

Otimização de eixos para nautimodelos: Análise comparativa entre fibra de carbono e aço inoxidável

Edry Antonio Garcia Cisneros

Universidade do Estado do Amazonas – Amazonas

Bryan Robert Hall

Universidade do Estado do Amazonas – Amazonas

Neirival Rodrigues Pedraça Junior

Universidade do Estado do Amazonas – Amazonas

Daniel Guzman del Rio

Universidade do Estado do Amazonas – Amazonas

RESUMO

Este artigo investiga a viabilidade de substituir eixos de aço inoxidável por eixos de fibra de carbono em nautimodelos, utilizando simulações no software ANSYS. Os resultados indicam que os eixos de fibra de carbono requerem diâmetros maiores para alcançar resistência mecânica similar, o que pode comprometer o desempenho hidrodinâmico e a montagem do modelo. Além disso, questões como dificuldade de fabricação, risco de delaminação e custo elevado tornam a fibra de carbono menos viável, apesar de sua leveza.

Palavras-chave: Fibra de carbono, Aço inoxidável, Simulação ANSYS, Nautimodelo.

1 INTRODUÇÃO

Este artigo analisa a viabilidade da utilização de eixos de fibra de carbono em um nautimodelo, comparando-os com os tradicionais eixos de aço inoxidável. Utilizando o software ANSYS, foram realizadas simulações para determinar as propriedades mecânicas e a adequação estrutural dos eixos de fibra de carbono em diferentes diâmetros, comparando os resultados com um eixo de aço inox de 10 mm de diâmetro. As simulações mostraram que, para alcançar a mesma resistência mecânica que o eixo de aço inox, o eixo de fibra de carbono necessitaria de um diâmetro muito maior, o que comprometeria o encaixe de outros componentes e o desempenho hidrodinâmico do modelo. Além disso, a maior dificuldade de fabricação, o risco de delaminação, e o elevado custo tornam a utilização de eixos de fibra de carbono menos viável, apesar dos benefícios marginais de redução de peso.

A busca por materiais de alta performance que combinem resistência mecânica e baixo peso é uma constante em várias áreas da engenharia, incluindo a indústria náutica. Nos modelos náuticos, a eficiência e a confiabilidade dos componentes são cruciais para um desempenho otimizado. Tradicionalmente, eixos de aço inoxidável têm sido amplamente utilizados devido às suas excelentes propriedades mecânicas e



resistência à corrosão. No entanto, a fibra de carbono vem ganhando destaque como um material alternativo, principalmente devido à sua alta relação resistência/peso.

Aço Inoxidável: O aço inoxidável é um material amplamente utilizado em aplicações onde são requeridas alta resistência mecânica e resistência à corrosão. Suas propriedades incluem:

- Alta resistência à tração e à fadiga.
- Boa resistência à corrosão, especialmente em ambientes marinhos.
- Relativa facilidade de fabricação e disponibilidade.
- **Fibra de Carbono:** A fibra de carbono é conhecida por suas excepcionais propriedades mecânicas, sendo utilizada em indústrias de ponta como a aeronáutica e automobilística. Suas características incluem:
 - Alta resistência à tração.
 - Baixo peso específico, proporcionando uma alta relação resistência/peso.
 - Boa resistência à corrosão, embora menos resistente a impactos e suscetível à delaminação.

1.1 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

A substituição de eixos de aço inoxidável por eixos de fibra de carbono em nautimodelos poderia teoricamente proporcionar uma redução significativa no peso, melhorando a eficiência e o desempenho do modelo. No entanto, é fundamental avaliar se a fibra de carbono pode oferecer a mesma resistência mecânica e confiabilidade que o aço inoxidável, sem comprometer a integridade estrutural e funcional do modelo.

Este estudo visa comparar os dois materiais através de simulações realizadas no software ANSYS. A análise se concentrará em determinar os diâmetros necessários dos eixos de fibra de carbono para alcançar resistência mecânica comparável aos eixos de aço inoxidável, considerando também os efeitos na montagem e desempenho geral do nautimodelo.

