

## COMPUTAÇÃO FLUIDODINÂMICA PARA ENSINO DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS: Escoamento em Ciclones de Escoamento Reverso

Gabriel Baioni e SILVA <sup>1</sup>; Rejane Barbosa SANTOS <sup>2</sup> João Lameu da SILVA Jr. <sup>3</sup>

### RESUMO

Simulações numéricas do escoamento em ciclones de separação gás-sólido foram realizadas nesta pesquisa, através da técnica CFD, utilizando uma licença estudantil do pacote ANSYS CFD. Diferentes geometrias clássicas (Lapple e Stairmand) foram simuladas, variando as concentrações de partículas na entrada, onde se observou características de cada geometria, como queda de pressão e eficiência de coleta. Por esta análise, pode-se definir qual a melhor geometria a ser utilizada para uma operação específica, considerando a relação eficiência de coleta e queda de pressão.

### Palavras-chave:

Operações Unitárias; Ciclones; Simulação Numérica; Fluidodinâmica Computacional.

### 1. INTRODUÇÃO

Os ciclones são utilizados para a separação de partículas sólidas ou líquidas de uma corrente gasosa. O fluido (gás com partículas sólidas ou líquidas) entra tangencialmente com determinada velocidade, de modo que as partículas presentes se choquem com as paredes do ciclone perdendo velocidade. Por serem mais densas, as partículas tendem a manter o movimento tangencial, que auxiliado à perda de velocidade, resulta em sua saída através da abertura no final do ciclone. O gás realiza o movimento tangencial sem perder muita velocidade e por apresentar menos densidade, sofre uma inversão na direção do seu escoamento, saindo pela parte superior do ciclone.

Os ciclones são muito utilizados em processos industriais como na fabricação do cal (calcinação), na secagem (remoção da água de sistemas sólidos ou semissólidos), em

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Pouso Alegre/MG. E-mail: [gabrielbaioni@hotmail.com](mailto:gabrielbaioni@hotmail.com)

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Pouso Alegre/MG. E-mail: [rejane.santos@ifsuldeminas.edu.br](mailto:rejane.santos@ifsuldeminas.edu.br)

<sup>3</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Pouso Alegre/MG. E-mail: [joao.lameu@ifsuldeminas.edu.br](mailto:joao.lameu@ifsuldeminas.edu.br)

processos como craqueamento (para obtenção da gasolina) e em diversas outras áreas da indústria. O projeto destes equipamentos está relacionado com dois indicadores-chave: eficiência de coleta e queda de pressão. Existe um grande interesse no entendimento e na otimização de tais dispositivos devido aos aspectos econômicos (recuperação de catalisadores sólidos de processos reativos, proteção de equipamentos de processo contra erosão) e ambientais (diminuição da emissão de material particulado na atmosfera). A Fluidodinâmica Computacional (CFD) representa uma opção atrativa para avaliação de ciclones devido a sua acurácia conhecida na predição das propriedades relacionadas ao desempenho de ciclones (Meier *et al.*, 2011). Neste contexto, essa pesquisa objetiva aplicar a dinâmica dos fluidos computacional ao estudo da operação de separação em ciclones, simulando casos de estudo usando um pacote estudantil.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A ANSYS<sup>TM</sup> Inc. disponibilizou uma licença estudantil de seus pacotes computacionais de simulação multifísica. Este possibilita ao aluno de engenharia compreender melhor os aspectos de um fenômeno físico pela realização da modelagem, simulação e tratamentos dos resultados. Nesta pesquisa o pacote de computação fluidodinâmica (ANSYS CFD) foi usado para o entendimento da operação de separação em ciclones de escoamento reverso.

Uma análise usando a técnica CFD consiste em quatro etapas: 1) Criação da geometria, geração da malha numérica: criação de um modelo CAD e subdivisão deste em um número finito de volumes de controle; 2) Pré-processamento: definição das propriedades do sistema, condições iniciais e de contorno, modelos matemáticos e numéricos a serem usados; 3) Processamento: resolução das equações de conservação de massa, quantidade de movimento e energia (desprezada para casos isotérmicos), conjuntamente a correlações auxiliares; 4) Pós-processamento: tratamento e interpretação dos resultados.

Cinco condições operacionais para o sistema ar ( $\rho_{ar} = 1,185 \text{ kg/m}^3$ ;  $\mu_{ar} = 1,8 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$ ) - sílica particulada ( $d_p = 10 \text{ }\mu\text{m}$ ;  $\rho_p = 2600 \text{ kg/m}^3$ ) foram simuladas, e os parâmetros eficiência de coleta e queda de pressão foram analisados em duas geometrias clássicas de ciclone: Lapple e Stairmand (Figura 1). As condições operacionais simuladas foram um caso monofásico, e quatro bifásicos com concentração de sólido de 35, 150, 300 e 600 g de sólido/m<sup>3</sup> de gás. Em todos os casos, a vazão volumétrica de alimentação foi de 290 m<sup>3</sup>/h.

