

## ANÁLISE DE VIDA EM FADIGA DE SUPORTE TIPO JACKET PARA TURBINA EÓLICA OFFSHORE

Abner Gabriel Miranda Araújo<sup>1</sup>; Ícaro Figueiredo Vilasboas<sup>2</sup>; Roberto Guilherme Lopes<sup>3</sup>; Valter Estevão Beal<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Bolsista de Iniciação Científica – ANP; abner.araujo@fbter.org.br

<sup>2,3,4</sup> Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador - BA; <sup>2</sup>icaro.vilasboas@fieb.org.br;

<sup>3</sup>roberto.lopes@fieb.org.br; <sup>4</sup>valtereb@fieb.org.br

### RESUMO

O setor da indústria da geração de energia eólica vem ganhando grande destaque em um mundo em que se busca cada vez mais alternativas às formas de energias poluentes. Em especial, os parques de geração *offshore* tem ganhado mais espaço por conta dos avanços tecnológicos que garantem uma instalação cada vez mais segura. O problema de falha por fadiga ocorre em componentes e estruturas que estão expostas a carregamentos dinâmicos. As falhas por fadiga ocorrem abruptamente, podendo causar desastres que podem acabar gerando prejuízos, mortes e problemas socioambientais. Portanto, faz-se necessário o estudo e a consideração desse fenômeno no projeto de estruturas. Este estudo busca analisar a vida em fadiga de um suporte de torre eólica do tipo *jacket* utilizando o método dos elementos finitos do software ANSYS®. Ao fim, destaca-se a possibilidade de um estudo mais aprofundado utilizando abordagens computacionais indicadas por recomendações práticas, como a DNV ou IIW.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fadiga; Energia Eólica; Elementos Finitos; Estruturas *Offshore*.

### 1. INTRODUÇÃO

A indústria da geração de energia eólica tem tido um importante papel no que se refere a transição das matrizes energéticas para fontes renováveis e limpas. A primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública foi instalada na Dinamarca em 1976. Atualmente, segundo a *Global Wind Energy Council* existem cerca de 314 mil turbinas no mundo, com uma capacidade de produção de 906 GW.<sup>1,2</sup> No Brasil a primeira turbina eólica foi instalada em Fernando de Noronha em 1992 e atualmente o país conta com cerca de 904 parques, responsáveis pela geração de aproximadamente 26 GW, que representa 13,4% da matriz energética nacional, suficiente para abastecer cerca de 124 milhões de habitantes.<sup>3</sup> A indústria da geração de energia eólica *offshore* também vem se desenvolvendo globalmente nos últimos anos, contando com cerca de 12 mil turbinas em funcionamento, responsáveis pela geração de 59 MW.<sup>4</sup> Estudos mostram que o potencial de geração *offshore* é maior do que *onshore*, tendo também benefícios nas questões socioambientais relacionados à sua aplicação, já que a implantação de parques *offshore* possuem menos impedimentos relacionados para sua aplicação.<sup>6,7</sup>

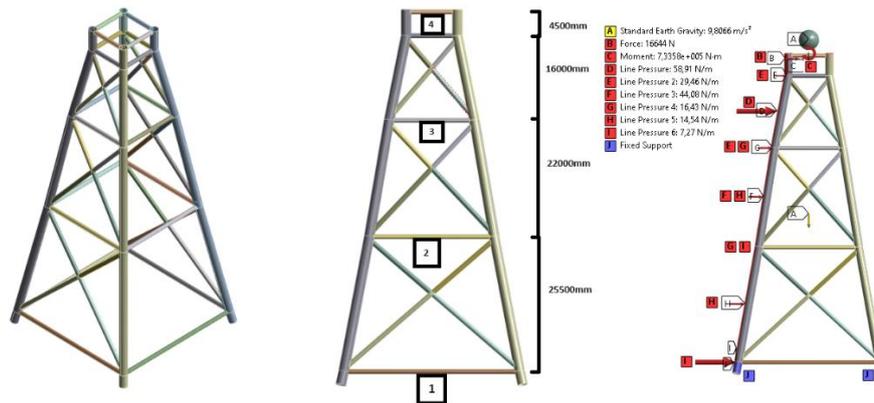
Os aerogeradores *offshore* tem grande potencial para problemas por fadiga, por conta das condições a quais a estrutura está exposta durante seu uso. Falhas por fadiga ocorrem em estruturas e componentes que estão expostos a condições de carregamentos dinâmicos, sendo os esforços trativos são os principais responsáveis pelo desenvolvimento da trinca em regiões críticas. A fratura por fadiga ocorre de maneira abrupta, podendo gerar danos catastróficos, como o ocorrido na plataforma Ranger I instalada no golfo do México, que afundou em 1979 por uma falha por fadiga em uma das suas pernas de polpa. O acidente matou 8 das 30 pessoas que estavam na plataforma.<sup>5</sup>

Por conta disso, o estudo desse fenômeno e a sua consideração em projetos é de grande importância para garantir o desenvolvimento de uma estrutura com aplicação segura. Este estudo busca analisar a vida em fadiga da estrutura de uma turbina eólica *offshore* do tipo *jacket* a partir do método dos elementos finitos do software ANSYS®.