2 OBJETIVO

Analisar a viabilidade da utilização de eixos de fibra de carbono em um nautimodelo, comparando-os com os tradicionais eixos de aço inoxidável mediante a simulação utilizando o software ANSYS.

3 METODOLOGIA

3.1 CONFIGURAÇÃO DOS EIXOS

Os eixos testados possuem as seguintes características:

- **Material:** Fibra de carbono com módulo de elasticidade de 350 GPa.
- **Diâmetros:** 10 mm, 15 mm e 20 mm.
- **Comprimento:** 500 mm.



3.2 CÁLCULO DO MOMENTO E TORQUE

Para determinar o momento e o torque aplicados aos eixos, foram utilizados os seguintes parâmetros do motor Imobras 101410212:

- **Potência (P):** 240 W.
- **Velocidade de rotação (n):** 2900 rpm.
- **Raio (r):** 0,005 m para o eixo de 10 mm de diâmetro.

3.3 CONVERTER A ROTAÇÃO PARA VELOCIDADE ANGULAR

- A rotação do motor é de 2900 rpm (rotações por minuto).
- Convertemos rpm para rad/s usando a formula:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot rpm}{60}$$

Substituindo:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 2900}{60} \approx 303,93 \text{ rad/s}$$

3.4 CALCULAR O TORQUE

- Usa-se a formula da potencia

$$P = T \cdot \omega$$

- Reorganizando para encontrar o torque:

$$T = \frac{P}{\omega}$$

- Substituindo os valores:

$$T = \frac{240}{303,93} \approx 0,79 \text{ Nm}$$

3.5 PROCEDIMENTO DE SIMULAÇÃO NO ANSYS MECHANICAL

3.5.1 Modelagem do Eixo

Os modelos CAD dos eixos foram criados com os diâmetros especificados e importados para o ANSYS Mechanical.

3.5.2 Definição do Material

O material atribuído foi a fibra de carbono, com módulo de elasticidade de 350 GPa.

3.5.3 Geração da Malha

Uma malha adequada foi gerada para cada modelo de eixo, garantindo precisão nos resultados.

3.5.4 Aplicação das Condições de Contorno

Extremidade Fixa: Uma extremidade do eixo foi completamente fixa para simular a fixação rígida.

Aplicação do Momento: Na extremidade oposta, foi aplicado o momento calculado de 0,79 Nm.

3.5.5 Execução da Análise Estática

O solver foi configurado para executar a análise estática e calcular as tensões e deformações nos eixos.

3.5.6 Resultados

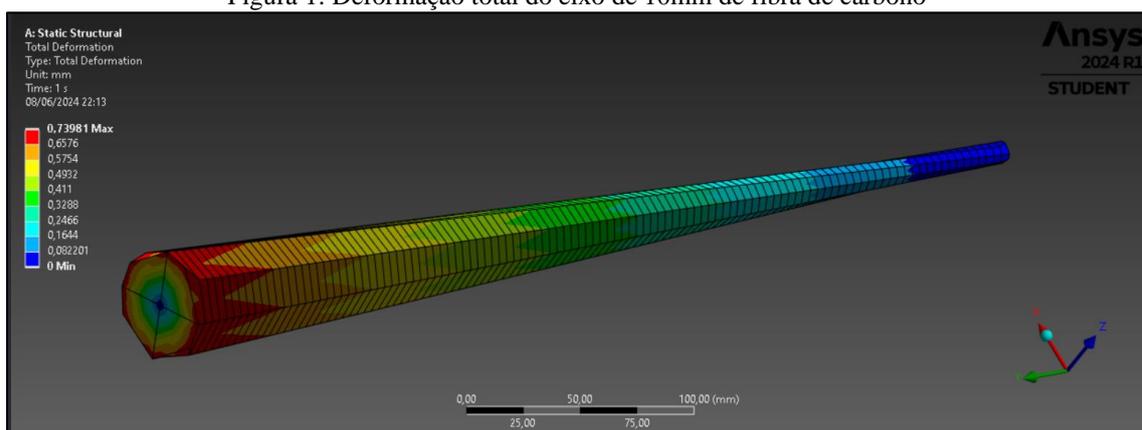
Foram analisados os parâmetros de Deformação Total, Deformação Específica (Strain) e Tensão (Stress) para cada diâmetro de eixo.

