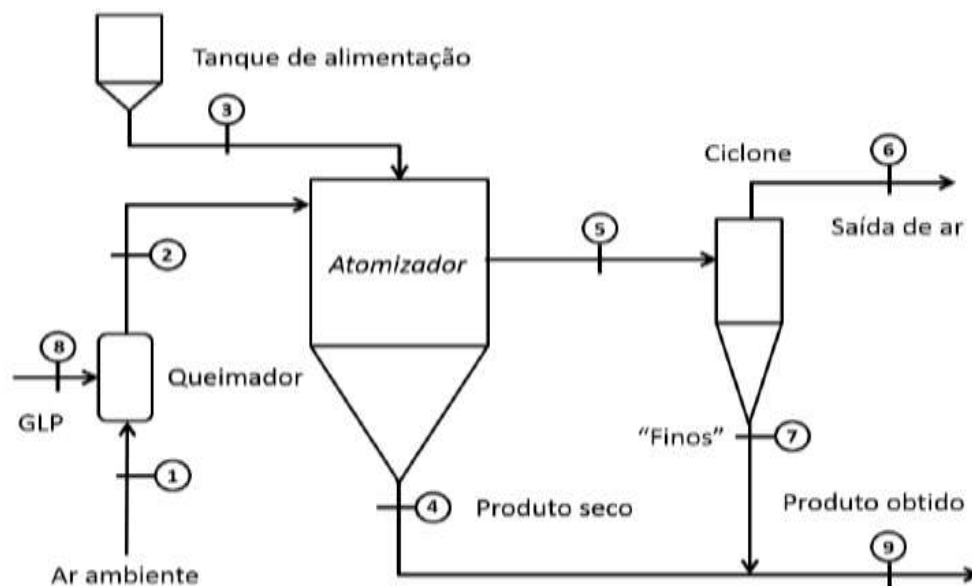
O preparo da suspensão foi feito por meio de operações de limpeza e descascamento do inhame *in natura*, adquirido em mercado local, cominuição em moinho de facas e em moinho coloidal e peneiramento. O processo para o preparo da suspensão foi realizado com base no trabalho Yashiki e Triboli (2017), conforme a Figura 3.

A farinha de inhame foi produzida pela secagem de uma suspensão preparada conforme, conforme dito anteriormente, por atomização, com a utilização de *Spray Dryer* SD-05 Tecnap (Sertãozinho, SP), com capacidade nominal de evaporação de água de 5 kg/h. instalado no Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP. O esquema do atomizador é apresentado na Figura 1.

Foi realizado um delineamento fatorial 2^2 , num total de 4 ensaios, sem repetições, uma vez que o equipamento produz resultados com boa reprodutibilidade (TRIBOLI, 2014). Os parâmetros estudados foram a velocidade do disco atomizador e a vazão de alimentação da suspensão.

Os dados foram tratados com auxílio do programa Minitab 16 (*State College, PA, EUA*) por meio de análise de fatores para o cálculo de efeitos das variáveis estudadas e da possível interação entre elas.

Figura 1 — Esquema do atomizador SD-05 Tecnape



Fonte: Triboli, 2014.

Os produtos foram caracterizados pelas massas recolhidas e determinadas em balanças de precisão (Filizola BP-15, São Paulo), umidade pelo analisador de umidade MOC63u (Shimadzu, Barueri, SP), fluidez pelos índices de Hausner e Carr com auxílio da determinação dos valores de densidade aerada e compactada com o TAP *density tester* (Logan, USA). Por meio de balanços de massa foram gerados indicadores que caracterizam o rendimento e eficiência do processo com base na quantidade de material seco.

