



AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DE UM AGITADOR ELETROMAGNÉTICO NA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE AVEIA EM FLOCOS

M. A. SFREDO¹, R. A. R. TAVARES², G. S. SILVA³, J. R. D. FINZER⁴

^{1,2,3} Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul Campus Erechim,
Curso de Engenharia de Alimentos

⁴Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

RESUMO – *Para a maioria dos alimentos particulados há poucas informações acerca da caracterização granulométrica na literatura especializada, dentre eles a aveia em flocos, o que justifica a realização deste trabalho, cujo objetivo foi avaliar a condição de operação de um agitador eletromagnético para determinar a distribuição granulométrica de aveia em flocos. As amostras de aveia foram peneiradas em peneiras 7; 9; 12; 16; 28; 100 (série Tyler). O tempo de agitação e a massa de amostra foram ajustadas de acordo com o planejamento experimental composto central rotacional, com duas variáveis, dois níveis e quatro pontos centrais. Os resultados da análise granulométrica indicaram que as amostras de aveia em flocos apresentam partículas variando de 0,0735 a 3,0605 mm, com diâmetro médio entre 1,3120 a 1,7010 mm. Os resultados do planejamento experimental mostraram que não houve efeito significativo, com 90% de confiança, demonstrando a grande variabilidade dos dados experimentais, o que impediu a representação por modelo estatístico. Contudo, pela análise dos resultados conclui-se que uma condição experimental adequada é aquela com menores massas de amostra para permitir mais facilmente a passagem das partículas finas e evitar o acúmulo de amostra nas peneiras com maior abertura, diminuindo o erro experimental associado a esse comportamento.*

1. INTRODUÇÃO

A legislação brasileira padroniza o tamanho de partículas para poucos alimentos, como por exemplo, farinha de trigo (BRASIL, 2005), sal (BRASIL, 1975), compostos de ferro de grau alimentício (BRASIL, 2002) para suplementação em farinhas de trigo e milho. Contudo, existem muitos alimentos comercializados que estão na forma particulada e possuem uma distribuição de tamanhos que implica muitas vezes nas características de qualidade no momento do processamento de um produto ou do seu consumo. As indústrias têm como exigir e determinar a granulometria de suas matérias primas, já o consumidor fica à mercê do que lhe é ofertado e acaba identificando suas preferências dentre as opções de marcas de produtos. Um exemplo é a erva-mate moída grossa comercializada para chimarrão, que possui ampla distribuição de tamanhos, com partículas variando entre 2,18 mm e 0,05 mm, conforme determinado por Silva et al. (2017). Nesse produto, a porcentagem de partículas muito finas (retidas nas peneiras 80 e 150 e no fundo) é de 26,72±7,46%



(Sfredo; Silva; Finzer, 2017), ou seja, entre um quinto e um terço de um produto denominado moído grosso apresenta partículas em pó. Muitos outros alimentos particulados apresentam ampla distribuição de tamanhos e não há regulação sobre esse aspecto, apesar da característica granulométrica da matéria-prima processada constituir aspecto importante, como por exemplo, na formulação de massas alimentícias e produtos de panificação, pois uma distribuição adequada de partículas permite maior uniformidade do produto final. A absorção de água é altamente influenciada pela granulometria da matéria-prima, provocando alterações nas características sensoriais como aparência, sabor, textura e o tempo de cozimento das massas alimentícias (Silva et al., 2009). Mikalowski et al. (2014) afirmaram que matérias-primas com o tamanho das partículas variando de forma significativa resultam em um produto final com baixa qualidade.