### 2. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido utilizando como base o estudo realizado por Chen *et al.* (2016),<sup>8</sup> em que os autores investigam diversos tipos de estruturas para suporte de aerogeradores. Porém, o artigo publicado não investigou o efeito de carregamentos dinâmicos impostos à estrutura, portanto, o fenômeno da fadiga não foi abordado em seu desenvolvimento. Este estudo utilizou-se do modelo de estrutura do tipo *jacket* disponibilizado, como também das cargas e restrições que foram aplicadas no artigo. A estrutura foi então modelada no software SolidWorks® e o modelo final, bem como suas dimensões podem ser conferidas na Figura 1. As colunas principais possuem diâmetro externo de 1800 mm com espessura de 40 mm. Já as vigas de apoio possuem um diâmetro externo de 900 mm com espessura de 30 mm. Os comprimentos das vigas horizontais identificadas de 1 a 4 são de: 29437,03 mm, 20437,77 mm, 13436,52 mm e 7441,15 mm respectivamente.

Figura 1: Modelo CAD do suporte tipo *Jacket* e aplicação de cargas.



Fonte: Autor.

Para realização do estudo no software ANSYS® o modelo 3D foi transformado em elementos do tipo casca, já que o modelo e suas dimensões permitem a utilização deste tipo de elemento. A utilização do modelo de casca 2D é recomendado para estruturas em que duas de suas dimensões são muito maiores que a outra. Com o modelo definido, foi gerado uma malha para o modelo com tamanho médio de elemento de 150 mm. A malha contou principalmente com elementos quadráticos de primeira ordem, com qualidade média dos elementos calculada pelo software com valor de 0,95.

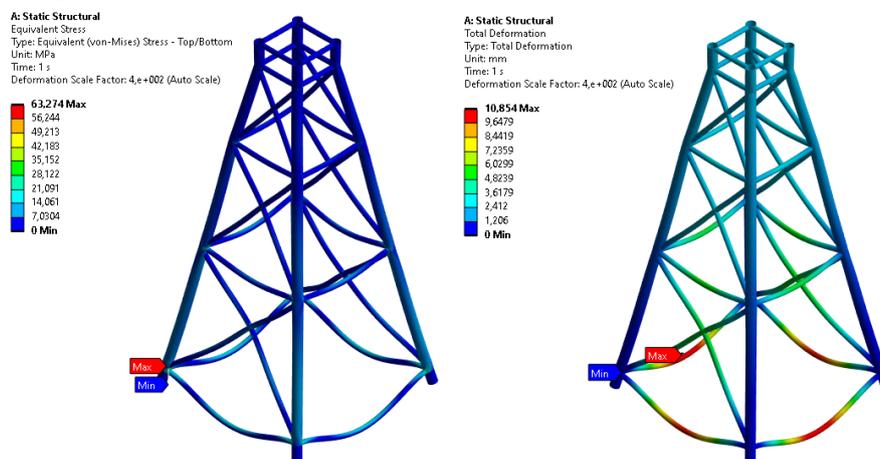
As cargas aplicadas ao modelo, podem ser visualizadas na Figura 1 à direita. Na parte superior da estrutura foi aplicado o peso da estrutura da torre com valor de 1,86 MN indicado pela letra “A”; ainda na parte superior foi aplicado uma força e um momento por conta do vento, de 16,644 kN e 733,584 kN.m indicadas respectivamente pelas letras “B” e “C”. Foram aplicados três carregamentos distribuídos para os carregamentos do vento, das ondulações e da correnteza, com valores de 32,73\*De N.m, 200,38\*As N.m e 8,08\*De N.m, respectivamente indicadas na figura das letras “D” a “I”. “De” se refere ao diâmetro externo e “As” a área de seção transversal da estrutura onde o carregamento foi aplicado. A estrutura foi fixada pelas faces indicadas por azul pela letra “J”.

Com os carregamentos definidos, finalmente foi possível realizar a análise pretendida. Foi incluído no estudo a ferramenta de análise de vida em fadiga do software, a condição de carregamento dinâmico foi definida como “Ratio”, com valor de 0,2 para a carga mínima e incluído um fator de 1,5 para o carregamento máximo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a análise estática realizada foi possível obter valores de tensão e deslocamento para estrutura. O valor máximo de tensão combinada encontrado foi de 63,27 MPa localizado na junção entre uma das vigas e a coluna principal. O valor máximo de deslocamento foi de aproximadamente 11 mm localizado na viga inferior. Ambos resultados podem ser visualizados na Figura 2.

