Impacto da Otimização Topológica na Redução de Peso e Melhoria de Desempenho em Componentes Mecânicos

Robson Henrique Francisco Cavalari[1], Marcel Henrique Militão Dib[2], Renato de Camargo Bortholin[3].

[1] Graduando em Engenharia Mecânica, IFSP, Campus Araraquara, robson.cavalari@aluno.ifsp.edu.br
[2] Docente em Engenharia Mecânica, IFSP, Campus Araraquara, marceldib@ifsp.edu.br
[3] Docente em Engenharia Mecânica, IFSP, Campus Araraquara, renato.bortholin@ifsp.edu.br

.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.05.03.03-5 Análise de tensões.

RESUMO: A necessidade de inovar, reduzir o uso de matéria-prima e garantir qualidade é uma das principais chaves para o sucesso de diversas empresas. Diante dessas exigências, o emprego de tecnologias aplicadas ao desenvolvimento de estruturas na engenharia se torna cada vez mais comum. A constante busca por estruturas mais eficientes e leves resulta em métodos como a otimização topológica. Este método revolucionário visa alcançar máxima eficiência estrutural, minimizando o uso de material por meio da análise e otimização da distribuição topológica.
Ao explorar algoritmos avançados, a otimização topológica não apenas redefine o design de estruturas, mas também proporciona soluções inovadoras para desafios complexos, resultando em construções mais leves, eficientes e economicamente sustentáveis. Os resultados alcançados são comparados com a estrutura anterior à otimização, a fim de validar os dados por meio da análise pelo método dos elementos finitos.
Este trabalho visa demonstrar a aplicação dos métodos de otimização topológica assistida por computador, onde foi possível reduzir aproximadamente 73% da massa inicial da estrutura, com um aumento na tensão máxima de cerca de 8,4%, a fim de comprovar sua eficiência e benefícios.

PALAVRAS-CHAVE: Topológica; otimização; Algoritmos; elementos finitos.

TÍTULO EM INGLÊS (Times New Roman, 11, Negrito, Centralizado)

ABSTRACT: The need to innovate, reduce the use of raw materials and ensure quality is one of the main keys to the success of many companies. In view of these needs, the use of technology applied to the development of structures in engineering is increasingly present. The constant search for increasingly efficient and lighter structures is present, and methods such as topological optimization have emerged as a response. This revolutionary method aims to achieve maximum structural efficiency, minimizing the use of material through analysis and optimization of topology distribution. By exploring advanced algorithms, topology optimization not only redefines the design of structures, but also provides innovative solutions to complex challenges, resulting in lighter, more efficient and economically sustainable structures. The results achieved are compared with the structure before optimization, in order to validate the results through analysis using the finite element method. This work aims to demonstrate

one of the computer-assisted topological optimization methods, in order to relate the properties before and after its application, and compare its results, proving its efficiency and benefits.

KEYWORDS: Topology; optimization; Algorithms; finite elements.

INTRODUÇÃO

Os métodos tradicionais de design muitas vezes enfrentam limitações ao lidar com a complexidade dos projetos. A otimização topológica, por outro lado, permite uma abordagem mais flexível e adaptativa, capaz de explorar soluções que não são intuitivamente óbvias.

A otimização topológica é uma técnica de design estrutural que tem ganhado crescente importância na engenharia e na ciência dos materiais, especialmente devido à sua capacidade de criar soluções de alta eficiência por meio da redistribuição inteligente de material em um determinado espaço de projeto. Desde sua introdução formal na década de 1980, a otimização topológica tem sido amplamente estudada e aplicada para desenvolver estruturas com desempenho otimizado, reduzindo o peso e o custo de produção (Bendsøe & Sigmund, 2003).

No contexto brasileiro, a pesquisa sobre otimização topológica também tem mostrado um avanço significativo. De acordo com Silva e Lima (2014), a aplicação da otimização topológica no design estrutural tem proporcionado melhorias substanciais na eficiência dos projetos de engenharia civil e mecânica no Brasil. Os autores destacam que a utilização de métodos numéricos avançados e a integração com ferramentas de modelagem têm possibilitado a criação de estruturas inovadoras e mais econômicas (Silva & Lima, 2014).

