



# ESTUDO VIA CFD DA SEGREGAÇÃO DE PARTÍCULAS DE DIFERENTES DENSIDADES EM UM LEITO DE JORRO

G. H. S. PAIVA<sup>1</sup>, M. B. F. SILVA<sup>1</sup> e I. C. BICALHO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Lavras, Engenharia Química  
E-mail para contato: marcusbfbs@gmail.com

**RESUMO** – O leito de jorro tem sido estudado em diversas aplicações, tais como secagem de materiais, granulação e recobrimento de partículas, pirólise, dentre outros. Isto se deve ao fato do equipamento fornecer altas taxas de circulação de partículas juntamente com um excelente contato fluido-partícula, o que favorece a obtenção de elevados coeficientes de transferência calor e massa. O conhecimento da fluidodinâmica do equipamento é de suma importância para melhorar o seu desempenho, adaptá-lo para novas aplicações, bem como entender suas limitações. As técnicas de Fluidodinâmica Computacional (CFD) consistem na solução numérica das equações de conservação (massa, momentum, energia) e permitem obter maiores detalhes da fluidodinâmica de diversos equipamentos. Este trabalho tem como objetivo utilizar técnicas de CFD para simular o comportamento fluidodinâmico (perfis de velocidade e porosidade) e estimar a queda de pressão em um leito de jorro operando com mistura de partículas. Paralelamente, foi avaliada a capacidade de predição da ferramenta CFD, através da comparação dos resultados simulados com dados experimentais reportados na literatura.

## 1. INTRODUÇÃO

O leito de jorro possui aplicação ligada a processos que requerem um contato fluido partícula eficiente, tais como processos de secagem (Brito *et al.*, 2015; Delmiro *et al.*, 2015), recobrimento de partículas (Almeida e Rocha, 2008; Westphalen *et al.*, 2015) e pirólise (Covre *et al.*, 2014; Ferreira *et al.*, 2017). A dinâmica das partículas presentes no leito depende das propriedades do sistema fluido-partícula, das características do escoamento do fluido e também da geometria do leito, como o bocal de alimentação e a angulação da parte cônica.

As técnicas de CFD (*Computational Fluid Dynamics*) utilizam métodos numéricos com o auxílio computacional para obter a solução aproximada das equações de conservação de massa, energia e momento. O estudo da fluidodinâmica de um leito de jorro utilizando CFD permite descrever a distribuição de velocidade de partículas e do fluido, perfil de porosidade e queda de pressão do leito (Duarte *et al.*, 2005; Santos, 2008; He *et al.*, 1994). De modo geral, esses estudos mostram que a ferramenta cumpre a finalidade de prever os fenômenos reais que ocorrem no leito, podendo complementar os estudos feitos experimentalmente. Dito isto, objetivou-se neste estudo simular um leito de jorro operando com mistura de partículas, baseado em estudos experimentais realizados por Campos *et al.* (2011).



## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo de caso de um leito de jorro operando com mistura de partículas, foi selecionado o trabalho de Campos *et al.* (2011). Neste caso, o leito usado era convencional cônico-cilíndrico (diâmetro da coluna de 0,21 m; diâmetro da entrada de 0,035 m; ângulo do cone 60° e altura do leito de 0,85 m) e a mistura multifásica foi composta por esferas de polietileno e de vidro.

As esferas de vidro possuíam diâmetro de 0,004 m e densidade de 2480 kg/m<sup>3</sup>. As partículas de polietileno apresentavam diâmetro de 0,004 m e densidade 877,5 kg/m<sup>3</sup>. Foram reproduzidas nas simulações a seguinte proporção de mistura, em frações mássicas: 25% de esferas de polietileno e 75% de esferas de vidro. As vazões de ar na entrada simuladas foram de 20 e 40 m<sup>3</sup>/h.

Para realizar as simulações foi utilizado o software ANSYS Fluent<sup>®</sup> R19.0 Academic. As malhas utilizadas foram tridimensionais (3D) e hexaédricas. As simulações foram conduzidas em regime transiente utilizando o modelo euleriano multifásico. Foi utilizado o algoritmo *Phase Coupled SIMPLE* para o acoplamento pressão-velocidade, o modelo de Gidaspow para o arraste, Syamlal-O'Brien para viscosidade granular e Lun-et-al para a pressão de sólidos. Como estratégia de discretização das componentes da equação de movimento optou-se pela escolha de esquemas de interpolação do tipo UPWIND de primeira ordem. Para os cálculos, o critério de convergência adotado para os resíduos foi de no máximo 1x10<sup>-3</sup> e o time step de 1x10<sup>-4</sup>. Foram definidos 15000 time-steps o que correspondeu a um tempo de 15 segundos de simulação. As simulações foram feitas em um notebook DELL<sup>®</sup>, com um processador INTEL<sup>®</sup> Core™ i5-2430M com 4 núcleos e 6 gigabytes de memória RAM.