Várias pesquisas foram analisadas e mostram que a falta de padronização é uma realidade para muitos produtos alimentícios particulados, em especial quando a legislação não define os parâmetros de tamanho para os alimentos, como o é o caso da aveia em flocos. Na produção dos flocos há formação de diversos tamanhos de partículas, resultando em uma distribuição granulométrica, a qual é pouco conhecida na literatura. Assim, objetivou-se identificar as condições de operação do agitador eletromagnético na distribuição granulométrica de aveia em flocos, pelo método do peneiramento, de forma a contribuir com o conhecimento da granulometria desse alimento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos efetuados nessa pesquisa foram realizados no Laboratório de Fenômenos de Transporte/Operações Unitárias da área de Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul Campus Erechim no período de novembro de 2017 a janeiro de 2018. A análise granulométrica foi realizada utilizando-se quatro embalagens de 500 g de aveia em flocos, adquiridas em mercado local. As amostras de aveia foram quarteadas manualmente para obtenção da massa necessária para cada experimento e para determinação do teor de umidade, em balança determinadora de umidade da marca Marte, modelo ID50, com precisão de 0,001 g. Em seguida, foram dispostas em estufa de secagem (Marca LUCADEMA) com circulação de ar, a uma temperatura de $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, por 24 horas. Após esse tempo, foram mantidas em dessecador até a realização dos ensaios, a fim de evitar que a umidade superficial prejudicasse a operação de peneiramento. Em testes preliminares selecionou-se as peneiras padronizadas da série Tyler 7; 9; 12; 16; 28; 100 e mais o fundo.

Os experimentos foram realizados conforme um delineamento composto central rotacional (DCCR), com duas variáveis, dois níveis, duas repetições genuínas e quatro pontos centrais, totalizando 20 ensaios. As variáveis estudadas foram: tempo de agitação, variando de 20 min a 40 min; e massa da amostra, variando de 60 g a 80 g. Os níveis intermediários, $-\alpha$ e $+\alpha$ foram obtidos no software Protimiza Experimental Design. A Tabela 1 apresenta os níveis estudados para cada variável.



Tabela 1 - Níveis estudados no delineamento composto central rotacional (DCCR).

Variáveis codificadas	Variáveis estudadas	
	Tempo de agitação (min)	Massa da amostra (g)
-1	20,00	60,00
0	30,00	70,00
1	40,00	80,00
-1,41	15,86	55,86
1,41	44,14	84,14

Os experimentos foram randomizados e realizados utilizando-se um agitador eletromagnético, da marca BERTEL, configurado para operar na posição 9 do reostato. O tempo de agitação foi determinado em timer digital (marca INCOTERM) e a massa das amostras obtida em balança semianalítica, com precisão de 0,01 g, marca Marte e modelo AD2000. Com os dados de abertura da peneira e massa de aveia em flocos retida obteve-se a distribuição de tamanho (diâmetro médio das partículas, \bar{D}_{pi}), o diâmetro médio de Sauter (\bar{D}_s).

Para a realização da análise estatística no software Protimiza Experimental Design utilizou-se como resposta o diâmetro médio de Sauter, determinando os efeitos principais e a interação das variáveis estudadas na resposta, efetuando-se a análise de variância, o teste de hipótese, a determinação das estimativas por intervalo e a apresentação da curva de superfície de resposta. As hipóteses testadas referem-se à:

- H_0 : os valores de \bar{D}_s para as diferentes condições experimentais são iguais, pois não diferem significativamente entre si, em nível de 90% de confiança.

- H_1 : os valores de \bar{D}_s , para as condições experimentais estudadas, são diferentes, em nível de 90% de confiança.

Os resultados obtidos experimentalmente e os estimados foram comparados entre si para identificar qual o modelo matemático que melhor prevê o comportamento das partículas de aveia em flocos tradicional, em função dos parâmetros operacionais do agitador eletromagnético.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de umidade médio das amostras de aveia em flocos utilizadas para a análise granulométrica foi de $4,63\% \pm 0,37\%$. A Figura 1 mostra as partículas de aveia em flocos distribuídas nas peneiras após ensaio de peneiramento, para o Experimento 3, que possui tempo de agitação de 20 min e massa da amostra de 80 g. Pela imagem fica evidente a maior concentração de partículas nas peneiras com maior abertura.



Figura 1 – Distribuição das partículas de aveia em flocos nas peneiras e no fundo para o Experimento 3 (20 minutos de agitação e massa da amostra de 80 g).