Além disso, Ribeiro et al. (2017) investigaram a aplicação de algoritmos de otimização topológica na concepção de peças metálicas complexas, ressaltando como a técnica pode ser aplicada de maneira eficaz em processos de manufatura aditiva (Ribeiro et al., 2017).

Neste contexto, este artigo visa comparar as propriedades de uma estrutura antes e depois da aplicação do método de otimização topológica assistida por computador.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia proposta consiste em realizar um estudo por meio de simulação utilizando o método dos elementos finitos, com o objetivo de obter a melhor distribuição de material na estrutura, visando o desenvolvimento de um produto mais leve e eficiente. Foi estabelecido um modelo de estrutura para a aplicação do método, com o intuito de remover o excesso de material, resultando em uma geometria de alto desempenho mecânico.

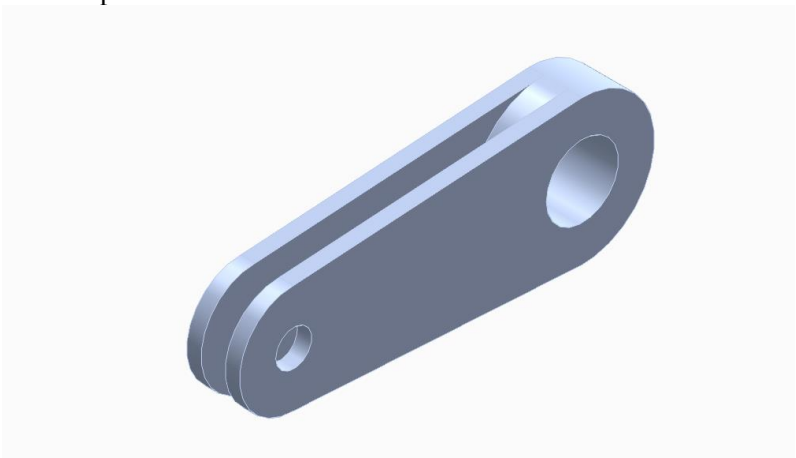


Figura 1. Modelagem de estrutura proposta para estudo

A partir do software Inventor®, conforme figura 1, foi modelado uma estrutura em 3D, cujo dimensionamento já atende às necessidades mecânicas, porém apresenta um excesso de material.

Uma simulação pelo método dos elementos finitos foi realizada para mostrar com as tensões estão distribuídas na estrutura, identificando os pontos de máxima e mínima tensão.

Para realizar as simulações, o material atribuído ao modelo foi o alumínio 6061.

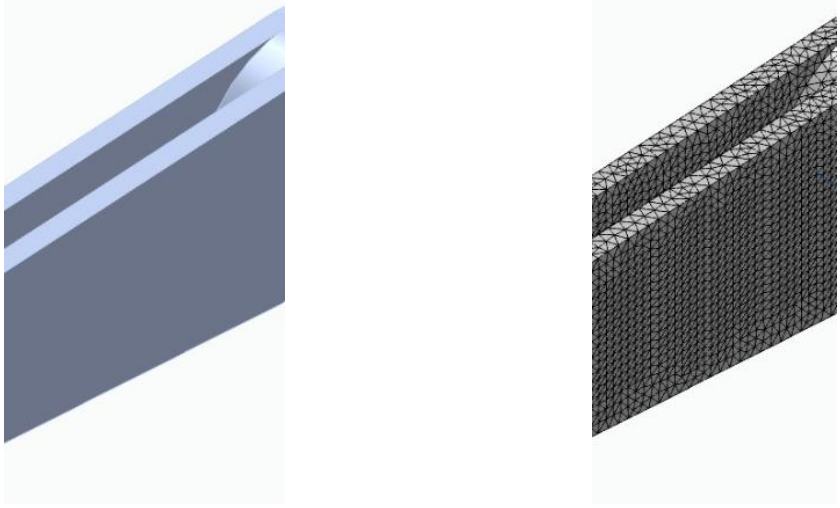
Tabela 1. Propriedades do material, alumínio 6061 – T6.

