



OTIMIZAÇÃO GEOMÉTRICA DE TUBULAÇÃO EM U UTILIZANDO FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL E O MÉTODO ADJUNTO

Pedro Henrique Barbosa Pontalti (PIBIC/Fundação Araucária/Uem), Alexandre Marconi de Souza da Costa (Orientador), e-mail: amscosta@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia / Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Engenharias, Engenharia Mecânica.

Palavras-chave: otimização, fluidodinâmica computacional, escoamento em dutos.

Resumo:

O objetivo desse trabalho é a otimização geométrica de um tubo em U, utilizando software de fluidodinâmica computacional e o método adjunto para a minimização da queda de pressão do escoamento entre a entrada e saída do tubo. O processo de otimização com o método adjunto é iterativo, a fim de se encontrar a geometria ótima para o modelo dentro das condições dadas. O modelo final obtido apresentou redução significativa na queda de pressão.

Introdução

Em busca da constante melhoria de produtos no mercado, garantindo competitividade com a diminuição de custos e tempo de produção, uma ferramenta bastante empregada em projetos de engenharia é a fluidodinâmica computacional, CFD, que possibilita a redução da quantidade de protótipos e é capaz de prever com boa acurácia o comportamento do escoamento e fenômenos multifísicos tais como a interação fluido-estrutura, antes mesmo de concluir o desenvolvimento do produto.

As equações diferenciais parciais que descrevem o escoamento de fluidos têm suas soluções analíticas inviáveis para escoamentos reais. Com o surgimento dos métodos numéricos, utilizados na discretização de tais problemas, aliado ao crescimento em capacidade computacional, a indústria em geral pode utilizar tais ferramentas numéricas de CFD para simular problemas muito próximos à realidade. Malliska (2004) apresenta as principais equações utilizadas nas análises fluidodinâmicas e o processo de solução discreta, utilizados nos códigos de CFD.

O método adjunto, apresentado primeiramente por Jameson (1988) em seus trabalhos com aerodinâmica, consiste em criar novas equações para o escoamento com base nas sensibilidades do modelo às mudanças, por exemplo, de geometria. Assim, têm-se as equações do escoamento, como as de Navier-Stokes, juntamente com as equações de geometria (equações adjuntas) estreitamente relacionadas. Groth (2016) obteve bons resultados utilizando o método adjunto em softwares de CFD para vários casos, entre eles a adaptação na geometria da traseira de um veículo, diminuindo o arrasto.

O fluxograma da Figura 1 apresenta o funcionamento da análise adjunta em conjunto com as soluções de CFD tanto nos códigos comerciais como abertos. Comumente, apenas as partes do processo em cinza são realizadas, nas quais o engenheiro projetista cria a geometria inicial do projeto e por meio do software realiza cálculos em busca de propriedades, como distribuição de velocidade e pressão. Com os resultados, avalia se o projeto é compatível com o desejado. Caso não seja, deve-se desenvolver outro modelo.

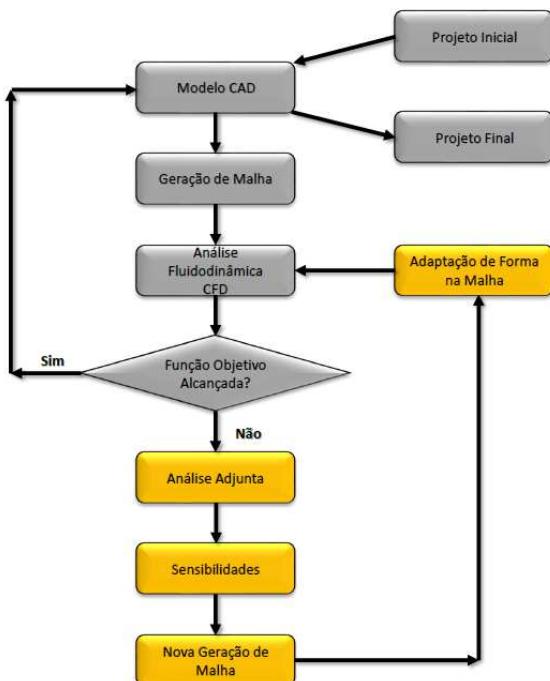


Figura 1 – Fluxograma de etapas a serem realizadas para otimização com a análise adjunta e CFD.

