

ESTUDO ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DO MÉTODO CFD DA DISTRIBUIÇÃO DO FLUXO DE AR DE SECAGEM NA MASSA DE GRÃOS EM SECADORES DE FLUXO MISTO

Marcelo Roberto Jungbeck
Carlos Eduardo Guex Falcão

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Prédio 8 - INPE - Sala 2057
marcelo.jungbeck@acad.ufsm.br, carlos.falcao@ufsm.br

Resumo. Realizado estudo numérico, através da Dinâmica dos Flúidos Computacional (CFD), de um protótipo de secador, com torre de secagem de dutos variáveis. O modelo foi validado através de comparação com resultados obtidos em estudos prévio. Foi obtida distribuição de velocidade e pressão ao longo da seção do meio poroso e, adicionalmente, se concluiu que para essa aplicação é válido a coleta de dados a partir de um conjunto de pontos (pontos de medição).

Palavras chave: CFD. Secadores. Grãos. Uniformidade.

1. INTRODUÇÃO

Secadores de grãos, representado na figura 1, são equipamentos essenciais em unidades de armazenagens, uma vez que sem eles as unidades se tornam inviáveis para a armazenagem de grãos que sejam recebidos com teor de umidade elevado.



Figura 1. Secador de grãos de fluxo misto

O armazenamento de produtos agrícolas com umidade elevada implica na perda de qualidade do produto, podendo gerar crescimento microbiano, infestação de insetos, aquecimento, perda de valor nutritivo, inclusive podendo tornar o produto impróprio para consumo animal e humano. Por outro lado, a secagem em excesso (sobressecagem) também não é desejada, visto que pode gerar danos aos grãos e perda de peso, resultando assim em perdas financeiras.

Desta forma, os secadores de grãos são equipamentos de extrema importância, uma vez que através de uma secagem correta e uniforme, condicionam o produto para uma armazenagem segura. A uniformidade de secagem também é importante no aproveitamento energético. Ao conferirmos uma maior uniformidade, evitamos regiões de

sobressecagem, que, em outras palavras, são regiões onde dispndemos energia acima da que efetivamente é necessária.

Para tanto, analisaremos a distribuição tridimensional do fluxo de ar na massa porosa, formada pelos grãos, contida na torre de secagem de um de secador de fluxo misto.

2. VALIDAÇÃO MODELO CFD

Para a análise numérica do fluxo do ar no interior da torre de secagem, foi elaborado um modelo matemático usando CFD. As equações diferenciais parciais governantes para massa, momentum e energia foram discretizadas em uma malha 3D. Para o cálculo da perda de carga, decorrente da passagem de ar através do meio poroso, utilizou-se a equação 1, denominada equação de Ergun:

$$\frac{\Delta P}{L} g = 150 \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\mu U_m}{d_p^2} + 1,75 \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\rho U_m}{d_p} \quad (1)$$

Onde:

- ε : porosidade;
- μ : viscosidade dinâmica;
- U_m : velocidade média do ar;
- ρ : massa específica media ar;
- d_p : diâmetro da partícula;
- ΔP : perda de carga;
- L : espessura da camada;
- g : gravidade.

Para a validação do modelo, foi utilizado resultados obtidos em estudo recente (H. Scaar et al., 2016), no qual

foram realizados estudos práticos, investigando o efeito de diferentes meios porosos e arranjos de dutos na distribuição do fluxo do ar. Estes mesmos resultados foram utilizados para a validação de modelos numéricos, baseados em CFD (Computational Fluid Dynamics), desenvolvidos em trabalhos prévios.

Tabela 1. Comparativo entre resultados de H. Scaar et al, 2015 e simulação

| Pontos de medição | Dados artigos | | | | Simulação | | | |
|-------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---|---------------------|---------------------------|---|------|
| | ΔP Exp. [Pa] | Erro de medição [%] | ΔP Sim. [Pa] | RE = $\frac{ \Delta p_{sim} - \Delta p_{exp} }{\Delta p_{sim}}$ | ΔP Sim [Pa] | ΔP Exp - Sim [Pa] | RE = $\frac{ \Delta p_{sim} - \Delta p_{exp} }{\Delta p_{sim}}$ | |
| 1 | 10,3 | 12,1 | 9,9 | 3,9% | 10,2 | 0,10 | 1,0% | |
| 2 | 13,8 | 9,1 | 14,6 | 5,8% | 14,3 | -0,52 | 3,8% | |
| 3 | 17 | 7,4 | 17 | 0,0% | 17,0 | 0,00 | 0,0% | |
| 4 | 18,9 | 6,6 | 18,7 | 1,1% | 18,9 | -0,02 | 0,1% | |
| 5 | 21,5 | 5,8 | 19,8 | 7,9% | 20,2 | 1,27 | 5,9% | |
| 6 | 9,9 | 12,6 | 9,9 | 0,0% | 9,9 | -0,03 | 0,3% | |
| 7 | 13,9 | 9 | 14,9 | 7,2% | 14,1 | -0,16 | 1,2% | |
| 8 | 18 | 6,9 | 17,4 | 3,3% | 16,8 | 1,23 | 6,9% | |
| 9 | 19,7 | 6,3 | 19,2 | 2,5% | 18,7 | 0,98 | 5,0% | |
| | | | Média RE: | 3,5% | | | Média RE: | 2,7% |