A densidade aparente aerada (ρ_a) é definida pela relação obtida pela massa de produto vertida por derramamento lento por meio de funil em cilindro graduado até determinado volume (V_i), sem perturbar ou alterar a compactação. A densidade aparente na condição de empacotamento máximo (ρ_c) é obtida pela relação entre a massa de produto já determinada e o volume compactado da amostra (V_c) por meio de procedimento padronizado de impactos até que se obtenha volume constante. Os índices de Hausner (I_H) e de Carr (I_C) ou compressibilidade (%), são calculados pelas expressões (1) e (2) (USP 37, 2014).

$$I_H = \frac{\rho_c}{\rho_a} = \frac{V_i}{V_c} \quad (1)$$

$$I_C = 100 \times \frac{(\rho_c - \rho_a)}{\rho_c} = 100 \times \frac{(V_i - V_c)}{V_i} \quad (2)$$

De acordo com os valores dos índices de Hausner e de Carr o pó é classificado em relação a sua maior ou menor facilidade em escoar, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 — Escala de fluidez para pós

Fluidez do pó	Índice de Hausner	Índice de Compressibilidade (%)
Excelente	1,00 a 1,11	≤ 10
Boa	1,12 a 1,18	11 a 15
Razoável	1,19 a 1,25	16 a 20
Tolerável	1,26 a 1,34	21 a 25
Ruim	1,35 a 1,45	26 a 31
Muito ruim	1,46 a 1,59	32 a 37
Péssima	> 1,60	> 38

Fonte: USP 37, 2014 (tradução nossa).

Foram realizados 8 (oito) ensaios, nas velocidades do disco atomizador de 20.000 rotações por minuto, RPM, e 30.000 RPM, equivalentes a velocidades tangenciais de 11,7 m/s e 17,5 m/s, respectivamente; vazões mássicas de 8 % e 12 % da capacidade da bomba de alimentação, correspondentes a 2,0 kg/h e 2,8 kg/h, respectivamente; e dois discos atomizadores diferentes (tipo canaleta circular e tipo canaleta retangular) Figura 2.

O disco de canaletas circulares possui características geométricas: diâmetro de 70 mm, altura de 10,2 mm, 16 canaletas circulares de distribuição com 5 mm de comprimento e 2,3 mm de diâmetro (Tecnape, Piracicaba, SP). Já o disco canaletas Retangulares possui diâmetro de 68,95 mm, altura de 9,90 mm, 24 canaletas retangulares com 5,4 mm de comprimento e 2,9 mm de largura.

Figura 2 — Disco com canaletas circulares e retangulares



Fonte: A autora, 2018.

A temperatura do ar de entrada foi mantida constante em 160 °C para todos os ensaios, pois é o limite prático inferior do equipamento utilizado (TRIBOLI, 2014), bem como a depressão de 20 mmH₂O na câmara de secagem, suficiente para auxiliar o fluxo de exaustão de ar do equipamento. A Tabela 2 mostra a programação dos ensaios e as variáveis em suas formas nativas e codificadas.