Os gráficos da Figura 2 indicam que o comportamento da distribuição de tamanhos das amostras de aveia em flocos tradicional, para os diferentes experimentos são bastante semelhantes, mesmo em condições distintas de operação do agitador eletromagnético. Na Figura 2 observa-se que a aveia em flocos apresenta uma distribuição gaussiana assimétrica, deslocada para a direita (tamanhos de partículas maiores), com ampla distribuição de tamanhos (partículas variando de 0,0735 a 3,0605 mm, com \bar{D}_5 entre 1,3120 a 1,7010 mm). Os experimentos com quantidade menor de amostra adicionada nas peneiras apresentaram um comportamento mais deslocado para a esquerda, indicando maior presença de partículas com tamanhos menores. Para a segunda réplica o único experimento que evidenciou o mesmo comportamento foi o 5, com menor massa (55,86 g) e tempo de agitação de 30 min. Esse comportamento mostra que há influências dos parâmetros de operação do agitador eletromagnético nos resultados da análise granulométrica da aveia em flocos, como pode ser observado também na Figura 1, com o acúmulo de partículas na peneira com maior abertura. Essa evidência pode indicar a contaminação por finos nas peneiras com maior abertura, em função das partículas grossas impedirem a passagem das finas para as peneiras subsequentes, sendo fonte de erro experimental.

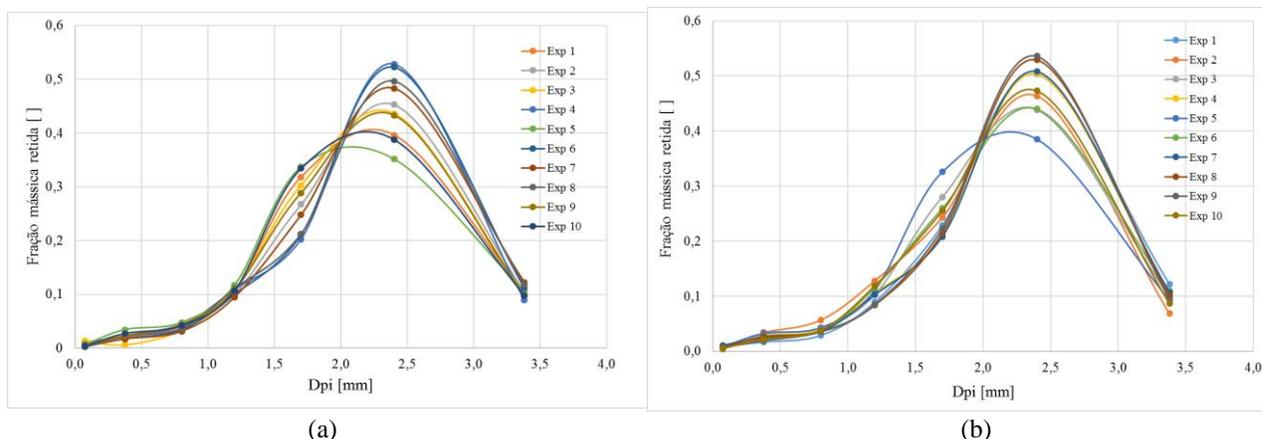


Figura 2 – Curvas de distribuição de frequência das partículas de flocos de aveia tradicional: primeira réplica dos experimentos (a) e segunda réplica (b).

Para avaliar melhor a influência, os dados experimentais foram submetidos a tratamento estatístico indicado na Tabela 2 para a análise de variância do planejamento experimental e na Tabela 3 para as estimativas por ponto e os testes de hipótese para os efeitos.



Tabela 2 – Análise de variância (ANOVA).

Fonte de variância	SQ	GL	QM	F _{calc}	p-valor
Regressão	0,0	3	0	2,2	0,12526
Resíduos	0,1	16	0		
Falta de ajuste	0,0	5	0	0,6	0,70502
Erro puro	0,1	11	0		
Total	0,2	19			

Pelos dados da Tabela 2 é possível verificar que as variáveis estudadas não apresentam efeito significativo, para 90% de confiança, uma vez que o valor p é maior do que 0,10. Nesse sentido, pode-se aceitar a hipótese da nulidade (H_0), visto que os valores de \bar{D}_s não diferem significativamente entre si, para as condições experimentais estudadas. Pela análise dos dados da Tabela 3 pode-se observar que a massa da amostra e o tempo de agitação aumentam o valor de \bar{D}_s , quando alterados do nível menor para o maior, com maior influência da massa da amostra, na forma linear, confirmando o que foi observado na Figura 2 e nos experimentos.

Tabela 3 – Estimativas por ponto e testes de hipótese para os efeitos estudados.