4 DESENVOLVIMENTO

Os resultados das simulações para os eixos de fibra de carbono e aço inoxidável são apresentados abaixo:

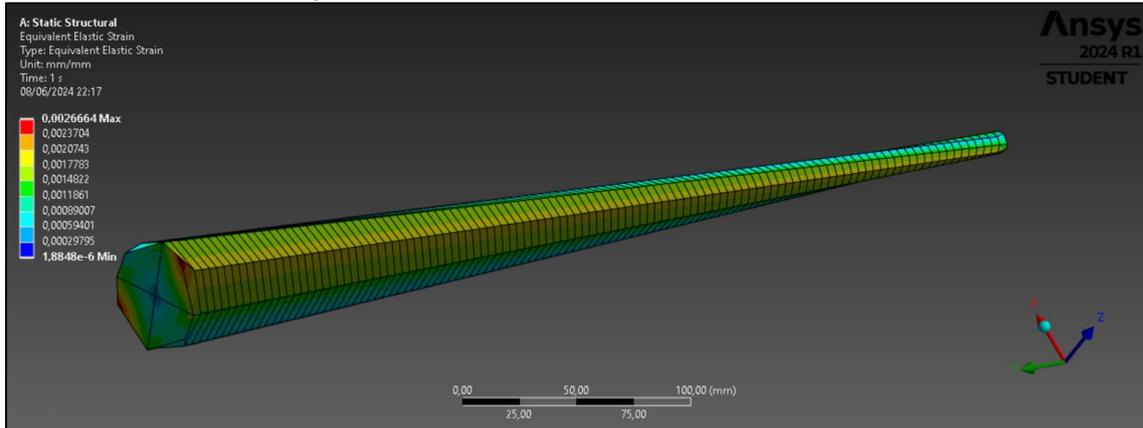
4.1 SIMULAÇÃO PARA O MATERIAL FIBRA DE CARBONO COM DIÂMETRO DO EIXO IGUAL A 10 MM