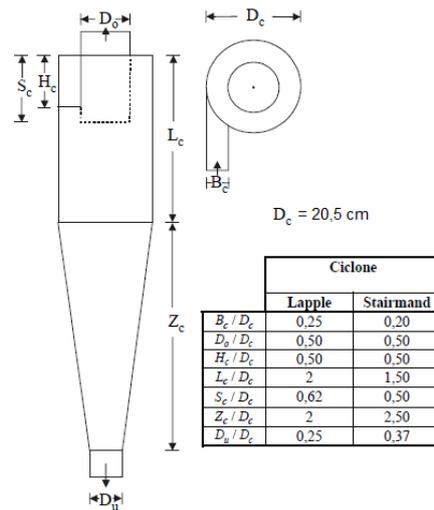


Figura 1. Dimensões do ciclone de escoamento reverso, onde  $D_c = 20,5 \text{ cm}$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 2 e 3 apresentam respectivamente, a eficiência de coleta e a queda de pressão, em função da concentração de sólido particulado nas correntes de alimentação. Pela Figura 2, observa-se um aumento na eficiência de coleta do ciclone Stairmand, com o aumento da concentração, enquanto a configuração Lapple mostrou uma queda na eficiência. Isto está de acordo com o esperado, já que o ciclone Stairmand é projetado usualmente, para promover maior eficiência de coleta, no entanto, isto reflete diretamente na queda de pressão, conforme pode ser observado na Figura 3. Mantendo-se a vazão de alimentação, conforme os casos de estudo, e aumentando-se apenas a concentração de sólidos, um incremento na queda de pressão é observado no ciclone Stairmand, enquanto o Lapple, mantém a queda de pressão praticamente constante nas condições estudadas.

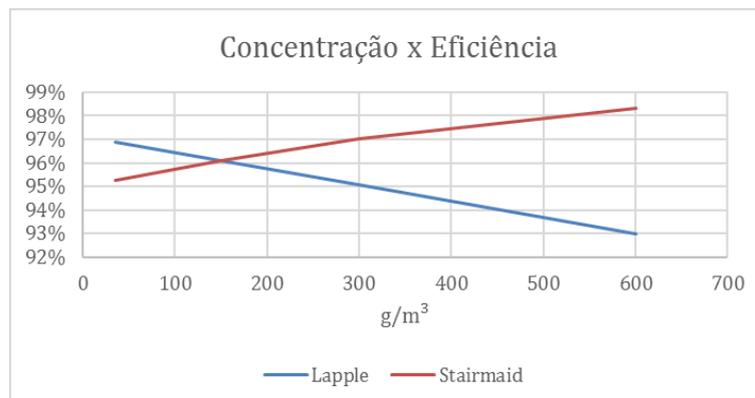


Figura 2. Resultados para a eficiência de coleta em função da concentração de partículas.

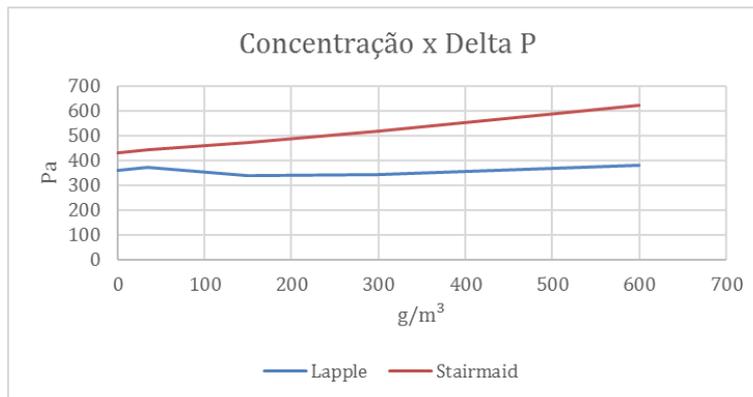


Figura 3. Resultados para a queda de pressão em função da concentração de partículas.

#### 4. CONCLUSÕES

O uso de simulações computacionais nos proporciona resultados importantes a um baixíssimo custo. Prever o comportamento de equipamentos industriais por exemplo pode representar ganhos na eficiência e queda nos custos na hora de escolher os melhores modelos para cada situação. Nesta pesquisa, os principais modelos de ciclone foram testados e conseguimos concluir dois aspectos importantes em relação a variação da concentração de sólidos na entrada. Para a geometria Lapple ocorre um decréscimo na eficiência e a queda de pressão mantém constante com o aumento da concentração. O oposto do que ocorre com a Stairmaid, onde a eficiência e a queda de pressão aumentam. Utilizando essas informações, podemos optar pela melhor geometria para diversos objetivos, levando em conta a eficiência necessária em contrapartida do custo (que depende da queda de pressão), para grandes e pequenas concentrações.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Extensão, Pesquisa e Inovação e ao NTIC do IFSULDEMINAS Campus Pouso Alegre pelo suporte ao desenvolvimento desta pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

ANSYS INC., Disponível em: <http://www.ansys.com/Student>. Acessado em 12/08/2016.  
 MEIER, H.F.; VEGINI, A.A.; MORI, M. Four-Phase Eulerian-Eulerian Model for Prediction of Multiphase Flow in Cyclones. The Journal of Computational Multiphase Flows, 3, 93-106, 2011.