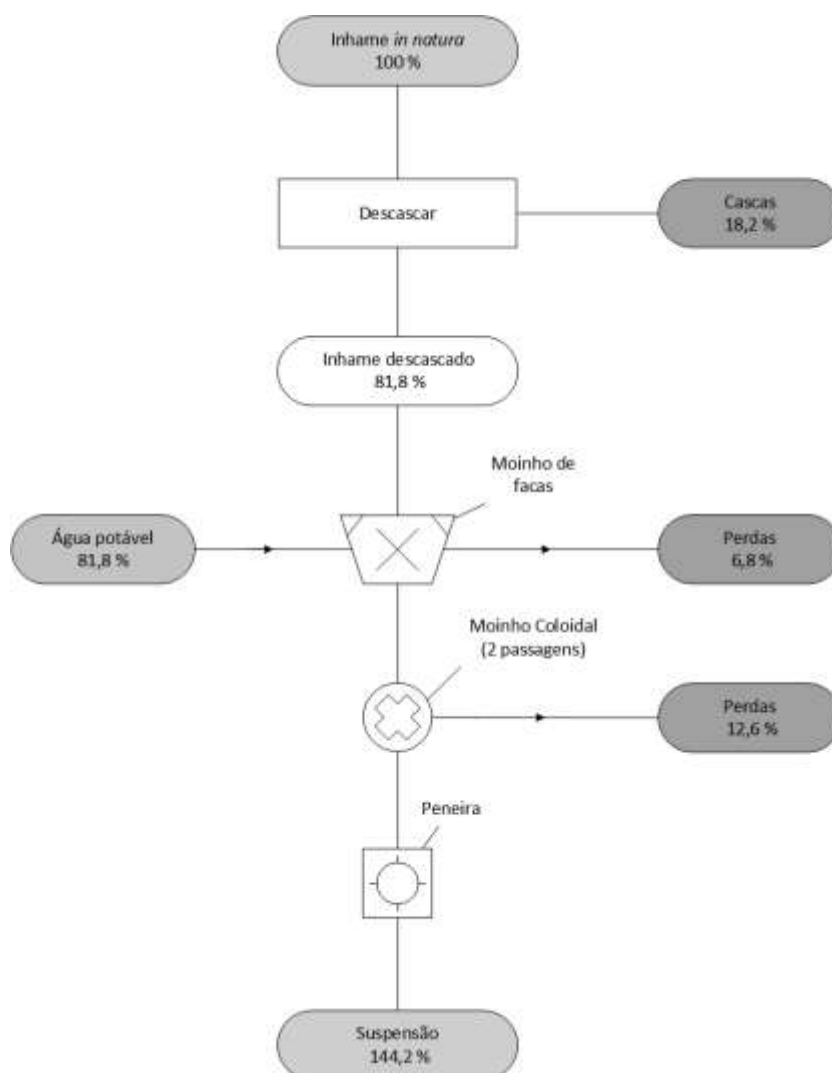
Tabela 2— Planejamento fatorial com variáveis nativas e codificadas, e ordem de realização

Ensaio	Vazão (%)	Rotação (RPM)	Tipo de canaleta	X1	X2	X3	Ordem
1	8	20.000	Circular	–	–	–	2°
2	12	20.000	Circular	+	–	–	4°
3	8	30.000	Circular	–	+	–	3°
4	12	30.000	Circular	+	+	–	1°
5	8	20.000	Retangular	–	–	+	7°
6	12	20.000	Retangular	+	–	+	6°
7	8	30.000	Retangular	–	+	+	8°
8	12	30.000	Retangular	+	+	+	5°

Fonte: A autora, 2018.

Nota: X1 é a variável codificada correspondente à vazão, X2, à rotação e X3 ao tipo de canaleta do disco atomizador.

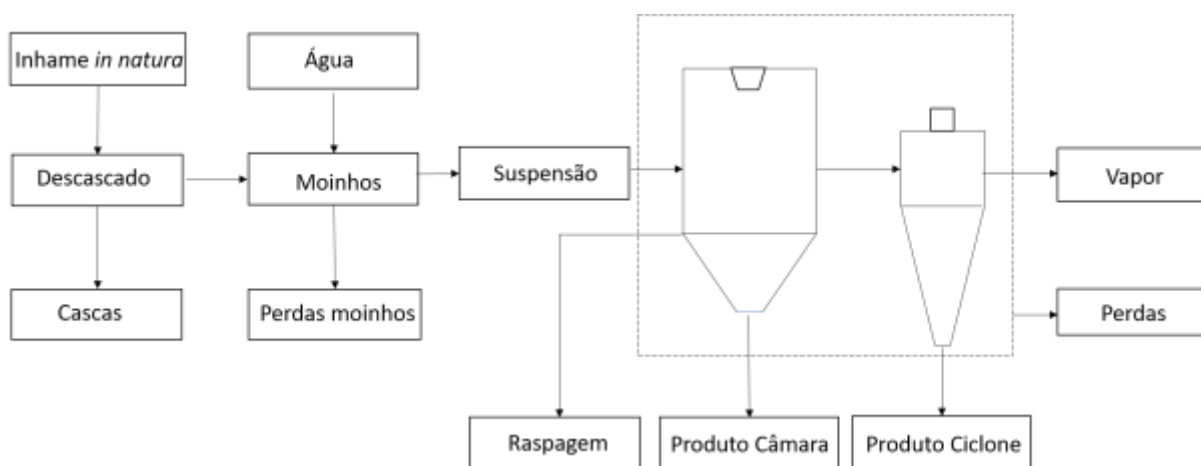
Figura 3 —Preparo de suspensão de inhame com base em massa para secagem em atomizador



Fonte: A autora, 2018.