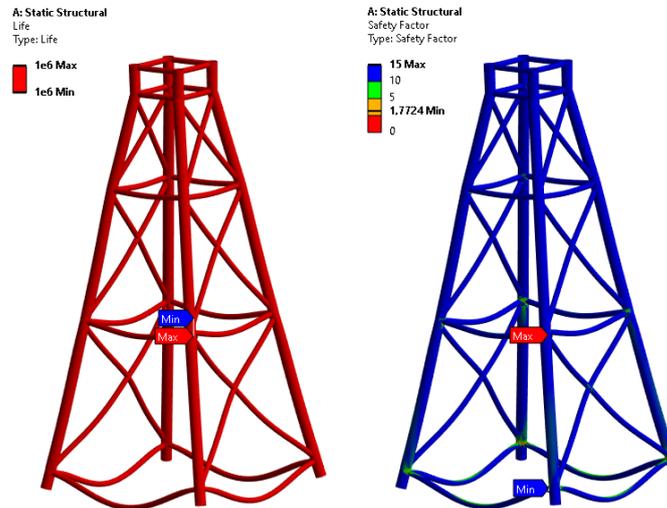
Figura 2: Resultados de Tensão à esquerda e Deslocamento à direita.



Fonte: Autor.

A análise de fadiga realizada pela ferramenta do software ANSYS®, calculou uma vida maior que  $10^6$  para toda estrutura, caracterizando como vida infinita. O fator de segurança mínimo calculado utilizando o método de Goodman para a estrutura foi de 1,77, localizado na junção entre uma das vigas inferior e a coluna principal. Os resultados da análise podem ser observados na Figura 3 abaixo.

Figura 3: Resultados do Estudo de Fadiga: à esquerda vida e à direita fator de serviço.



Fonte: Autor.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo realizou uma análise de fadiga em uma estrutura de suporte de turbina eólica *offshore* do tipo *jacket*. Os resultados obtidos pela ferramenta de cálculo de vida em fadiga do software ANSYS® são considerados satisfatórios para a estrutura, com bons valores de vida em fadiga e fator de segurança. A partir dos resultados obtidos, seria interessante realizar uma análise mais aprofundada, utilizando métodos numéricos indicados em recomendações de projetos para estruturas *offshore*, como a DNV (*Det Norske Veritas*) e IIW (*International Institute of Welding*).

#### 5. REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup> SIMON, Diego Henrique. **ENERGIA EÓLICA-FONTE ALTERNATIVA DE GRANDE IMPORTÂNCIA**. 2020. Disponível em: <https://www.ufsm.br/pet/ciencias-agrarias/2012/09/04/248>. Acesso em: 27 fev. 2024.
- <sup>2</sup> GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (org.). **Global Wind Report 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.ufsm.br/pet/ciencias-agrarias/2012/09/04/248>. Acesso em: 27 fev. 2024.
- <sup>3</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA (Brasil) (org.). **Annual Wind Energy Report 2022**. 2022. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2023/08/WIND-ENERGY-REPORT-2022-1.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2024.
- <sup>4</sup> USA. Office Of Energy Efficiency & Renewable Energy. U.S. Department Of Energy (org.). **Offshore Wind Market Report: 2023 Edition**. 2023. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/wind/articles/offshore-wind-market-report-2023-edition#:~:text=Offshore%20Wind%20Powering%20Up,over%2011%2C900%20operating%20wind%20turbines..> Acesso em: 28 fev. 2024.
- <sup>5</sup> USA. Marine Board Of Investigation Report. U.s. Coast Guard (org.). **Marine Casualty Report: Collapse and Sinking of Mobile Offshore Drilling Unit Ranger I in the Gulf of Mexico on 10 May 1979 with Loss of Life**. 1981. Disponível em: <https://www.dco.uscg.mil/Portals/9/DCO%20Documents/5p/CG-5PC/INV/docs/boards/rangerI.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2024.
- <sup>6</sup> ADEDIPE, O.; ABOLARIN, M. S.; MAMMAN, R. O. **A Review of Onshore and Offshore Wind Energy Potential in Nigeria**. In: , 2018. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. [S. l.]: Institute of Physics Publishing, 2018.
- <sup>7</sup> ESTEBAN, M. Dolores et al. **Why offshore wind energy?.** [S. l.: s. n.], 2011.
- <sup>8</sup> CHEN, I. Wen et al. **Design and analysis of jacket substructures for offshore wind turbines**. *Energies*, [s. l.], v. 9, n. 4, 2016.