Foi realizado um teste de independência de malha, com cinco diferentes densidades de malhas (162 mil, 216 mil, 243 mil, 302,4 e 348 mil células), para se averiguar a influência do número de células nos resultados simulados. Para este teste utilizou-se somente ar que era alimentado na entrada do leito no valor de 30 m/s.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o teste de independência de malha, foram observados os resultados de queda de pressão no leito, Figura 1. As quedas de pressão simuladas foram de -184,83 Pa, -141,16 Pa, -130,09 Pa, -120,44 Pa e -115,02 Pa para as malhas de 162 mil, 216 mil, 243 mil, 302,4 e 348 mil células, respectivamente. Os resultados indicam uma tendência de estabilização da queda de pressão com o aumento do número de células, sendo que a diferença entre os valores fornecidos pelas malhas 4 e 5 situa-se abaixo de 5%. Deste modo, a malha 4 (302,4 mil células) foi selecionada para realizar as simulações por requerer um menor esforço computacional.

Utilizando a malha de 302,4 mil células, foram feitas as simulações e obtidos os perfis de contorno de fração de sólidos num plano no interior do leito, e comparados com a reprodução do trabalho de Campos *et al.* (2011). Também foi feita a comparação dos

resultados experimentais de queda de pressão com base na entrada da alimentação, com os obtidos na simulação.

Na Figura 2 é representada a relação entre a curva característica do leito de jorro e os eventos visuais que ocorrem durante o jorro, obtido de Campos *et al.* (2011). As Figuras 3 e 4 mostram o perfil de fração de sólidos simulados para as esferas de polietileno e esferas de vidro obtidos para as vazões de ar na entrada de 20 e 40 m<sup>3</sup>/h, respectivamente. Nestas figuras também é mostrado o perfil experimental obtido para permitir comparações.

Figura 1 – Teste de malha.

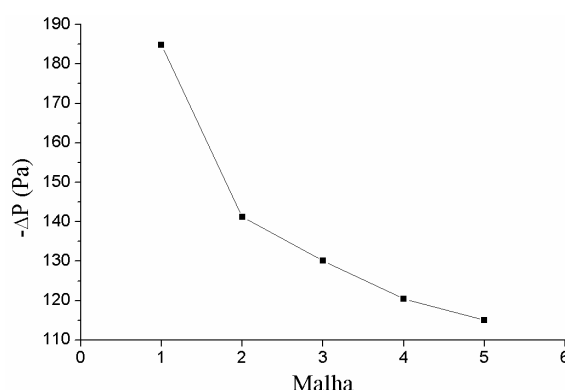
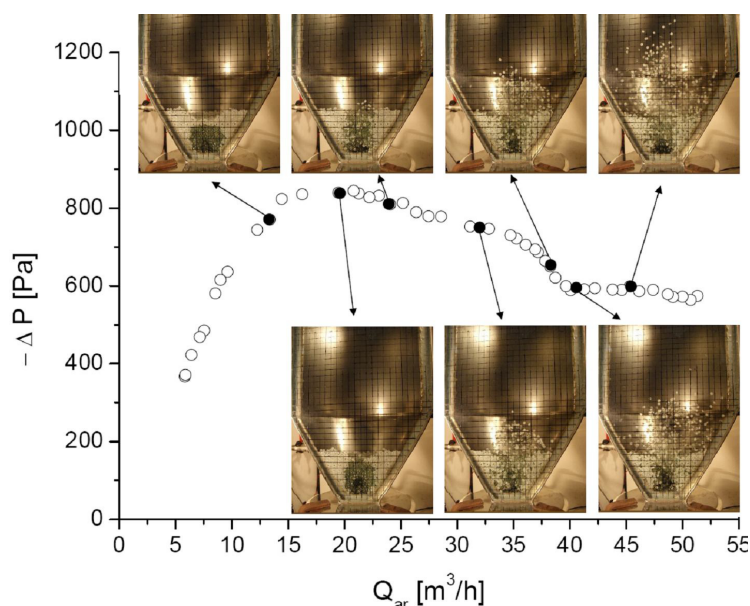


Figura 2 – Curva característica do leito de jorro e imagens dos perfis (Campos *et al.*, 2011).



Pode-se afirmar que de maneira geral as simulações conseguiram reproduzir de forma razoável o comportamento experimental das partículas, como pode ser observado nos perfis de fração de sólidos mostrados nas Figuras 3 e 4. Para as esferas de vidro e partículas de polietileno de mesmo tamanho a diferença na massa específica foi o fator que levou a uma segregação no leito, onde as partículas mais pesadas (esferas de vidro) situaram-se majoritariamente no fundo do leito.