Figura 1: Deformação total do eixo de 10mm de fibra de carbono



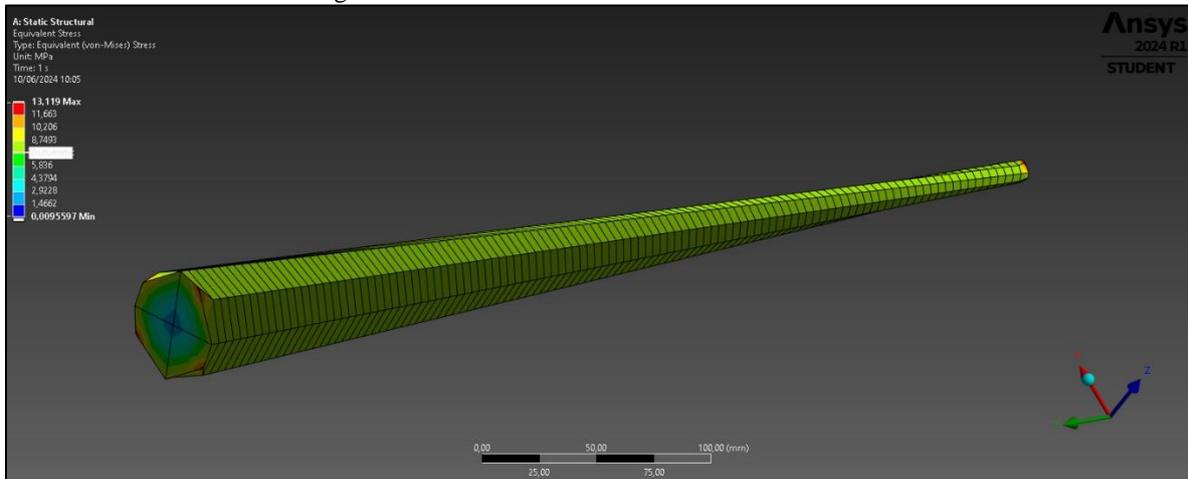
Fonte: Autores, 2024

Figura 2: Strain do eixo de 10mm de fibra de carbono



Fonte: Autores, 2024

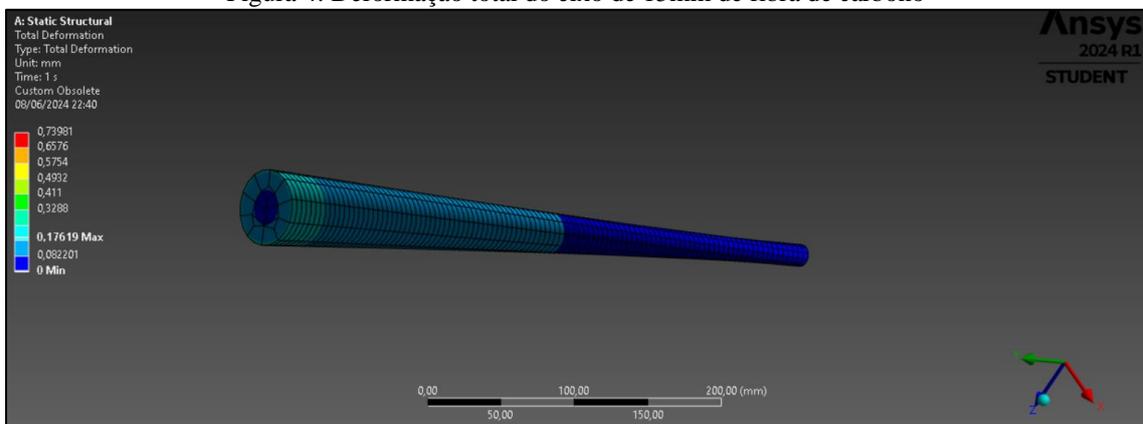
Figura 3: Stress do eixo de 10mm de fibra de carbono



Fonte: Autores, 2024

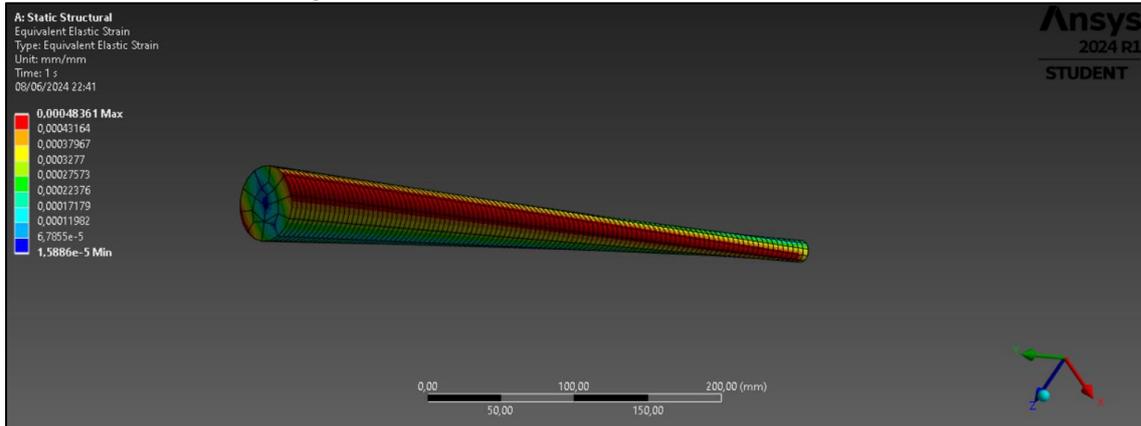
4.2 SIMULAÇÃO PARA O MATERIAL FIBRA DE CARBONO COM DIÂMETRO DO EIXO IGUAL A 15 MM

