

ANÁLISE COMPARATIVA DE FADIGA ENTRE DOIS EIXOS ATRAVÉS DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

VINÍCIUS CÂMARA DE CASTRO¹

¹Discente, UEMA, São Luís-MA, viniciusc-castro@outlook.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: O objetivo desse trabalho é fazer uma análise comparativa da resistência a fadiga entre dois eixos de aço ASE 1045 com geometrias diferentes projetados para uma caixa de redução onde serão alocados no primeiro estágio e comportarão uma engrenagem de dentes retos que proporciona cargas radiais no eixo. A principal ferramenta é o software comercial Ansys para análise de elementos finitos em que na metodologia são trabalhadas as condições de contorno e geração da malha para a análise de um sólido complexo como um eixo. As respostas produzidas mostram que ambos os eixos trabalham bem em condições estáticas, mas a análise de fadiga aponta que apenas um dos eixos pode ser utilizado e ambos estão sujeitos a um reprojeto para melhorar sua integridade estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: Fadiga, eixo, elementos finitos.

COMPARATIVE ANALYSIS OF FATIGUE BETWEEN TWO AXES THROUGH THE FINITE ELEMENT METHOD

ABSTRACT: The objective of this work is to make a comparative analysis of the fatigue strength between two ASE 1045 steel shafts with different geometries designed for a reduction box where they will be allocated in the first stage and will comprise a spur gear that provides radial loads on the shaft. The main tool is the commercial software Ansys for finite element analysis, in which the boundary conditions and mesh generation are worked on for the analysis of a complex solid as an axis. The responses produced show that both axes work well in static conditions but the fatigue analysis points out that only one of the axes can be used and both are subject to a redesign to improve their structural integrity.

KEYWORDS: Fatigue, axis, finite elements

INTRODUÇÃO

Eixos são usados em todas as partes de máquinas rotativas para transmitir movimento e torque de um local para outro (SANTOS, 2011, p.12) assim comportando componentes mecânicos tais como engrenagens, polias e rodas dentadas. Em geral os carregamentos presentes nos eixos ocasionam esforços de flexão, tração, torção ou compressão que comumente atuam de forma combinada em eixos rotativos que segundo SANTOS (2011) faz com que o projetista considere a resistência à fadiga e as cargas estáticas como parâmetros importantes em projetos tendo em vista que as tensões podem provocar a falha do eixo e até mesmo de todo o sistema. SILVA et al (2016) afirma que antes da verificação da vida em fadiga vem a verificação da resistência estrutural pois se o componente não apresentar resistência aos carregamentos estáticos máximos terá pouco ou nenhum ciclo de vida na durabilidade.

Nesse aspecto de qualidade e durabilidade do componente deve-se dar uma atenção especial a falha por fadiga pois segundo Norton (2013) a maioria das falhas em máquinas acontece devido a cargas que variam no tempo, e não a esforços estáticos. As falhas por fadiga geralmente ocorrem em níveis de tensão abaixo da resistência ao escoamento dos materiais e tem a sua formação a partir da nucleação de trincas frequentemente geradas de uma descontinuidade na peça provenientes da

geometria do material, marcas de ferramenta, processo de fabricação ou composição do material. Essas trincas são propagadas devido à tensão cíclica.

A vida em fadiga dos materiais atualmente pode ser calculada através do método analítico com equações disponíveis em diversas literaturas e através de métodos numéricos com análise de elementos finitos. Levando em consideração que para a indústria da manufatura o tempo e custo são extremamente essenciais para a fabricação, teste e desenvolvimento de novos produtos, MÜLLER (2017) diz que muitos problemas de engenharia podem ser descritos por meio de equações diferenciais cuja solução com métodos analíticos são inviáveis com geometrias arbitrárias do cotidiano de engenharia mas com o método de elementos finitos é possível uma aproximação numérica para a resolução dessas equações diferenciais garantindo uma otimização do processo manufatureiro.