Figura 3 – Perfil de fração de sólidos simulados para a vazão de 20 m<sup>3</sup>/h.

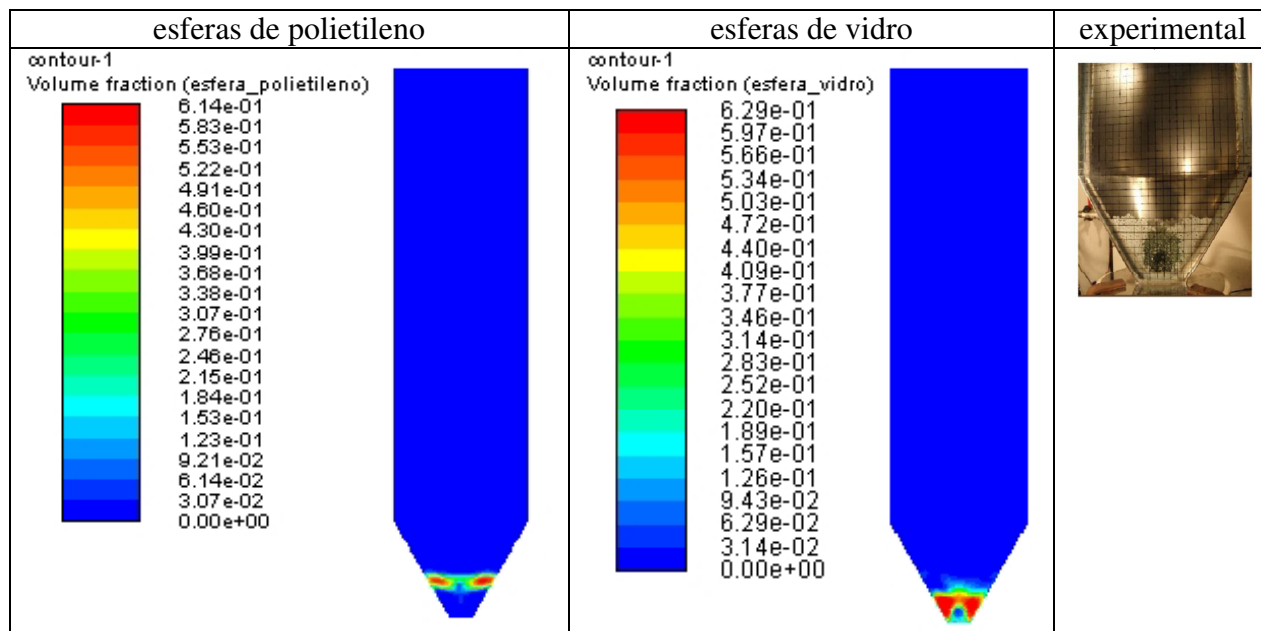
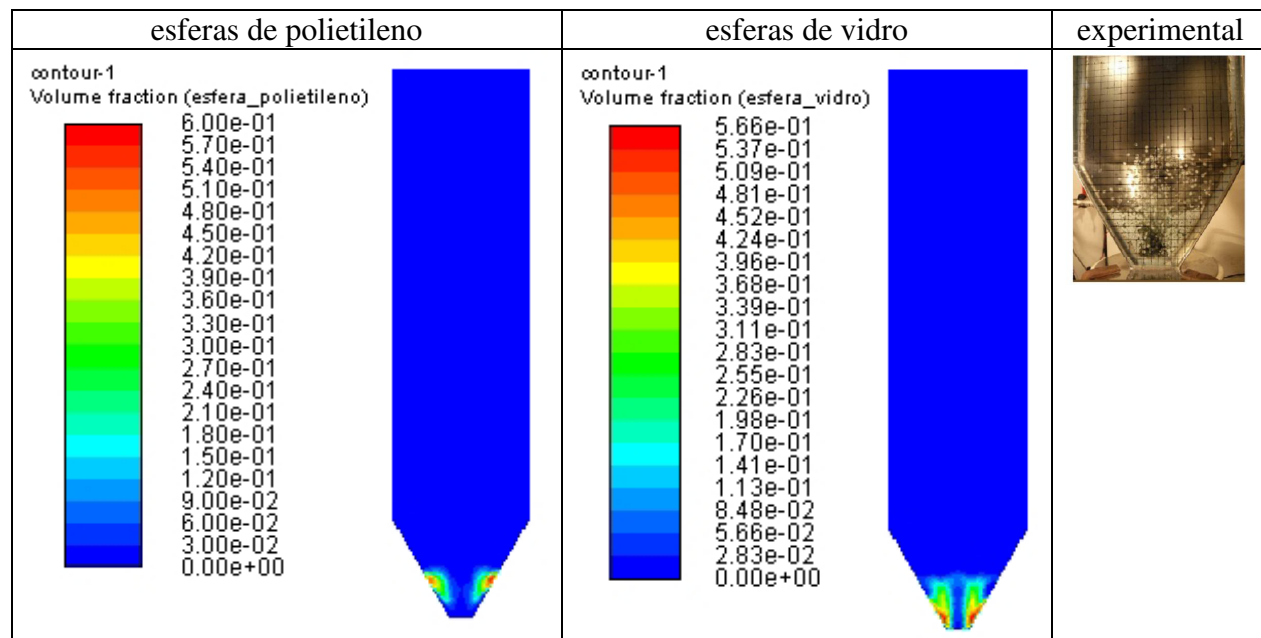


