

## COMPARATIVO DE PROPRIEDADES FÍSICAS DE SUPORTE OBTIDO PROJETO TRADICIONAL, OTIMIZAÇÃO DE TOPOLOGIA E POR DESIGN GENERATIVO

Elisson Borges Tessaro<sup>1</sup>, Fernando Luiz Semeler Palha<sup>1</sup>  
Douglas Alexandre Simon\*

<sup>1</sup>Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS) - *Campus* Farroupilha

[e.tessaro14@gmail.com](mailto:e.tessaro14@gmail.com); [flspalha@gmail.com](mailto:flspalha@gmail.com); [douglas.simon@farroupilha.ifrs.edu.br](mailto:douglas.simon@farroupilha.ifrs.edu.br)

**Palavras-chave:** Design generativo; Otimização de topologia; Propriedades físicas.

### Introdução

A indústria de manufatura está passando por avanços significativos no uso de softwares de modelagem computacional. Dominar essas ferramentas tornou-se essencial para profissionais de engenharia (Campi et al., 2022) (Li et al., 2020). Esses softwares permitem a antecipação de problemas na fabricação e montagem, o que reduz custos de matéria-prima e o tempo dedicado à engenharia. Além disso, o desenvolvimento de hardware tem resultado em softwares cada vez mais sofisticados, capazes de criar desenhos tridimensionais, simplificar a montagem de componentes e detectar potenciais colisões antes da produção física (Campi et al., 2022) (Gardan, 2019).

Em consonância com esse crescimento, surgiram ferramentas de análise de elementos finitos, que buscam prever as demandas que um componente enfrentará em sua aplicação por meio de simulações diversas (Li et al., 2020) (Gardan, 2019). Os estudos na área de inteligência artificial continuam evoluindo constantemente, com máquinas capazes de gerar algoritmos e aprimorar-se independentemente, tornando o processo de *Machine Learning* mais eficaz (Telikani et al., 2021).

Utilizando as mesmas bases da geração de análises de elementos finitos surgiu a otimização da topologia, consiste em um projeto estrutural avançado que pode obter a configuração ideal da estrutura, através da distribuição razoável de material, satisfazendo a carga especificada, otimizando o uso de material visando o alto desempenho (JIHONG, Z. H. U. et al., 2021).

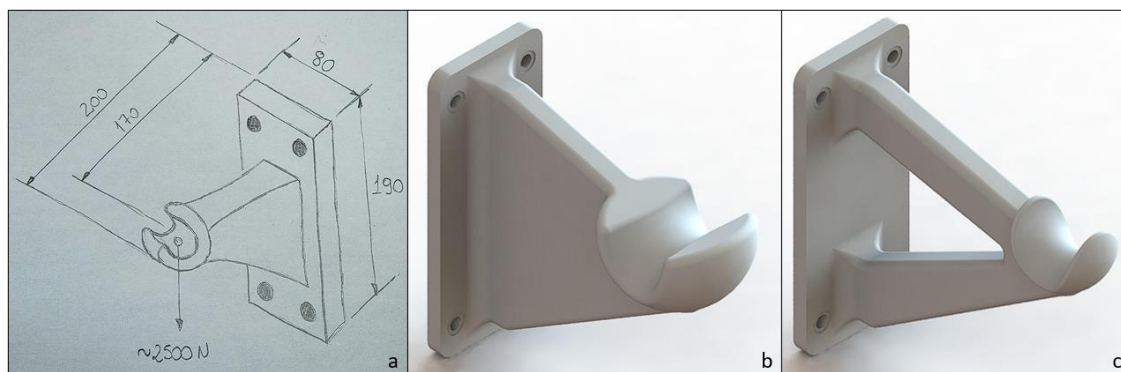
Nesse contexto, as ferramentas de design generativo, frequentemente usando técnicas de aprendizado de máquina, se destacam. O design generativo envolve a criação de formas, estruturas ou designs com base em algoritmos e regras predefinidas, frequentemente com o objetivo de otimizar um resultado específico. Isso é feito com base em um banco de dados de

projetos existentes, permitindo a correlação de resultados para definir o modelo a ser gerado (Shin et al., 2021). Essa rede de informações está em constante evolução, o que torna crucial a atualização frequente para lidar com inconsistências nos resultados.