MATERIAL E MÉTODOS

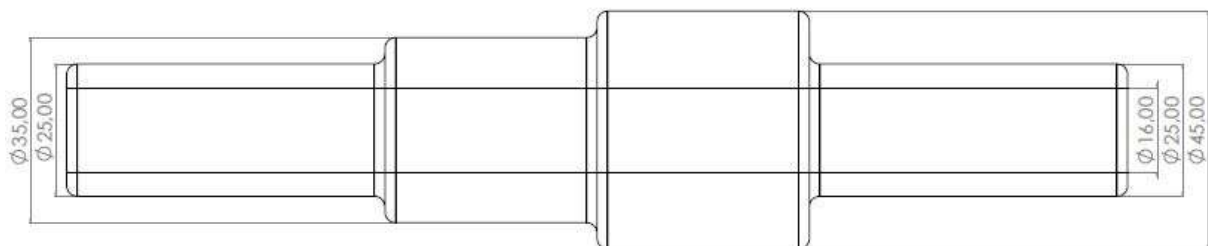
Para fazer a modelagem 3D dos eixos foi utilizado o software comercial Solidworks e para realizar a análise pelo método de elementos finitos foi utilizado o software comercial Ansys.

A principal diferença na geometria dos eixos é que um deles é maciço e o outro é vazado o que compete uma redução de peso ao sistema mecânico, a Figura 1 apresenta a imagem 3D dos eixos. As dimensões dos eixos que possuem 200 mm de comprimento são apresentadas em detalhes na Figura 2, que mostra o diâmetro do furo para o eixo vazado. Além de apresentar o raio de adoçamento aplicado nas regiões de entalhe onde ocorre a mudança de seção geométrica do eixo que são possíveis concentradores de tensão.

Figura 1 – Modelo 3D do eixo maciço e eixo vazado em corte



Figura 2 – Desenho 2D do eixo vazado com dimensão do furo



O material escolhido foi o aço SAE 1045 amplamente empregado na indústria para confecção de componentes mecânicos como eixos. Para a análise estrutural utilizando o Ansys é necessário informar as propriedades do material, descritas na Tabela 1, e a curva S-N para realizar a análise de fadiga.

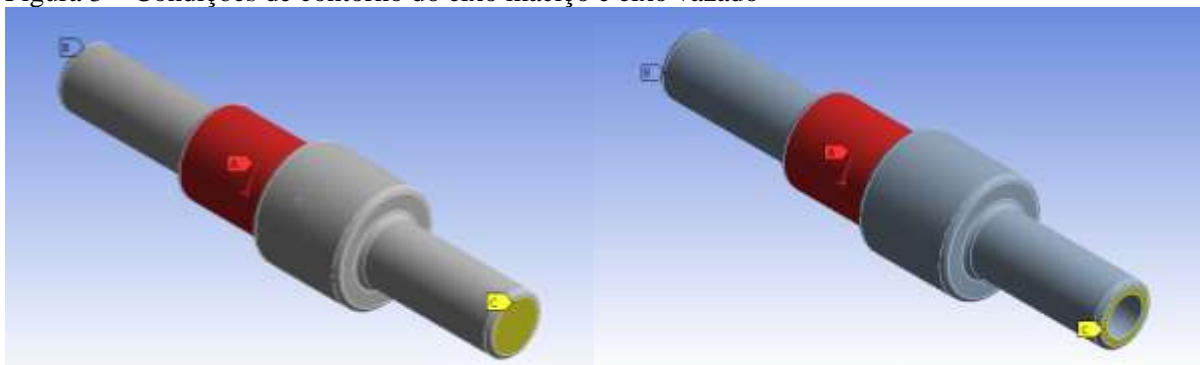
Tabela 1 – Propriedades do aço 1045

Módulo de elasticidade	206 GPa
Módulo de Poisson	0,28
Densidade	7850 kg/m ³
Tensão última de tração	690 MPa

As condições de contorno aplicadas devem aproximar-se o máximo da realidade de trabalho do componente, nesse caso o eixo é sustentado por mancais e caracteriza como apoio de primeiro gênero em uma extremidade e apoio de segundo gênero na outra.

A engrenagem de dentes retos produz uma carga axial de 3,2 KN ao longo do eixo Y no sentido negativo e uma carga axial de 1,3 KN no eixo Z no sentido positivo. A Figura 3 mostra as condições de contorno aplicadas nos eixos maciço e vazado no software comercial Ansys.

