Gestão:

Reunião de Acompanhamento e Avaliação - RAA 2026

ANÁLISE DA VIDA À FADIGA DE BAIXO CICLO EM FLEXITUBOS A PARTIR DE MODELAGEM NUMÉRICA NO *SOFTWARE* ANSYS

Costa, E. A. A. M.[1]; Corbani, S.[2]

[1]Bolsista do PRH 09/UFRJ, curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro – RJ. E-mail: emmanuel.costa@poli.ufrj.br

[2]Docente do departamento de Estruturas da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ. E-mail: corbani@poli.ufrj.br

prh anp 09/UFRJ

MOTIVAÇÃO

Os **flexitubos** (*coiled tubing*) são tubos contínuos de aço, enrolados em carretéis, usados na intervenção, completação e estimulação de poços de petróleo e gás. A cada manobra, o tubo sofre até **seis eventos de flexão** e endireitamento ao passar pelo carretel e pelo arco guia (*gooseneck*), com deformações acima do limite elástico: é a **fadiga de baixo ciclo**, uma das principais causas de falha em campo.

A vida à fadiga pode ser estimada pela abordagem deformação-vida, mas os parâmetros de fadiga das grades de flexitubo são escassos e podem variar. Essa **incerteza** não é considerada pelos modelos determinísticos atuais, o que motiva **uma abordagem probabilística**.

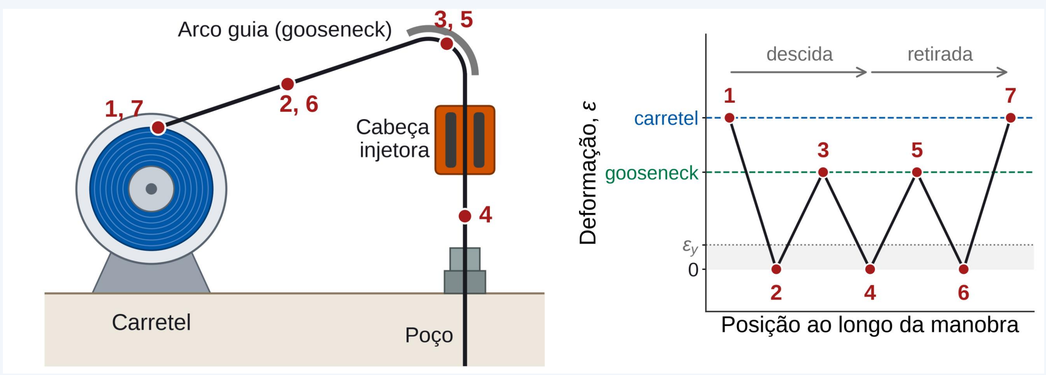


Figura 1 – Posições do flexitubo em uma manobra (esquerda) e histórico de deformações correspondente (direita). Fonte: elaboração própria.

OBJETIVOS

Objetivo geral: avaliar como a variabilidade dos **parâmetros do aço CT110** afeta a vida à fadiga de baixo ciclo de flexitubos, com modelagem numérica no ANSYS e análise de sensibilidade global.

Objetivos específicos:

- Obter as deformações do tubo no carretel com modelos tridimensionais de elementos finitos, com relação constitutiva de Ramberg-Osgood;
- Calcular a vida à fadiga com a equação de Coffin-Manson;
- Identificar, pelos índices de Sobol, os parâmetros mais influentes.

APLICAÇÃO NO SETOR DE PETRÓLEO E ENERGIA

O flexitubo é usado em quase todas as fases da vida de um poço, com menor tempo e custo que as sondas convencionais. Em operações *offshore*, o espaço limitado reduz o tamanho dos carretéis e aumenta as deformações no tubo, tornando a fadiga mais crítica. O descarte das colunas segue critérios simplificados, como a metragem acumulada, que tendem a ser conservadores.

- Fraturamento
- Limpeza
- Perfilagem
- *Workover*

Ganho potencial: saber quais parâmetros mais influenciam a vida orienta a caracterização do aço e embasa critérios de descarte mais racionais.

Figura 2 – Flexitubo em operação *offshore*. Fonte: Jereh (2021).

REFERÊNCIAS

SHAOHU, L. et al. Experimental and numerical simulation study on fatigue life of coiled tubing with typical defects. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 198, 108212, 2021.

ZHAO, G. et al. Simulation of ultra-low cycle fatigue cracking of coiled tubing steel based on cohesive zone model. **Engineering Fracture Mechanics**, v. 235, 107201, 2020.

RESULTADOS OBTIDOS

Metodologia

A metodologia combina análise de elementos finitos no ANSYS e rotina em Python (Figura 4). A dispersão de 10% se baseia nas diferenças de até 10% entre vidas previstas e medidas relatadas por Zhao et al. (2020).