O objetivo deste artigo é analisar três métodos de projeto de uma peça, onde o projetista usará um software CAD tradicional, posteriormente a metodologia de otimização de topologia obtida por um CAD especializado e a criação da peça por meio de uma ferramenta de Design Generativo.

### Metodologia

Para a comparação de resultados foi criado um suporte para içar objetos, constituído de uma base plana e um suporte afastado 170 milímetros, o material usado é o PLA. O projeto foi executado por ferramenta CAD tradicional, a Figura 1 apresenta o processo de criação da peça, do esboço manual ao projeto final, com forma mais refinada, chamado de SVM03.



**Figura 1.** Linha de criação do projeto: a) esboço manual, b) primeiro esboço em CAD, c) esboço final em CAD após simulação de análise estática, peça SVM03.

Um segundo modelo foi gerado, SVM05, a partir do modelo tradicional retirando o recorte interno, usando a ferramenta de otimização de topologia, com os seguintes parâmetros: a) 440 N aplicados na região onde ficará a cabeça dos parafusos; b) 2500 N na região onde haverá o trabalho; c) faces dos alojamentos e da base são regiões fixas; d) restrição de deslocamento menor que 1,5 mm; e) ajustado a restrição por massa, com redução de 50%; f) fator de segurança de 2. Essa técnica visa encontrar estruturas mais leves para um determinado projeto, maximizando a rigidez estrutural com restrições de fração de volume (peso) e condições de contorno (Zhang et al., 2023).

Além disso, com as informações de limitação de espaço conforme o escopo do projeto, pontos de fixação, solicitações de carga tal qual aplicado na otimização topológica, foi aplicado em uma ferramenta de design generativo a criação de um novo modelo. Essa ferramenta usa informações de entrada e inteligência artificial para sugerir designs de peças que atendam às especificações (Shin et al., 2021). Foram gerados quatro resultados com foco na manufatura aditiva de PLA, com ênfase na redução de massa e limitando ao mínimo de fator de segurança de 1, denominados SVM07-SR, SVM07-X+, SVM07-Y+ SVM07-Z+.

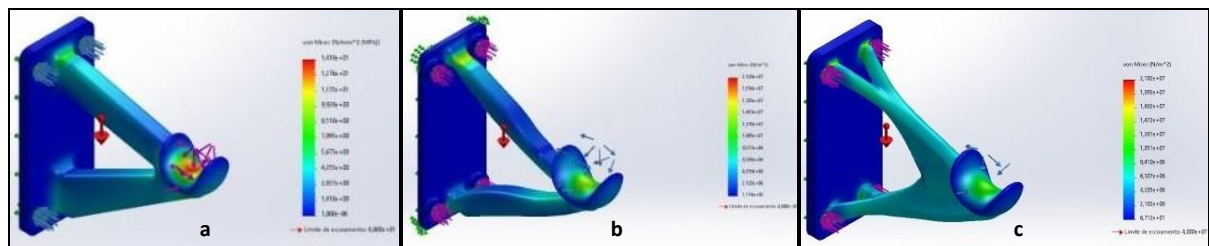
As peças foram então avaliadas em na ferramenta Solidworks Simulation 2021 para identificar as resistências esperadas nos modelos, bem como os pontos de fragilidade. Também foram estimados a massa de cada modelo.

### Resultados e discussões

É possível observar, após as simulações de análise estática, que aplicando uma resistência relativa entre a tensão máxima em razão da massa e multiplicando o fator de segurança mensurado, o elemento com otimização de topologia apresenta um resultado mais positivo que o de design generativo e o projeto tradicional, a Tabela 1 apresenta o compilado de dados obtidos com os ensaios. A Figura 2 apresenta os pontos de concentração de tensão dos ensaios realizados nas peças SVM03, SVM05 e foi escolhido a SVM07-Z+ por ser a de melhor desempenho entre as geradas por design generativo.