Figura 4 – Perfil de fração de sólidos simulados para a vazão de 40 m<sup>3</sup>/h.



Na Tabela 1 podem ser observados os valores simulados de queda de pressão na base do leito e os valores experimentais obtidos por Campos *et al.* (2011).



Tabela 1 – Queda de pressão simulada no leito e valor experimental.

| Vazão (m <sup>3</sup> /h) | $\Delta P$ simulada (Pa) | $\Delta P$ experimental (Pa) | Erro (%) |
|---------------------------|--------------------------|------------------------------|----------|
| 20                        | 661,63                   | 830                          | 20,29    |
| 40                        | 528,77                   | 600                          | 11,87    |

## 4. CONCLUSÕES

As simulações computacionais via CFD se mostraram capazes de representar a fluidodinâmica e distribuição dos sólidos no interior do leito, sendo possível a visualização do fenômeno de segregação de partículas de diferentes massas específicas. As quedas de pressão simuladas desviaram no máximo em torno de 20% do valor experimental, esses desvios são atribuídos a fatores como grau de refinamento da malha e critério de resíduos adotado.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. e ROCHA, S. C. S.. Eficiência do processo de recobrimento de sementes de brócolos recobertas com polímero em leito de jorro. *Eng. Agríc.* [online]. v. 28, n. 2, p. 305-314, 2008.
- BRITO, R. C.; BATISTA, J. N. M.; PÁDUA, T.; FREIRE, J. T.; BÉTTEGA, R.. Estudo da secagem de sementes de sorgo em leito de jorro. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ 2016.
- CAMPOS, A. V. P.; VIEIRA, B. C. N.; FRANCISQUETTI, M. C. C.; SANTANA, R.C.; BARROZO, M.A.S.. Fluidodinâmica de um leito de jorro operando com misturas de partículas de diferentes densidades. XVI Jornada em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, 2011.
- COVRE, V. R.; MELO, J. L. Z; BACELOS, M. S. Leito de jorro cônico composto de mistura de partículas de areia e compósito AL/PEBD. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, v. 1, n. 2, p. 5799-5806, 2015.
- DELMIRO, T. M.; CARLOS, G. F.; PONTES JÚNIOR, S. M.. Secagem de misturas de açaí e banana verde em leito de jorro. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ 2016.
- DUARTE, C. R.; MURATA, V. V.; BARROZO, M. A. S. A study of the fluid dynamics of the spouted bed using CFD. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 22, n. 2, p. 263-270, 2005.
- FERREIRA, C. G.; SANTOS, F. B.; BARCELOS, K. M.; RIBEIRO, D. C.; LIRA, T. S.. Estudo da fluidodinâmica de um leito de jorro aplicado a uma mistura de casca de coco e areia via análise experimental e simulação por CFD. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, v. 1, n. 4, p. 2446-8711, 2017.



CONGRESSO BRASILEIRO  
DE ENGENHARIA QUÍMICA EM  
INICIAÇÃO CIENTÍFICA

21-24 Julho de 2019  
Uberlândia/MG



HE, Y.□L.; LIM, C. J.; GRACE, J. R.; ZHU, J.□X.; QZN, S.□Z.. Measurements of voidage profiles in spouted beds. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, v. 72, n. 2, p. 229-234, 1994.

SANTOS, K. G.. Estudo da fluidodinâmica do leito de jorro por CFD com malhas tridimensionais. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, 2008.

WESTPHALEN, G. F. DALLA NORA, F.; ZORZI, B.; ECHEVARRIA, E.; da COSTA, T. P.; ROSA, G. S.. Estudo da influência das condições operacionais na eficiência do recobrimento de ureia em leito de jorro. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, v. 1, n. 3, p. 2117-2122, 2015.