A tabela 1 traz o comparativo entre os resultados trazidos pelo artigo de referência e os resultados obtidos através do modelo desenvolvido no presente trabalho. Por intermédio deste quadro, podemos identificar uma boa concordância entre os resultados da simulação e os resultados dos experimentos. Destaca-se também que os erros encontrados no comparativo “simulação x experimentos” foram menores que os obtidos nas simulações realizadas pelos pesquisadores. Enquanto os pesquisadores obtiveram um erro máximo de 7,9% e médio de 3,5%, na presente validação se obteve respectivamente 6,9% e 2,7%.

A malha resultante da presente validação é hexaédrica de dimensões de 5mm, com três camadas de prismas de borda (Prisma Layers) totalizando uma espessura de 1,0mm.

3. DISTRIBUIÇÃO DO FLUXO DO AR

Para simular a distribuição do fluxo de ar foi utilizado o modelo de secador representado na figura 3. Para reduzir o tempo de processamento, foi simulado apenas a metade do secador, através do emprego de um plano de simetria ao longo do eixo central do secador, conforme ilustrado na figura 3. Pôr o secador efetivamente ser simétrico em relação a este plano, essa consideração não implica em alterações sobre o resultado da simulação.

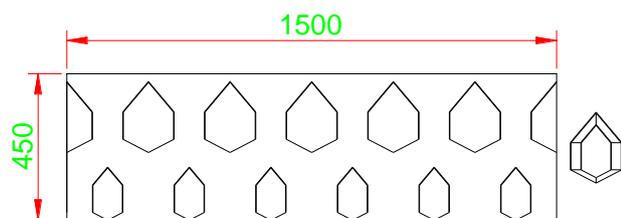


Figura 2. Dutos com inclinação de 50 graus e seção variada, com redução de 50% da seção transversal do duto

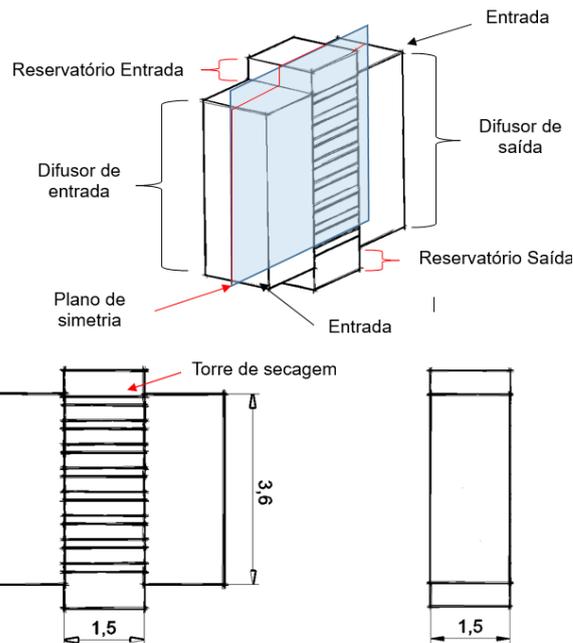


Figura 3. Modelo de secador simulado

A figura 2 traz uma representação esquemática de uma seção da torre de secagem. Trata-se de uma torre com dutos de seção variada, que possuem uma redução linear de sua seção transversal de 50%, entre o início do duto e seu final. Para a simulação foi considerado para o meio poroso o produto trigo (dados provenientes do artigo referência) e ar a temperatura ambiente. Os parâmetros de entrada estão relacionados na tabela 2.

Tabela 2. Parâmetro de entrada

| Parâmetro | Symbolo | Unidade | Unidade |
|------------------------|---------------|----------|---------|
| Diâmetro da Partícula | dp | 4,2 | mm |
| Ângulo de Repouso | α | 27,5 | ° |
| Porosidade | ε | 0,39 | - |
| Temperatura Ar Entrada | t_{in} | 20 | °C |
| Umidade Ar Saída | RH | 60 | % |
| Pressão Ambiente | p | 101325 | Pa |
| Massa Específica do Ar | ρ | 1,198 | kg/m³ |
| Viscosidade Dinâmica | μ | 1,82E-05 | Pa.s |

Para a obtenção da distribuição da velocidade no interior da massa porosa optou-se pela configuração mostrada na figura 4. Tratam-se de 15 planos de inspeção dispostos a 100mm um do outro no sentido da profundidade do secador. Cada plano é composto por uma grade de pontos de medição, equidistantemente espaçados em 10mm, tanto na vertical como na horizontal.