**Tabela 1.** Tabela dos dados obtidos com a simulação, com os modelos de projeto tradicional (CAD), otimização de topologia (OT) e design generativo (DG).

Modelo de peça	Modelo	Massa (g)	T. máx. no modelo (MPa)	Desl. máxima (mm)	Fator de segurança
SVM03 (PLA)	CAD	482,4	14,18	1,296	2,82
SVM05 (PLA)	OT	315,9	21,29	1,272	1,88
SVM07 - SR (PLA)	DG	359,6	61,00	1,949	0,66
SVM07 - X+ (PLA)	DG	357,0	56,71	1,981	0,71
SVM07 - Y+ (PLA)	DG	355,7	71,15	2,155	0,56
SVM07 - Z+ (PLA)	DG	357,5	21,02	1,847	1,90



**Figura 2.** Resultados das distribuições de tensões na simulação das peças: a) SVM03, b) SVM05, c) SVM07-Z+.

A relação entre tensão relativa e fator de segurança explica uma eficiência no desempenho da peça criada, pois há uma utilização otimizada dos recursos, tanto para os modelos criados por otimização de topologia, quanto aos criados por design generativo. Os modelos SVM07-SR+, SVM07-X+ e SVM07-Y+ apresentam uma tensão superior que a do limite, isso implicará numa falha da peça, portanto, são descartadas suas fabricações para um teste físico futuro.

Ainda é necessário aplicar o estudo com as peças físicas, mas o que literatura indica é que depende da direção de impressão um melhor resultado de resistência mecânica (Cavalcanti, et al., 2022). Não há uma conclusão se as ferramentas de design generativo e de otimização da topologia são capazes de antecipar os problemas relacionados a adesão entre camadas na impressão 3D.

O projeto tradicional ainda é o mais conservador em relação aos demais, por ter um fator de segurança alto, mas isso resulta num uso maior de matéria-prima e tempo mais longo de projeto, impactando negativamente na eficiência no uso de recursos.

### Considerações finais

A geometria gerada é orgânica e possui uma base de dados para a sua criação, mas precisa ser identificado o fator de segurança que permita o projeto ter a aplicação correta em campo de utilização. As ferramentas computacionais trazem um reforço ao projeto mecânico em otimização de recursos materiais e humanos, pois agiliza processos anteriormente demorados,

que dependiam de conhecimento maior do projetista para definições mais assertivas. Há uma necessidade de aplicar em ensaios físicos para determinar em estudo mais amplo a eficiência de utilização das peças em campo, e garantir os resultados obtidos via simulações.

## Referências

Campi, F., et al. (2022). CAD-integrated design for manufacturing and assembly in mechanical design. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, 35(3), 282-325.

Cavalcante, A. A., et al. (2022). Correlação entre parâmetros de impressão 3D e a resistência mecânica anisotrópica de peças impressas em PLA.

Gardan, J. (2019). Smart materials in additive manufacturing: state of the art and trends. **Virtual and Physical Prototyping**, 14(1), 1-18.

JIHONG, Z. H. U. et al. A review of topology optimization for additive manufacturing: Status and challenges. **Chinese Journal of Aeronautics**, v. 34, n. 1, p. 91-110, 2021.

Li, L., et al. (2020). A survey of feature modeling methods: Historical evolution and new development. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 61, 101851.

Shin, S., et al. (2021). Machine learning-based topology optimization: A review. In: **The 2021 world congress on advances in structural engineering and mechanics (ASEM21)**. 2021

Telikani, A., et al. (2021). Evolutionary machine learning: A survey. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, 54(8), 1-35.

Zhang, J., & An, Q. (2023). Topology optimization of fiber reinforced polymer lattice structures for additive manufacturing. **Composites Science and Technology**, 242, 110144.