Alumínio 6061-T6.	
Modulo de Elasticidade (MPa)	70.000
Coeficiente de Poisson	0,330
Limite de resistência a tração (MPa)	310
Limite de escoamento (MPa)	275
Densidade (Kg/m³)	2712

Tabela 1. Adaptado DIN

A otimização é um método matemático que utiliza algoritmos com o objetivo de encontrar o valor de uma determinada grandeza, maximizando ou minimizando o valor de outra grandeza relacionada, considerando um conjunto de restrições. Dessa forma, por meio do método dos elementos finitos, é avaliado o melhor formato para o componente dentro dessas restrições, resultando em um design inovador que reduz o peso e a quantidade de material, preservando a resistência e a finalidade do componente.

Foi aplicado o método de otimização topológica a um componente modelado em 3D.



Modelo CAD Malha

Imagem 2. Malha

Para iniciar o estudo, primeiramente foi estabelecida uma malha para realizada uma análise de elementos finitos. A malha divide a estrutura em diversos elementos formando um número finito de triângulos ou quadrados que possa ser calculado numericamente de forma matemática e individual.

TABELA 2. Parâmetros da malha utilizada.

Componente	Tamanho da Malha subjetiva
Antes a otimização	3,19 mm
Pós otimização	3,19 mm

Fonte: autor

Para realizar o estudo, foi aplicada uma força atuante em dois eixos do plano cartesiano, e uma restrição de deslocamento em dois pontos da estrutura.

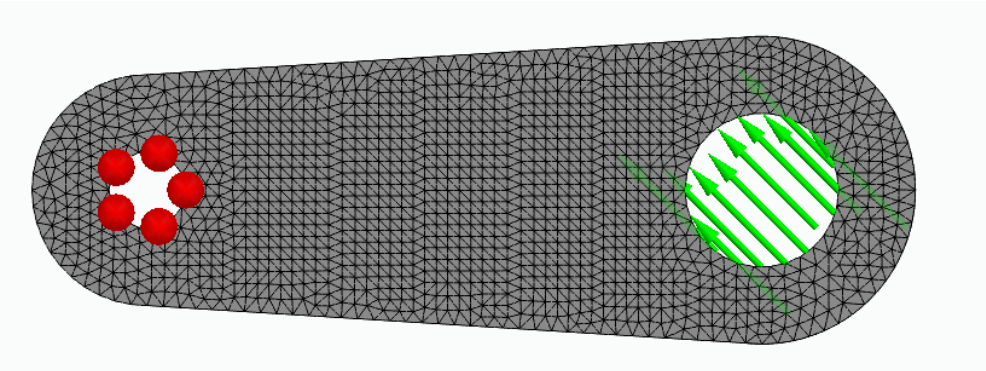


Imagem 3. Força (Mpa) e restrição de deslocamento (força vetores em verde, restrição de deslocamento esferas em vermelho).

O objeto de estudo possui as dimensões de altura de 60 mm, comprimento de 172,50 mm e espessura de 22 mm, sofrendo uma força de F = 3500 N no eixo X e F = 3500 N no eixo Y. A malha gerada resultou em um total de 44.680 elementos e 71.236 nós.

O software de otimização utilizado foi o Solid Edge 2024, com o comando de design generativo. As forças atuantes, a malha e as restrições de movimento utilizadas foram as mesmas empregadas na análise de elementos finitos anterior à otimização.

Foi necessário preservar algumas regiões da estrutura, a fim de garantir a funcionalidade do componente.