Figura 4: Deformação total do eixo de 15mm de fibra de carbono



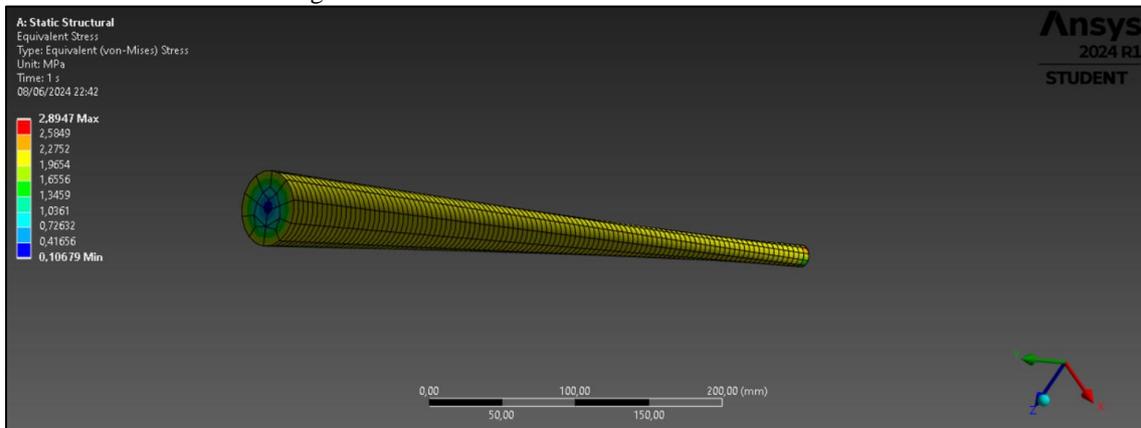
Fonte: Autores, 2024

Figura 5: Strain do eixo de 15mm de fibra de carbono



Fonte: Autores, 2024

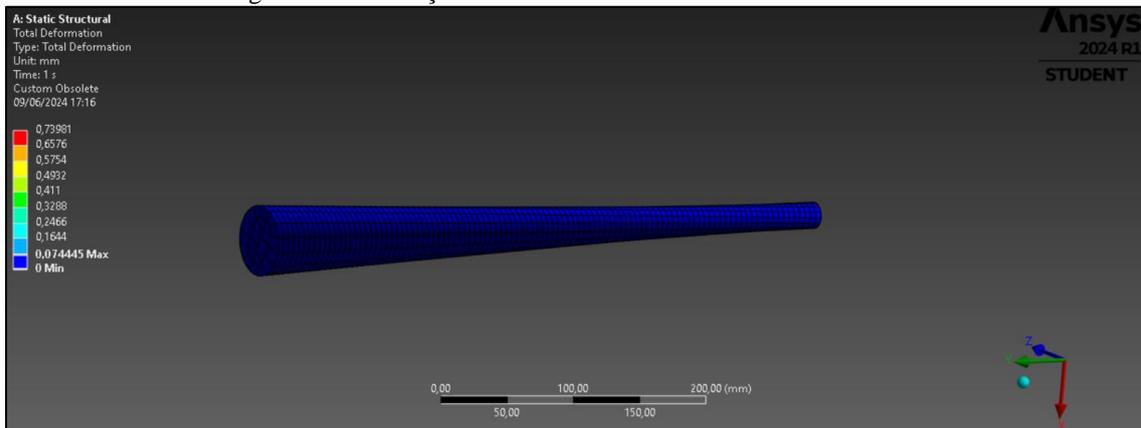
Figura 6: Stress do eixo de 15mm de fibra de carbono