Figura 3 – Condições de contorno do eixo maciço e eixo vazado

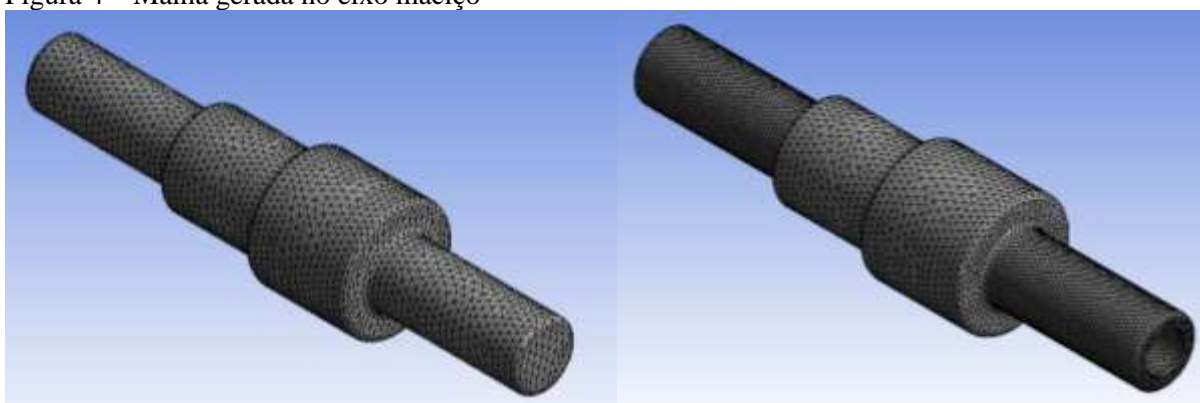


As cargas axiais foram inseridas no software pelas suas componentes vetoriais e automaticamente ele altera para a resultante, a região onde a força foi aplicada é a região em que a engrenagem é encaixada no eixo.

Para utilizar o método de elementos finitos é necessário gerar uma malha que percorre toda a geometria, essa malha discretiza a geometria em equações para realização dos cálculos pelo software.

Ambas geometrias do eixo foram geradas utilizando o gerador de malha padrão do Ansys que produz uma malha de elementos tetraédricos. Na Figura 4 podemos observar como a malha foi produzida, para esse estudo foi aplicado um tamanho de elemento de 3 mm e utilizada a ferramenta *Face Meshing* que realiza uma varredura e corrige os elementos para gerar uma malha mais uniforme assim o eixo maciço ficou com 109.757 nós e 70.671 elementos enquanto o eixo vazado ficou com 254.471 nós e 167.452 elementos.

Figura 4 – Malha gerada no eixo maciço



Como parâmetros de fadiga no Ansys foi utilizado o método tensão-vida e selecionado um carregamento repetido de amplitude que varia de 0 a 1,5 da tensão nominal. O critério de falha aplicado foi o de Goodman que estabelece o fator de segurança como mostrado na Equação (1) e a correção do fator de tensão multiaxial foi o de von-Mises por ser largamente utilizado em estudos desse tipo pois o software avalia a tensão apenas em uma direção.

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (1)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do comportamento estático é o primeiro passo para a verificação de durabilidade, dessa forma o Ansys gerou respostas para as cargas aplicadas como condição de contorno. Primeiramente vamos observar a tensão de von-Mises gerada, no eixo maciço foi de 104,59 Mpa e do eixo vazado foi de 148,24 Mpa que são valores abaixo da tensão de escoamento do material conferindo a eles um coeficiente de segurança respectivamente de 5,6 e 3,9. Assim a Figura 5 e Figura 6 mostram a região dos entalhes, que possuem raio de adoçamento, entre a extremidade e a área em que a carga foi aplicada e nota-se que apresenta a maior concentração de tensão, o que já era esperado.