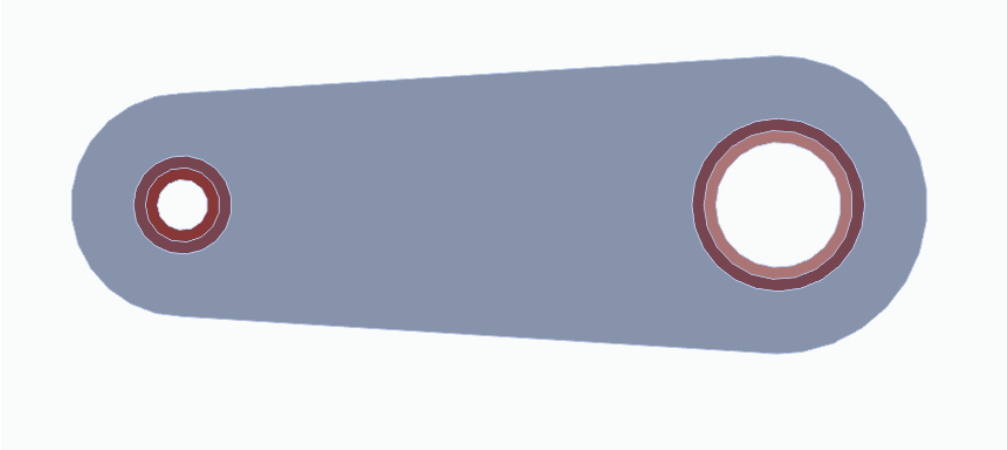


Imagem 5. estrutura com as áreas de preservação.

O design generativo é um processo que utiliza os dados de entrada como parâmetros de desenho, restrições de deslocamento, forças e regiões preservadas. Por meio do uso de algoritmos, é capaz de gerar formas geométricas que atendem às condições propostas.

Para este estudo, foi definido como parâmetro que a massa final seja menor ou igual a 30% da massa original da estrutura.

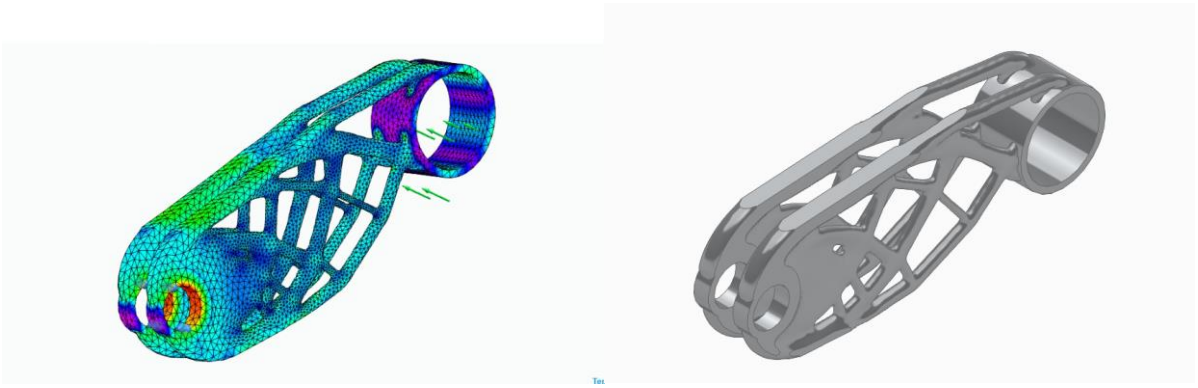


Imagem 6. Geometria pós otimização

Para garantir a eficiência do método, foi realizada uma nova análise de elementos finitos com as mesmas condições iniciais, a fim de analisar o comportamento da estrutura otimizada e comparar com os dados da análise do componente antes da otimização.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao finalizar o estudo sobre otimização topológica e design generativo, é possível observar que a aplicação do método traz resultados satisfatórios, resultando em geometrias com massa reduzida e resistência mecânica conveniente. Observa-se uma redução significativa na massa da estrutura de aproximadamente 73%, que não foi acompanhada por um aumento considerável na tensão máxima atuante, que ficou em torno de 8,4%.