Como a umidade do produto varia com o processo de secagem, é necessário a adoção de uma base de cálculo em material seco (MS) para os balanços de massa. As expressões de (3) a (11) foram utilizadas para os balanços e estimativas de índices de desempenho do processo, com auxílio do esquema mostrado na **Erro! Autoreferência de indicador não válida..**

Figura 4 — Diagrama do processo com indicação dos itens considerados no balanço de massa



Fonte: A autora, 2018.

$$MS_{inhame} = M_{inhame} \cdot (1 - Umidade_{Inhame}) \quad (3)$$

$$MS_{inhame} = MS_{câmara} + MS_{ciclone} + MS_{raspagem} + MS_{perdas} \quad (4)$$

$$Rend_{processo} = (MS_{câmara} + MS_{ciclone})/MS_{inhame} \quad (5)$$

$$Rend_{secagem} = (MS_{câmara} + MS_{ciclone})/MS_{suspensão} \quad (6)$$

$$Efic_{limpeza} = MS_{descascada}/MS_{inhame} \quad (7)$$

$$Efic_{moagem} = MS_{moinhos}/MS_{inhame} \quad (8)$$

$$Perdas_{processo} = MS_{perdas}/MS_{inhame} \quad (9)$$

$$Perdas_{secagem} = MS_{perdas}/MS_{suspensão} \quad (10)$$

$$Relação\ Finos/Produto = MS_{ciclone}/MS_{câmara} \quad (11)$$

Resultados e Discussão

Os resultados dos ensaios são mostrados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Com relação ao preparo da suspensão de inhame para a secagem por atomização é possível verificar que a etapa de remoção da casca apresentou uma eficiência média de 89,0 % com um coeficiente de variação de 1,5 %, enquanto que a moagem teve uma eficiência média de 97,7 %, com um coeficiente de variação de 0,3 %. Isso indica que as operações foram realizadas de forma padronizada e com elevados índices de eficiência para todos os ensaios.

Tabela 3 — Resultados dos ensaios

Parâmetro	Ensaio							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Eficiência de limpeza (%)	86,3	88,6	88,6	86,3	90,6	90,6	90,6	90,6
Eficiência de moagem (%)	98,1	97,6	97,6	98,1	97,6	97,6	97,6	97,6
Rendimento do processo (%)	53,4	53,3	61,9	51,4	20,7	12,7	32,0	22,5
Perdas no processo (%)	29,3	24,3	13,1	27,6	64,8	73,0	51,9	62,8
Rendimento da secagem (%)	63,2	61,7	71,6	60,8	23,4	14,3	36,3	25,5
Perdas na secagem (%)	34,6	28,1	15,1	32,7	73,3	82,6	58,6	71,0
Relação finos/produto	1,22	0,77	0,88	1,33	0,93	1,33	0,97	0,99
Índice de Hausner, finos	1,68	1,59	1,58	1,66	–	–	–	–
Índice de Hausner, câmara	1,34	1,30	1,44	1,47	–	–	–	–
Índice de Carr, finos	40,3	37,1	36,8	39,8	–	–	–	–
Índice de Carr, câmara	25,3	23,0	30,4	31,8	–	–	–	–

Fonte: A autora, 2018.

Nota: Não foi possível a determinação dos índices de Hausner e Carr para os ensaios de 5 a 8 por causa das quantidades reduzidas de amostras obtidas.

Com relação ao rendimento e perdas no processo, verificou-se que com o disco com canaletas Circulares foram obtidos maiores rendimentos e menores perdas comparado ao disco de canaletas Retangulares. A geometria de um disco é um dos aspectos mais importantes para o desempenho de um secador por atomização e os resultados obtidos com o disco de canaletas retangulares, com relação aos índices de desempenho de processo e de secagem foram muito inferiores aqueles encontrados com o disco de canaletas circulares, indicando que para as condições estudadas, o disco de canaletas retangulares não é uma boa escolha. Dessa forma, a análise que segue é focada somente nos resultados encontrados para os ensaios feitos com o disco de canaletas circulares.