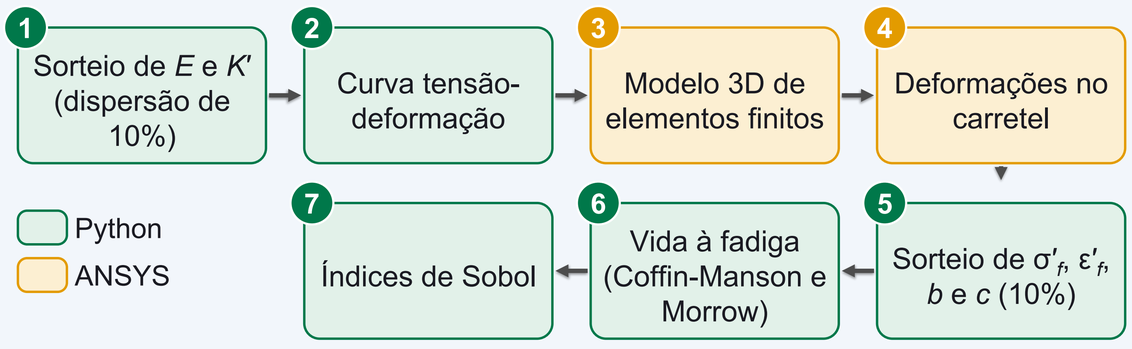


Figura 4 – Fluxograma da metodologia.

O comportamento cíclico do material é descrito pela equação de Ramberg-Osgood e a vida à fadiga, pela equação de Coffin-Manson, com correção de tensão média de Morrow:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \left(\frac{\sigma}{K'}\right)^{1/n'} \qquad \frac{\Delta\varepsilon}{2} = \frac{\sigma'_f - \sigma_m}{E}(2N_f)^b + \varepsilon'_f(2N_f)^c$$

em que E é o módulo de elasticidade; K' e n', o coeficiente e o expoente cíclicos; σ'_f, ε'_f, b e c, os parâmetros de fadiga; σ_m, a tensão média; e N_f, o número de ciclos até a falha.

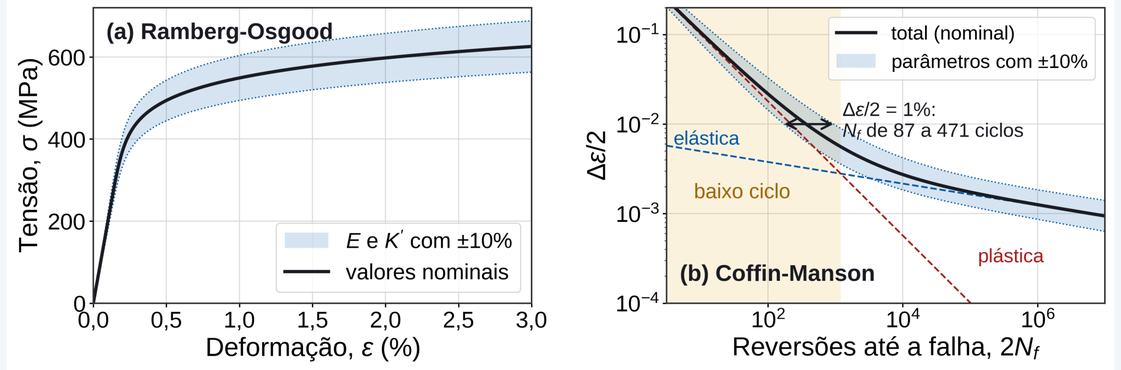


Figura 5 – Curva tensão-deformação cíclica com E e K' nominais e variação de ±10% (a) e curva deformação-vida (b) do aço CT110. Fonte: elaboração própria, com parâmetros de fadiga de Shaohu et al. (2021).

Resultados até o momento

120 análises no ANSYS realizadas

10% dispersão nos parâmetros do material

3 não linearidades: plasticidade, grandes deslocamentos e contato

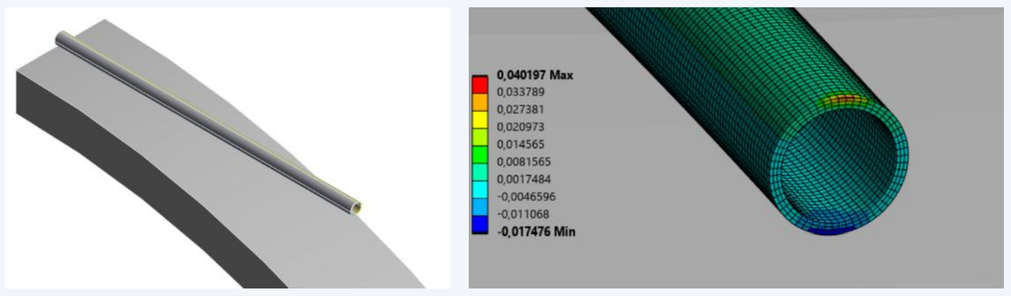


Figura 6 – Modelo do flexitubo sobre o carretel (esquerda) e deformação ε_{11} de um dos casos analisados (direita).

Cada uma das 120 análises usou um conjunto de parâmetros do material sorteado; elas ainda serão pós-processadas. Em uma simulação preliminar, a deformação ε_{11} segue o padrão esperado para a flexão: tração na fibra superior e compressão na fibra em contato com o carretel.

1. **Modelo 3D** ✓
2. **120 análises** ✓
3. Pós-processamento
4. Vida à fadiga
5. Índices de Sobol

Resultados esperados: vidas à fadiga inferiores a centenas de ciclos, como indica a literatura, e a identificação dos parâmetros do material que mais impactam a vida à fadiga.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho teve apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis PRH-ANP, gerido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil, processo nº 2025/02911-8.