Os métodos computacionais são ferramentas muito importantes na engenharia e no desenvolvimento de estruturas cada vez mais eficientes. Diversos fatores podem alterar os resultados pós-otimização, como as condições de contorno empregadas, as áreas definidas de preservação e o tipo de malha utilizada nas análises. No entanto, todos os recursos empregados resultam em alta demanda computacional, que nem sempre é possível suprir. Para obter bons resultados, é necessário investir em treinamento e no domínio dos softwares de otimização.

Apesar do resultado positivo em relação à tensão máxima atuante na estrutura, é válido ressaltar que, para uma aplicação real de otimização topológica, outros fatores também devem ser considerados, como o deslocamento resultante do emprego de forças externas e a rigidez da estrutura. Além disso, o uso adequado do software, dos parâmetros e das condições de contorno é crucial para bons resultados. A aplicação geralmente resulta em geometrias complexas, que podem ser de difícil fabricação. Essa situação pode ser amenizada com os avanços da tecnologia de manufatura aditiva.

Tabela 3. Comparativo das próprias antes e depois da otimização topológica

Componente	Tensão máxima (Mpa)	Tensão mínima (Mpa)	Massa (Kg)	Volume (mm^3)
Anterior a otimização	215	0,221	0,814	112710,07
Pós otimização	233	2,36	0,308	30023,95

Fonte: Autor

CONCLUSÕES

Neste estudo, exploramos a aplicação da otimização topológica na engenharia mecânica, destacando seu potencial para revolucionar o design e a performance estrutural. Os resultados obtidos

demonstram que a utilização do método de otimização topológica não apenas melhora a eficiência dos recursos materiais, mas também proporciona qualidade na funcionalidade dos componentes estruturais.

A análise do caso estudado evidenciou que a otimização topológica pode resultar em uma economia considerável de material e na redução de peso, sem comprometer a integridade estrutural. Esses benefícios são relevantes no contexto industrial, onde eficiência e sustentabilidade são essenciais.

Em resumo, a otimização topológica representa um avanço significativo na engenharia mecânica, oferecendo um caminho promissor para o desenvolvimento de componentes mais leves, eficientes e inovadores.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

M.H.M.D, R.C.B, R.H.F.C. contribuíram com a curadoria e análise dos dados. R.H.F.C, M.H.M.D, procederam com a metodologia e experimentos. R.H.F.C atuaram na redação do trabalho.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFSP pelo suporte técnico e acadêmico, e a Autodesk pelo software usado para modelagem.

REFERÊNCIAS

Bendsøe, M. P., & Sigmund, O. (2003). Topology Optimization: Theory, Methods and Applications. Springer.

Silva, A. M., & Lima, P. M. (2014). Otimização topológica em projetos de engenharia civil: aplicações e tendências. Revista Brasileira de Engenharia e Construção.

Ribeiro, A. C., Santos, J. L., & Oliveira, M. R. (2017). Aplicação de algoritmos de otimização topológica em manufatura aditiva. Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento.

GORBAMAN, A. A. comparative pathology of thyroid. In: HAZARD, J. B.; SMITH, D. E. **The thyroid**. Baltimore: Williams & Wilkins, 1964.

BATISTA, André L. F.; CISILINO, Adriana P. Otimização Topológica de Estruturas. São Paulo: Elsevier, 2011.

PIMENTA, Paulo de Mattos. Otimização Topológica com Aplicações em Problemas de Engenharia. São Paulo: Blucher, 2018.

MANZOLI, Eliane Madureira; FREIRE, José L. F.; DAMASCENO, Guilherme J. S. Método dos Elementos Finitos: Conceitos e Aplicações. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

KRIPKA, Moacir. Análise de Estruturas via Método dos Elementos Finitos. São Paulo: CreaBooks, 2020.

BARBOSA, Antônio P. V.; VALENTE, Roberto A. F. Projeto Ótimo de Estruturas Usando Otimização Topológica. Campina Grande: EdUEPB, 2015.

BASILIO, Clarindo; BRASIL JUNIOR, Aldo B. Design Ótimo de Estruturas. Rio de Janeiro: LTC, 2020.