Fonte: Autores, 2024

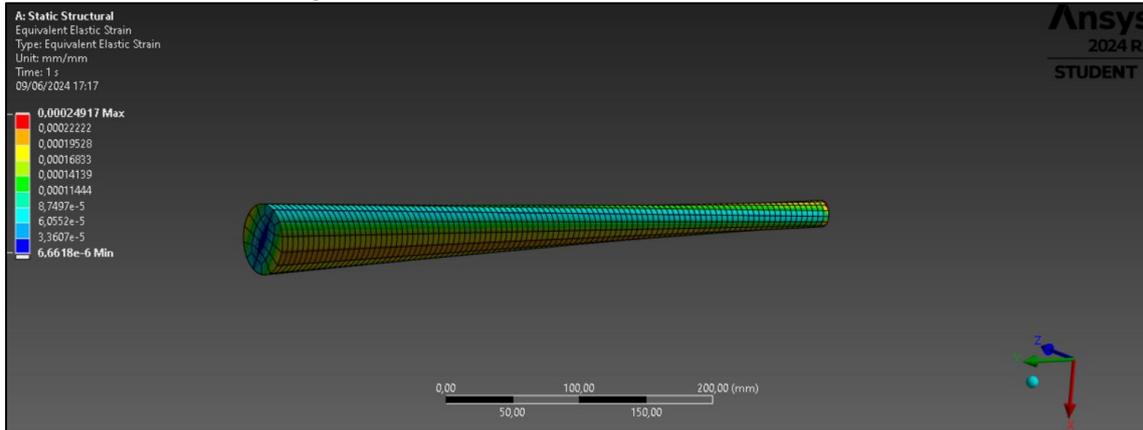
4.3 SIMULAÇÃO PARA O MATERIAL FIBRA DE CARBONO COM DIÂMETRO DO EIXO IGUAL A 20 MM

Figura 7: Deformação total do eixo de 20mm de fibra de carbono



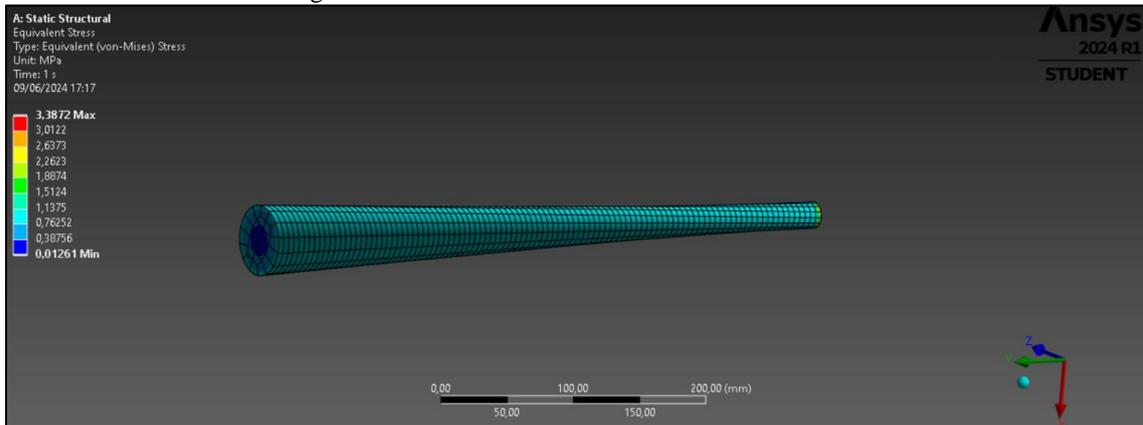
Fonte: Autores, 2024

Figura 8: Strain do eixo de 20mm de fibra de carbono



Fonte: Autores, 2024

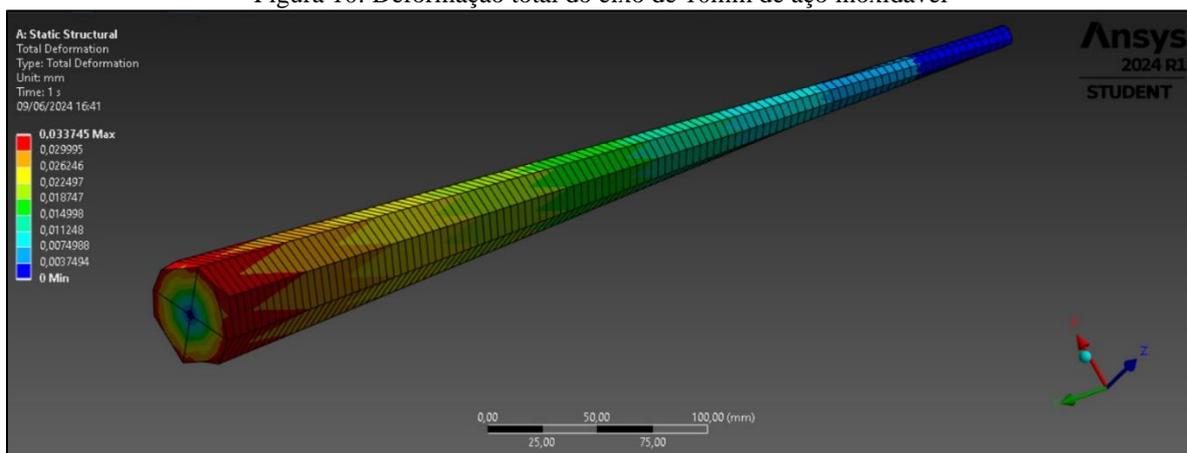
Figura 9: Stress do eixo de 20mm de fibra de carbono