Para o disco de canaletas circulares, os resultados observados para o desempenho do processo e eficiência da secagem apresentaram comportamentos semelhantes. Contudo, de forma específica, o melhor resultado observado para o rendimento da secagem e processo, consequentemente, se deu no ensaio 3, no qual a vazão é de 8 % e a rotação, de 30.000 RPM. Isso pode ser explicado em função do fato de que com menor vazão de alimentação há menor deposição de material na parede da câmara de secagem e com a maior velocidade de rotação, há a produção de gotas com menores diâmetros, o que aumenta a área para a transferência de calor e massa, favorecendo o processo de secagem e, portanto, seu rendimento (FILKOVÁ, HUANG e MUJUMDAR, 2006).

O produto recolhido no ciclone recebe o nome de “finos”, pois o diâmetro dessas partículas é menor que o das recolhidas na câmara de secagem Figura 5 . Visualmente, os finos apresentam melhor aspecto que o produto recolhido na câmara, assim pode ser interessante conduzir o processo no sentido de que sua produção seja favorecida. Como o disco de canaletas Circulares apresentou melhores resultados para o projeto, esse disco foi escolhido para realizar uma análise fatorial.

A análise de fatores mostra que a vazão, em seu valor inferior, favoreceu a formação de finos, enquanto que o efeito da variação da rotação foi praticamente indiferente. Também não foi observado efeito de interação entre vazão e rotação na proporção obtida entre finos e material da câmara de secagem.

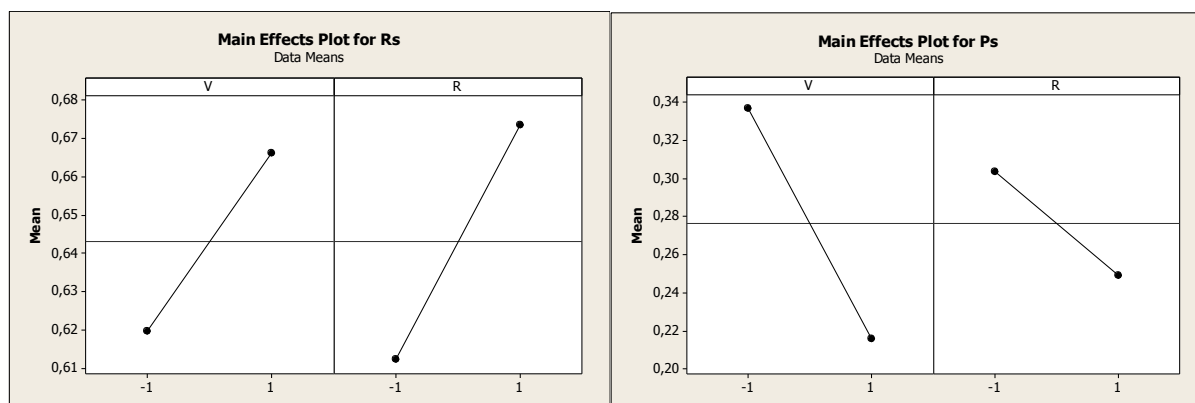
Figura 5 — Farinha de inhame obtida nos ensaios



Fonte: A autora, 2018.

A farinha da esquerda foi recolhida no ciclone (finos) e da direita na câmara.

Figura 6— Diagrama de efeitos principais (main effects plot) para o rendimento e perdas na secagem em função da variação da vazão e da rotação



Fonte: Minitab, 2018.

