

ESTRATÉGIA HÍBRIDA CFD-DOE PARA OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO EM VENTILADORES CENTRÍFUGOS

Matheus Costa Pereira¹; Tiago Martins de Azevedo²; Ronã Rinston Amaury Mendes³;

Anderson Paulo de Paiva⁴

¹ Universidade Federal de Itajubá. (matheusc_pereira@hotmail.com).

² Universidade Federal de Itajubá. (tiago.deazevedo@yahoo.com.br).

³ Universidade Federal de Itajubá. (rona.rinston@hotmail.com).

⁴ Universidade Federal de Itajubá. (andersonppaiva@unifei.edu.br).

Resumo: Este estudo visa combinar a fluidodinâmica computacional (CFD), o planejamento de experimentos (DOE) e a otimização multiobjetivo (MO) com o objetivo de fornecer uma ferramenta de apoio para os tomadores de decisão na escolha de uma configuração geométrica ótima e viável, alinhada às preferências e requisitos do projeto e do decisor. A abordagem proposta foca na seleção automática de soluções ótimas, utilizando superfícies de resposta e métricas de classificação para avaliar a qualidade das soluções obtidas. Além disso, o método inclui a otimização a posteriori, que refina os parâmetros encontrados e determina qual é a solução "ótima das ótimas", ou seja, a mais adequada no espaço de soluções e que melhor atende às necessidades do decisor. A metodologia é replicável para outros casos e processos, sendo exemplificada neste trabalho por meio de um estudo de caso de um ventilador centrífugo utilizado em fornos industriais que operam em altas temperaturas. O ventilador é fabricado com material AISI 304 e é empregado para a circulação de ar dentro do equipamento. O processo se inicia com a definição das variáveis de entrada e saída, suas condições de contorno e a montagem do desenho experimental. Os ventiladores são modelados no software Ansys Space Claim®, e as respostas são obtidas por meio do Ansys Fluent®. Com base nessas respostas, são realizadas otimizações individuais e multiobjetivo (tanto a priori quanto a posteriori), utilizando métricas de avaliação para identificar as soluções mais adequadas. Esse processo é implementado em linguagem Python. Após as otimizações, realiza-se simulações de validação para verificar se os resultados obtidos pela otimização correspondem aos encontrados pelo Ansys Fluent®. Os resultados confirmam ganhos significativos em comparação com o ventilador original, que foi utilizado como base neste estudo. As variáveis de entrada incluem a quantidade de pás, o ângulo de entrada, o ângulo de abertura e o comprimento. As variáveis de resposta envolvem massa, vazão mássica, torque, desempenho, custo, velocidade, pressão e turbulência. As melhorias mais expressivas foram observadas na redução de 65,8% da massa das pás, no aumento de 23,7% da velocidade máxima e no incremento de 19,9% na vazão mássica. Para fins de comparação, os resultados obtidos foram confrontados com os de um algoritmo genético de ordenação não dominada (NSGA-II) e com técnicas de aprendizado de máquina (ML), demonstrando um desempenho competitivo. Essa metodologia tem grande potencial para a automação do processo, desde o planejamento experimental até a obtenção dos pontos ótimos. Ela resulta em redução de tempo e custo, além de facilitar o desenvolvimento, fornecendo um apoio decisivo para os tomadores de decisão.

Palavras-chave: Fluidodinâmica Computacional; Otimização Multiobjetivo; Interseção Normal à Fronteira; Planejamento de Experimentos.

HYBRID CFD-DOE STRATEGY FOR MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION IN CENTRIFUGAL FANS

Matheus Costa Pereira¹; Tiago Martins de Azevedo²; Ronã Rinston Amaury Mendes³;

Anderson Paulo de Paiva⁴

¹ Federal University of Itajubá. (matheusc_pereira@hotmail.com).

² Federal University of Itajubá. (tiago.deazevedo@yahoo.com.br).

³ Federal University of Itajubá. (rona.rinston@hotmail.com).

⁴ Federal University of Itajubá. (andersonppaiva@unifei.edu.br).

Abstract: This study aims to combine computational fluid dynamics (CFD), design of experiments (DOE), and multi-objective optimization (MO) to provide a decision support tool for choosing an optimal and feasible geometric configuration, aligned with the project and decision-maker's preferences and requirements. The proposed approach focuses on the automatic selection of optimal solutions, using response surfaces and classification metrics to evaluate the quality of the obtained solutions. Additionally, the method includes a posteriori optimization, which refines the found parameters and determines the "optimal of the optimal" solution, i.e., the one that is most suitable in the solution space and best meets the needs of the decision-maker. The methodology is replicable for other cases and processes and is exemplified in this work through a case study of a centrifugal fan used in industrial furnaces operating at high temperatures. The fan is made of AISI 304 material and is employed for air circulation within the equipment. The process begins with the definition of input and output variables, their boundary conditions, and the setup of the experimental design. The fans are modeled using Ansys Space Claim®, and the responses are obtained using Ansys Fluent®. Based on these responses, both individual and multi-objective optimizations (both a priori and a posteriori) are performed, using evaluation metrics to identify the most suitable solutions. This process is implemented in Python. After the optimizations, validation simulations are performed to verify whether the optimization results match those obtained from Ansys Fluent®. The results confirm significant improvements compared to the original fan, which was used as the base for this study. The input variables include the number of blades, inlet angle, opening angle, and length. The response variables involve mass, mass flow, torque, performance, cost, speed, pressure, and turbulence. The most notable improvements were observed in the 65.8% reduction of blade mass, a 23.7% increase in maximum speed, and a 19.9% increase in mass flow. For comparison, the results obtained were compared with those of a non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II) and machine learning (ML) techniques, demonstrating competitive performance. This methodology has great potential for automating the process, from experimental planning to the attainment of optimal points. It results in time and cost reduction, in addition to facilitating development and providing decisive support for decision-makers.

Keywords: Computational Fluid Dynamics; Multiobjective Optimization; Normal Boundary Intersection; Design of Experiments.