Fonte: Autores, 2024

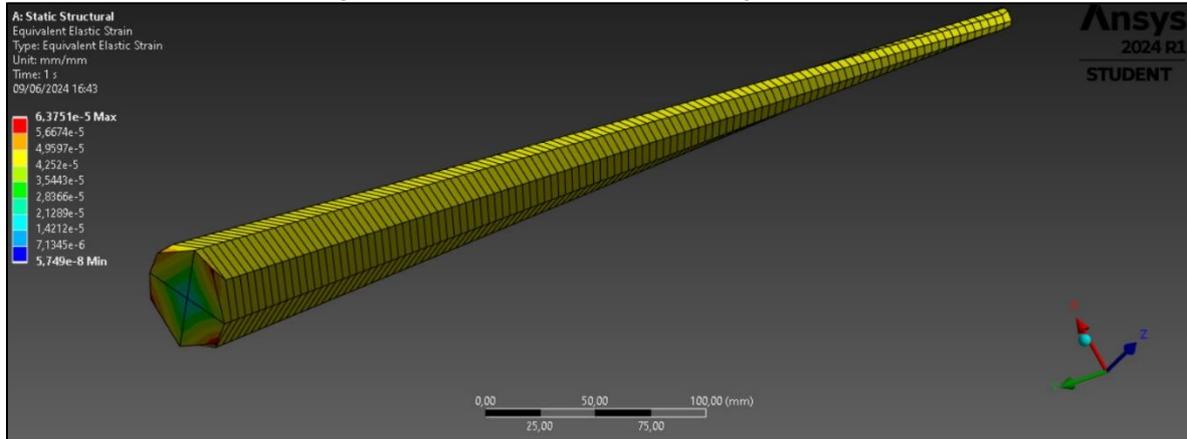
4.4 SIMULAÇÃO PARA O MATERIAL AÇO INOX COM DIÂMETRO DO EIXO IGUAL A 10 MM

Figura 10: Deformação total do eixo de 10mm de aço inoxidável



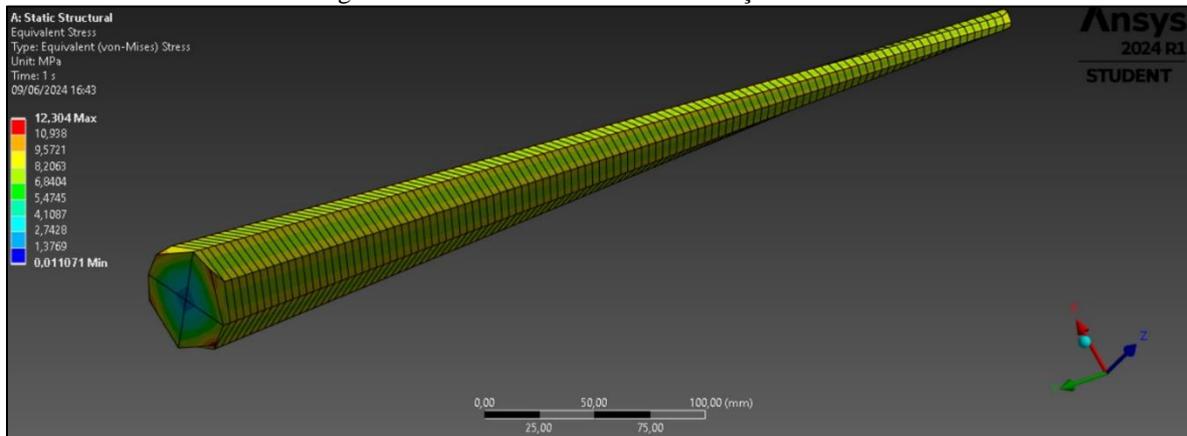
Fonte: Autores, 2024

Figura 11: Strain do eixo de 10mm de aço inoxidável



Fonte: Autores, 2024

Figura 12: Stress do eixo de 10mm de aço inoxidável



Fonte: Autores, 2024

5 DISCUSSÃO

Os resultados indicam que, para a fibra de carbono alcançar a mesma resistência mecânica que o aço inoxidável, o diâmetro do eixo de fibra de carbono precisaria ser significativamente maior. Este aumento de diâmetro compromete o encaixe de outros componentes e a eficiência fluidodinâmica do nautimodelo. Além disso, fatores como a maior dificuldade de fabricação, o risco de delaminação e o custo elevado reduzem a viabilidade da utilização de fibra de carbono, apesar da redução de peso.

Na tabela embaixo são mostrados os resultados comparativos



Tabela 1: Comparativo entre os resultados das simulações.

Material	Diâmetro (mm)	Deformação Total (mm)	Strain (mm/mm)	Stress (Mpa)
Fibra de Carbono	10	0,73981	0,00267	13,119
	15	0,17619	0,00048	2,8947
	20	0,07445	0,00025	3,3872
Aço Inoxidável	10	0,03375	0,00006	12,304

Fonte: Autores, 2024

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise demonstrou que os ganhos marginais em termos de redução de peso ao utilizar eixos de fibra de carbono não compensam os pontos negativos associados. A necessidade de aumentar o diâmetro do eixo para alcançar resistência comparável ao aço inoxidável, junto com as dificuldades de fabricação e custos elevados, tornam os eixos de fibra de carbono menos atrativos para aplicações em nautimodelos.