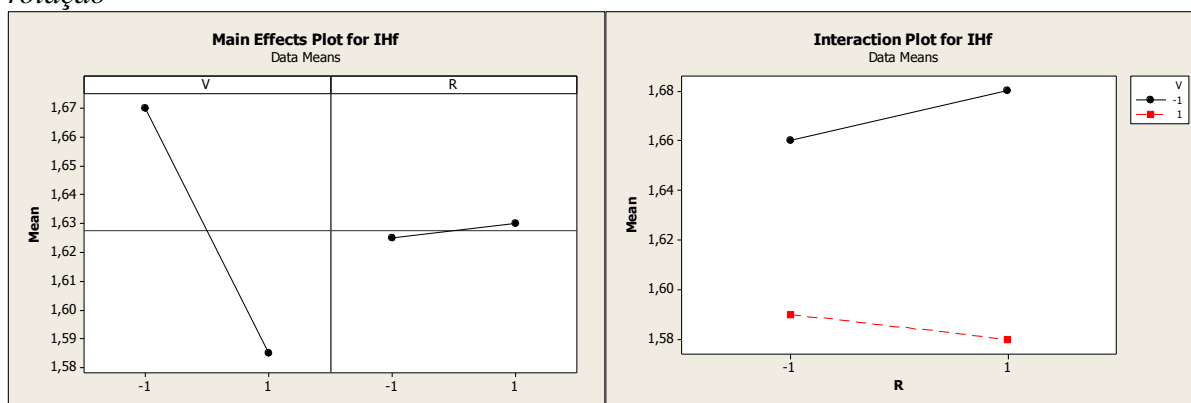
Convenções: V – vazão, R – rotação, Rs – rendimento da secagem, Ps – perdas na secagem. Mean – média, Data means – média dos valores.

O índice de Hausner indica a maior ou menor facilidade com que um pó escoar, sendo os valores numéricos associados a adjetivos indicadores do comportamento em relação à fluidez. Os produtos obtidos, tanto na câmara de secagem quanto no ciclone se caracterizam por apresentarem propriedades coesivas, recebem classificações que variam entre fluidez tolerável, ruim, muito ruim e péssima, à medida que os valores aumentam. O comportamento do índice de Carr ou compressibilidade é semelhante ao do índice de Hausner, sendo apenas outra forma de se caracterizar a fluidez de um sistema particulado. Os valores encontrados para os índices de Hausner e de Carr, tanto para o produto da câmara, quanto o do ciclone, são semelhantes aos observados em farinha (1,46), produzida pela mistura dos produtos da câmara e ciclone por Yashiki e Triboli (2017), e produto comercial (1,45). Observa-se na Figura 7 que o aumento da vazão de alimentação favorece a melhoria da fluidez dos finos, produto obtido no ciclone, contudo, o produto continua apresentando intensa característica coesiva e a variação da rotação apresenta efeito discreto no comportamento desse parâmetro, não havendo interação entre os fatores. O comportamento de pó coesivo também é observado em relação ao produto retirado da câmara de secagem, mas, em média, sua fluidez é melhor que a dos finos, se caracterizando entre tolerável e ruim. No entanto, chama a atenção a existência de uma interação entre os efeitos da vazão e da rotação afetando a fluidez do produto obtido na câmara de secagem. A existência de interações entre variáveis dá uma ideia da complexidade dos

fenômenos existentes no processo e, nesse caso, a melhor condição de fluidez para o produto da câmara é obtida para a condição de vazão em nível superior e rotação em nível inferior (Figura 8).

A melhoria da fluidez da farinha de inhame pode ser obtida pela utilização de produtos auxiliares de secagem. Contudo, essa estratégia, além de agregar novos custos ao processo, modifica o conceito de produto natural e sem aditivos associado à farinha de inhame por grande parte de seu público consumidor.