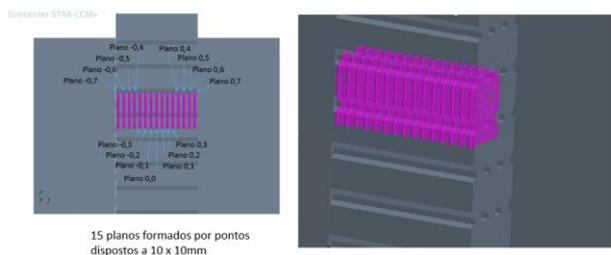


Figura 4. Distribuição dos planos/pontos de medição

A partir desses planos conseguimos os valores de pressão e velocidade para cada ponto de medição, os quais podem ser representados conforme gráfico da figura 5, que representa os valores obtidos para velocidade no plano central da coluna de secagem.

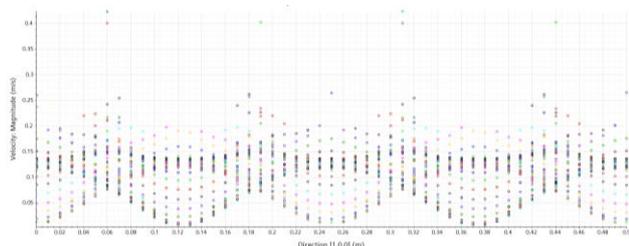


Figura 5. Velocidade medidas no plano central

Os dados extraídos foram tabulados e a partir deles foram plotados os gráficos das figuras 6 (a) e (b), que representam a distribuição no valor médio, máximo e mínimo ao longo dos 15 planos, para velocidade e pressão respectivamente.

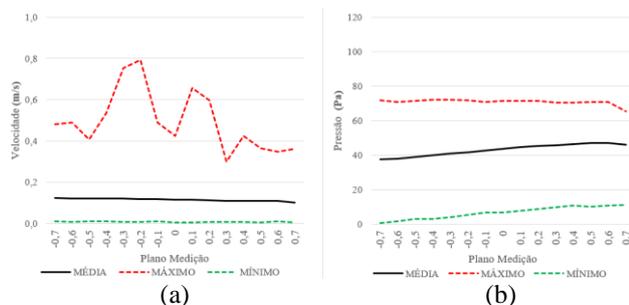


Figura 6. Distribuição dos valores medidos ao longo da profundidade do secador: (a) velocidade e (b) pressão

Para validar a metodologia de obtenção de dados por pontos, optou-se por comparar a média obtida por este método com a informação extraída diretamente do Star CCM+. Para isso foi escolhido o plano central. Na figura 7 temos a representação da distribuição da pressão e da velocidade no plano de interesse.

Como podemos identificar na tabela 5, há uma boa concordância entre as médias obtida a partir dos pontos de medição e a média obtida diretamente do Star CCM+,

através do relatório “Surface Avarege”, ficando o erro na ordem de 1,11% para a velocidade e 0,14 para a pressão.

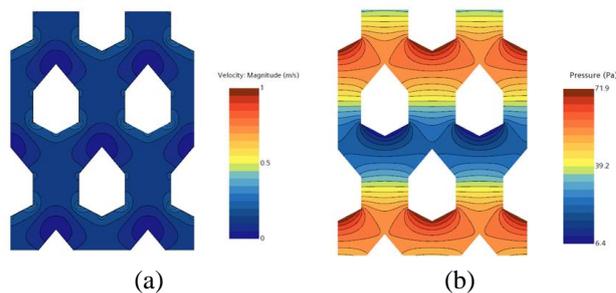


Figura 7. Distribuição da velocidade (a) e pressão (b) no plano central do secador – Imagem gerada no Star CCM+

Tabela 2. Comparativo entre metodologias

| | Pontos | Surface Avarege | Erro |
|------------------|---------|-----------------|-------|
| Velocidade (m/s) | 0,1154 | 0,1167 | 1,11% |
| Pressão (Pa) | 43,6847 | 43,625 | 0,14% |

Esta constatação é importante, uma vez que possibilita o uso de ferramentas estatísticas para avaliar a uniformidade do fluxo de ar na massa porosa formada pelos grãos contidos no torre de secagem.

4. REFERÊNCIAS

- BRUCE, D. M.. Simulation of multiple-bed concurrent-, counter-, and mixed-flow grain dryers. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 30(4), p 361-372, 1984.
- CAO, C. W.; YANG, D. Y.; LIU, X. D.; LIU, Q.. Research on Modeling and Simulation of Mixed Flow Grain Dryer. **Drying Technology**, 25(4), p 681-687, 2007.
- CENKOWSKI, S.; MIKETINAC, M. J.; KELM, A. W.. Airflow patterns in a mixed-flow dryer. **Acta Horticulture**, 32(1), p 85-90, 1990.
- JAMALEDDINE, Tarek J.; RAY, Madhumita B.. Application of Computational Fluid Dynamics for Simulation of Drying Processes: A Review. **Drying Technology**, 28, p 120–154, 2010.
- SCAAR, H.; FRANKE, G.; WEIGLER, M.; DELELE, M.; MELLMANN, J.. Experimental and Numerical Study of the Airflow Distribution during Mixed-Flow Grain Drying. **Drying Technology**, 34, p 595–607, 2016.
- SCAAR, H.; FRANKE, G.; WEIGLER, M.; MELLMANN, J.. Numerical simulation of airflow distribution in mixed-flow dryer. **Journal of Canadian Agricultural Engineering**, p 113–118, 2013.