Seria de maior utilidade continuar os estudos com geometrias variáveis dos eixos e diâmetros para finalmente chegarmos a considerações definitivas.



REFERÊNCIAS

- BARBOZA, Thales Rodrigues; LIMA, Matheus Alves; SCHNEIDER, Bruno de Oliveira; MANTEGAZINI, Diunay Zuliani; NASCIMENTO, Andreas. Análise por elementos finitos de um eixo utilizado em uma bobina de papel com auxílio do software ANSYS™. *Engenharias*, v. 27, n. 120, 18 mar. 2023. DOI: 10.5281/zenodo.7761678.
- YU-MEI, Y. The use of finite-element analysis in structural design of shaft. *Journal of Shenyang Electric Power Institute*, 2001.
- YONG-SHENG, R.; QIYI, D.; XINGQI, Z. Modeling and dynamic analysis of rotating composite shaft. *Journal of Vibroengineering*, v. 15, p. 1790-1806, 2013.
- BARBOSA, P.; LARA-MOLINA, F.; SILVA, I.; CAVALINI, A.; STEFFEN, V. Uncertain and sensitivity analyses of a composite shaft. *Meccanica*, v. 55, p. 35-48, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11012-019-01109-w>.
- GHONEAM, S.; HAMADA, A.; EL-ELAMY, M. Dynamic analysis of a rotating composite shaft. *Advances in Science and Technology*, v. 20, p. 20-20, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.21608/asat.2011.23274>.
- RICHARDET, J.; CHATELET, E.; LORNAGE, D. A three dimensional modeling of the dynamic behavior of composite rotors. In: *Proceedings of ISROMAC-8 (The 8th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery)*, March 2000, Honolulu, Hawaii, USA, p. 988–994.
- GUBRAN, H. B. H. Dynamics of hybrid shafts. *Mechanics Research Communications*, v. 32, p. 368-374, 2005.