Por sua vez, com a análise adjunta, o próprio software, a partir dos dados de sensibilidade da geometria do modelo sobre a função objetivo - a qual busca-se a maximização ou minimização - realiza mudanças necessárias no formato da geometria, nas regiões definidas pelo usuário. Com isso é realizado novamente o cálculo por meio do solver de CFD até que se atinja os objetivos. Pode haver mais que uma função objetivo e essa pode ser a relação de duas outras, como por exemplo a razão entre força de sustentação e de arrasto, a qual busca-se a maximização na aerodinâmica.

Materiais e Métodos

No caso estudado, foi utilizado o pacote de software comercial ANSYS Fluent para a otimização de um tubo em U, com as dimensões internas (região de fluido) como expressas na Figura 2.(a), objetivando a minimização da função objetivo: a queda de pressão entre a entrada e a saída do tubo. O fluido analisado foi ar (densidade $\rho=1,225 \text{ kg/m}^3$ e viscosidade $\mu=0,000017894 \text{ kg/m.s}$), com velocidade normal de entrada no tubo de 15 m/s e pressão manométrica nula na saída.

O modelo de turbulência utilizado foi o κ - ϵ , com tratamento aprimorado nas paredes. Na entrada do tubo, foi considerada intensidade de 5% de turbulência e seu diâmetro hidráulico, de 0,050 m. O escoamento foi definido em regime estacionário e a influência da gravidade foi desconsiderada.

A malha utilizada era constituída por 942.006 células tetraédricas. A Figura 2.(b) mostra os detalhes da malha. Na Figura 2.(c) é evidenciada a região onde foram permitidas mudanças na geometria do tubo, sendo uma caixa com dimensões de 0,180 m, 0,280 m e 0,080 m nos eixos x, y e z. Também é possível visualizar o plano z de simetria, definido para a redução do custo computacional.

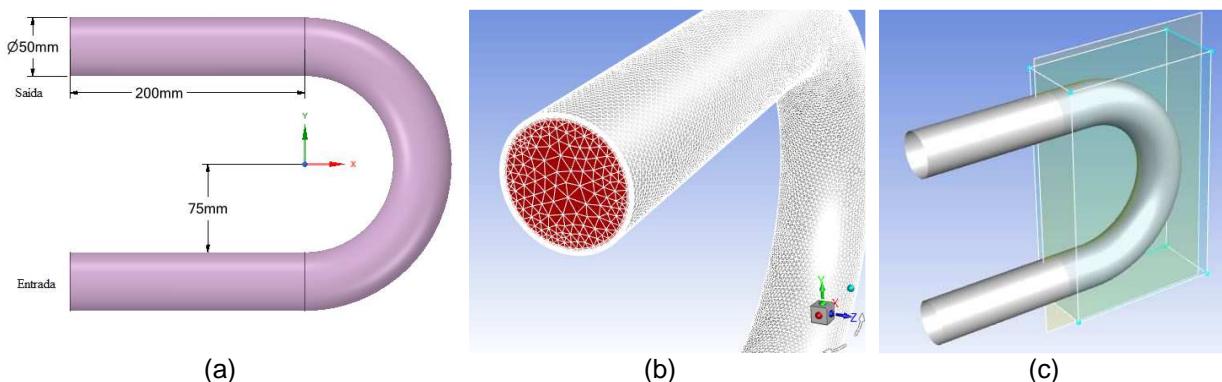


Figura 2 – (a) Dimensões da região de fluido do modelo, em mm. (b) Detalhe da malha inicial. (c) Região de transformação da malha para atuação do solver adjunto.

O modelo de solução utilizado foi de Green-Gauss baseado em células, com 150 iterações para o solver CFD e para o solver adjunto, com critério de convergência para os resíduos de 0.0001. No solver adjunto, foram realizadas 5 iterações e definida uma redução de queda de pressão esperada de 10% a cada iteração.