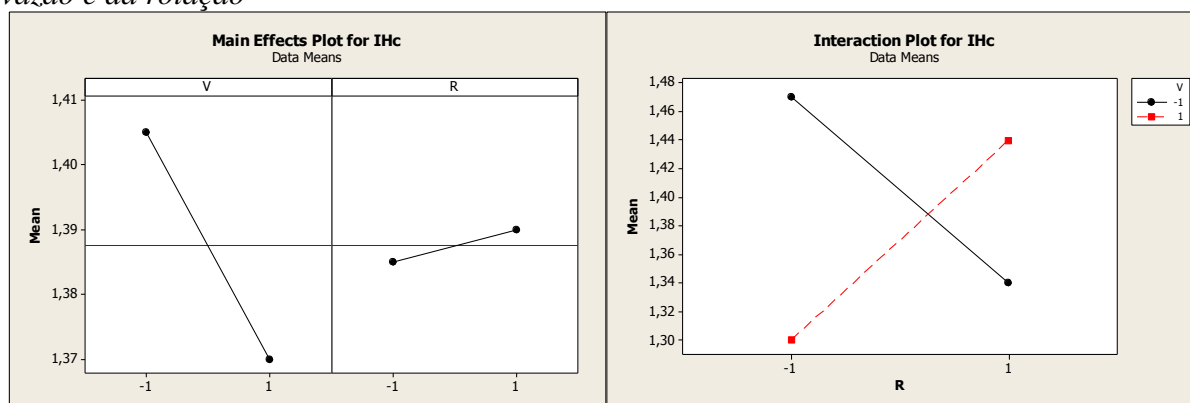
Figura 7 — Diagrama de efeitos principais (main effects plot) e diagrama de interação (interaction plot) para o índice de Hausner dos finos em função da variação da vazão e da rotação



Fonte: Minitab, 2018.

Convenções: V – vazão, R – rotação, IHf – índice de Hausner para os finos. Mean – média, Data means – média dos valores.

Figura 8 — Diagrama de efeitos principais (main effects plot) e diagrama de interação (interaction plot) para o índice de Hausner do produto da câmara em função da variação da vazão e da rotação



Fonte: Minitab, 2018.

Convenções: V – vazão, R – rotação, IHc – índice de Hausner do produto da câmara de secagem, Mean – média, Data means – média dos valores.

Conclusões

O disco de canaletas Circulares resultou em maior rendimento e menor perda, demonstrando ser um disco de ótima geometria para esse processo. Com base nos resultados dos ensaios fica evidente a característica coesiva da farinha de inhame obtida no ciclone (finos) e na câmara; desse modo não há diferença na qualidade do produto em relação à sua fluidez, porém, há em relação ao aspecto visual como cor e textura. O uso de maior vazão de alimentação e maior velocidade de rotação do disco atomizador, resultou em maior produção de finos (Ensaio 4). Já a combinação de menor vazão de alimentação junto com a maior

velocidade, resultou em um rendimento de processo melhor, com menores perdas (Ensaio 3). Sendo assim, dependendo da aplicação e do uso da farinha de inhame, pode ser mais vantajoso ter menor perda de produto no processo e, conseqüentemente, maior rendimento, porém, com produto com aspecto mais escuro e com partículas de diâmetros maiores.

Referências Bibliográficas

- Araújo, A. C. (2010). *Elaboração de pão com farinha de inhame (Dioscorea sp)*. Sociedade de Educação do Vale do Ipojuca - Faculdade do Vale do Ipojuca, Caruaru.
- Filková, I., Huang, L. X., & Mujumdar, A. S. (2006). Industrial spray drying systems. In A. S. Mujumdar, & A. S. Mujumdar (Ed.), *Handbook of Industrial Drying* (3 ed., pp. 215-56). Boca Raton: CRC.
- Santana, J. S. (2014). *Elaboração de biscoitos com farinha de inhame: uma alternativa para celíacos*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Tecnologia de Alimentos, João Pessoa.
- Triboli, E. P. (2014). *Estudo e otimização de processo de secagem de iogurte por atomização com secador em escala piloto*. Universidade de São Paulo - Escola Politécnica, São Paulo.
- USP 37. (2014). Bulk density and tapped density of powders. Em *United States Pharmacopeia* (37 ed.). Rockville, MD, EUA. Acesso em 16 de julho de 2014, disponível em <http://www.uspnf.com/>
- Yashiki, L. G., & Triboli, E. D. (2017). Caracterização da Farinha de Inhame obtida por atomização. *Anais do 9.º Seminário Mauá de Iniciação Científica*, (p. 10). São Caetano do Sul. Acesso em 20 de fev. de 2018, disponível em <https://www.maua.br/files/122017/caracterizacao-farinha-inhame-obtida-por-atomizacao-261721.pdf>