Fatores	Efeitos	Erro padrão	t-calc	p-valor
Média	1,51	0,03	53,44	0,0000
Tempo	0,02	0,02	1,10	0,2893
Massa	0,05	0,02	2,14	0,0479
Massa ²	-0,02	0,03	-0,93	0,3641

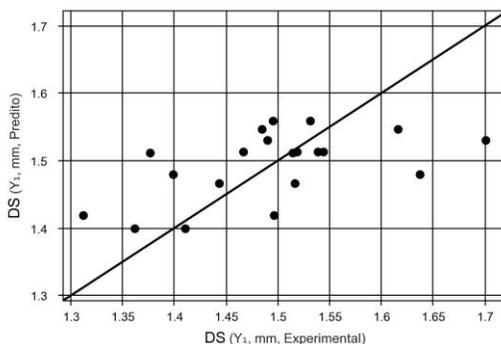


Figura 3 – Distribuição dos valores experimentais versus previstos.

Pela Figura 3, observa-se que os efeitos não devem ser utilizados no modelo estatístico para prever os dados experimentais, pois o modelo apresentou grande falta de ajuste, indicando falta de repetibilidade do processo. Os dados experimentais apresentam uma grande variabilidade, provavelmente pela heterogeneidade das amostras de aveia em flocos, mesmo realizando o quartearamento. Uma solução para a diminuição dessa variabilidade é a realização de mais réplicas dos experimentos, na tentativa de diminuir o erro experimental. Apesar das condições de operação do agitador não apresentarem diferença significativa na determinação do tamanho das partículas, recomenda-se a condição com menor massa, uma vez que para alguns experimentos, com maior massa de amostra, houve retenção de partículas finas nas peneiras com maior abertura.



5. CONCLUSÃO

Os resultados da análise granulométrica indicaram que as amostras de aveia em flocos tradicional avaliadas possuem distribuição de tamanho deslocada para a esquerda na curva de frequência, com partículas variando de 0,0735 a 3,0605 mm. O diâmetro médio de Sauter variou entre 1,3120 e 1,7010 mm. Os resultados do planejamento experimental indicaram que não houve efeito significativo das variáveis, nos níveis estudados, com 90% de confiança, demonstrando ainda uma grande variabilidade dos dados experimentais, o que impediu a representação por modelo estatístico. Contudo, pela observação experimental e análise dos resultados conclui-se que uma condição experimental adequada é aquela com menores massas de amostra, ou seja, valores próximos a 60 g, que permite a passagem das partículas menores e evita acúmulo de amostra nas peneiras com maior abertura, diminuindo o erro experimental associado a esse comportamento.

6. REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8, de 02 de junho de 2005. Aprova o 'Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo'. **Diário Oficial da União**, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Legislação. Decreto nº 75.697, de 6 de maio de 1975. Aprova os 'Padrões de Identidade e Qualidade para o Sal Destinado ao Consumo Humano'. **Diário Oficial da União**, 1975.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Legislação. Resolução RDC nº 344, de 13 de dezembro de 2002. Aprova o 'Regulamento Técnico para Fortificação das Farinhas de Trigo e das Farinhas de Milho com Ferro e Ácido Fólico'. **Diário Oficial da União**, 2002.

MIKALOUSKI, F. B. S.; MONTEIRO, A. R. G.; MARQUES, D. R.; MONTEIRO, C. C. F.; BENOSSI, L. Influência da granulometria da matéria-prima na expansão de extrusados de milho. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 28-32, jan./mar. 2014.

SFREDO, M. A.; SILVA, G. S.; FINZER, J. R. D. Avaliação das condições operacionais do peneiramento no estudo da determinação do tamanho de partículas de erva mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) moída grossa. In: **Anais XXXVIII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados - ENEMP 2017**, Maringá/PR, 22 a 25 de outubro de 2017. p. 1-11.

SILVA, R. F., ASCHERI, J. L. R.; PEREIRA, R. G. F. A.; MODESTA, R. C. D. Aceitabilidade de biscoitos e bolos à base de arroz com café extrusados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, pp. 815-819, out.-dez. 2009.

SILVA, G. S.; TAMAGNO, I. T.; MARINELLO, S.; FINZER, J. R. D.; SFREDO, M. A. Análise granulométrica de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) moída grossa. In: **Anais do VII Congresso Sul-Americano da Erva-Mate; III Simpósio Internacional de Erva-Mate e Saúde; I Feira de Tecnologia na Indústria Ervateira**, Erechim/RS, 16 a 18 de maio de 2017. p. 1-6.