Resultados e Discussão

A Figura 3 apresenta a geometria do modelo otimizado e a comparação entre as plotagens de distribuição de pressão estática no tubo.

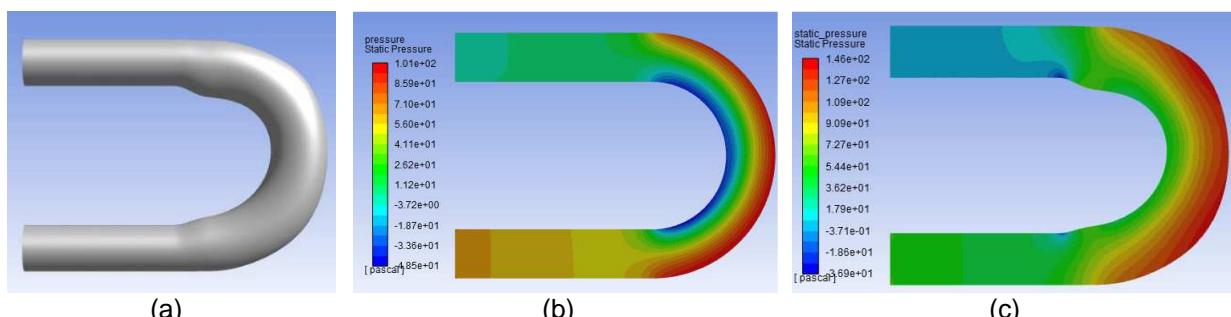


Figura 3 – (a) Geometria otimizada. (b) Distribuição de pressão para o modelo inicial. (c) Distribuição de pressão para o modelo otimizado, com valores em pascal.



A queda de pressão entre a entrada e saída do tubo apresentou uma redução de 68,99 Pa para 52,16 Pa, representando -24,39% do valor inicial. Tal redução é inferior à prevista de 10% a cada processo, porém representa valor satisfatório.

Ressalta-se que após a otimização ocorreu um aumento no diâmetro do tubo. Pode-se constatar que a região definida limitou que esse aumento fosse ainda maior, já que estudos semelhantes realizado por Osama (2017) apresentaram alterações bem mais significativas. A distribuição de pressão se mostrou mais suave na nova geometria, sem a extensa região de baixa pressão observada na região interna da curvatura do modelo inicial. A geometria otimizada apresentou apenas pequenas zonas de baixa pressão.

A produção da geometria otimizada, devido ao formato não convencional, pode ser realizada por meio de impressão 3D ou com moldes para fundição, por exemplo, devendo ainda ser avaliada a utilização do produto e se os custos são viáveis.

Conclusões

Neste trabalho foram realizados estudos sobre a utilização do método adjunto como ferramenta auxiliar no processo de otimização do escoamento a partir de mudanças de forma para o tubo em U. A função objetivo analisada, a queda de pressão, teve uma redução significativa de 24,39% após realizados cinco vezes o processo de mudança de geometria, evidenciando a eficiência do método.

Para a continuação do trabalho, podem ser analisados os impactos dessa nova geometria em outras propriedades do escoamento, como por exemplo a influência da erosão no tubo, antes e depois da otimização.

Agradecimentos

Agradeço ao professor Alexandre, pela orientação, à UEM e à Fundação Araucária pela oportunidade e incentivo para a realização do projeto, constituindo um grande passo no desenvolvimento acadêmico.

Referências

- GROTH, C. **Adjoint-based shape optimization workflows using RBF**. 2016. 130f. Tese (PhD) - Dottorato di ricerca in ingegneria industriale, Università Degli Studi di Roma "Tor Vergata", Roma, 2016;
- JAMESON, A. Aerodynamic design via control theory. **Journal of Scientific Computing**, v. 3, n. 3, p. 233-260, 1988;
- MALISKA, C. R. **Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004;
- OSAMA, A. Pressure loss reduction in U-bend using the adjoint method. In: **17th International Conference on Aerospace Sciences & Aviation Technology. ASAT**, v. 17, Cairo, 2017.