Figura 5 – Tensão de von-Mises no eixo maciço

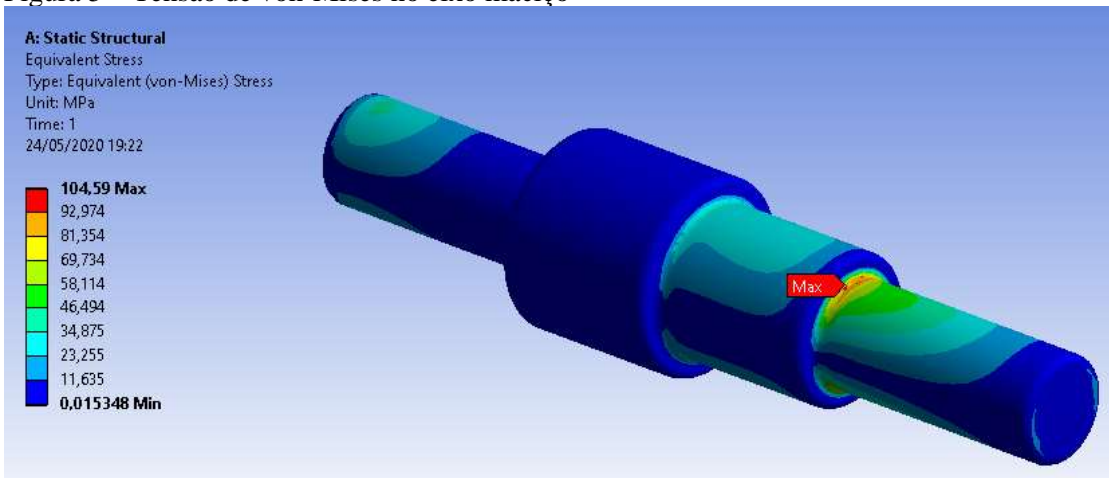
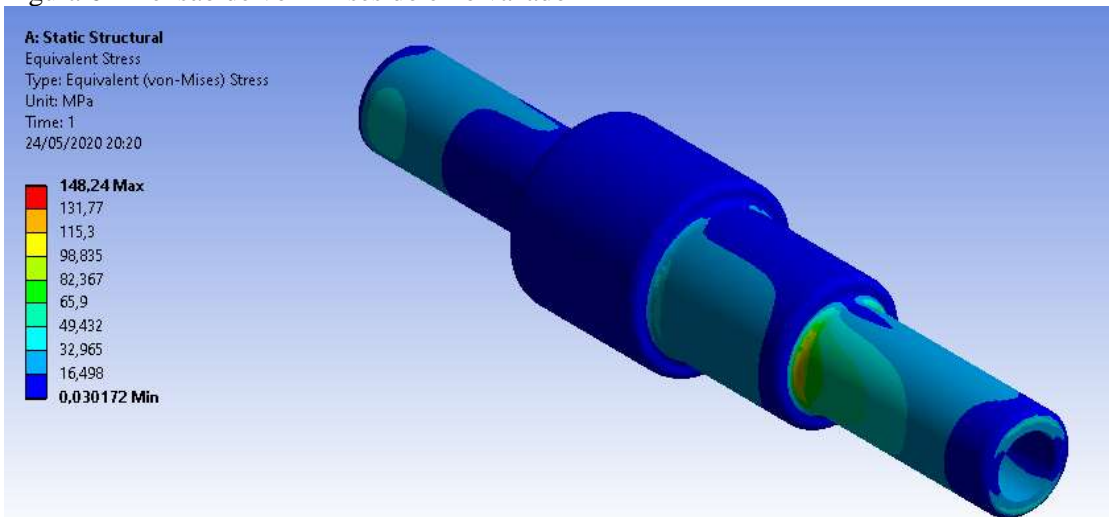


Figura 6 – Tensão de von-Mises do eixo vazado



Após a análise estática é feita a verificação da resposta a fadiga do componente, a tensão alternada equivalente produzida nos eixos são respectivamente de 88,507 Mpa e 148,24 Mpa para o eixo maciço e o vazado, podemos observar que a diferença é bastante significativa. Com base nessas tensões é calculado o fator de segurança pelo critério de Goodman apresentado na equação 1.

O eixo maciço (Figura 7) apresenta um fator de segurança de 1,12 o que o caracteriza como aceitável para ser usado, contudo o eixo vazado (Figura 8) apresenta um fator de segurança de 0,68 o

que não o torna aceitável. Assim como no esforço estático a região de maior sollicitação foi no entalhe com raio de adoçamento.

Figura 7 – Fator de segurança de fadiga do eixo maciço

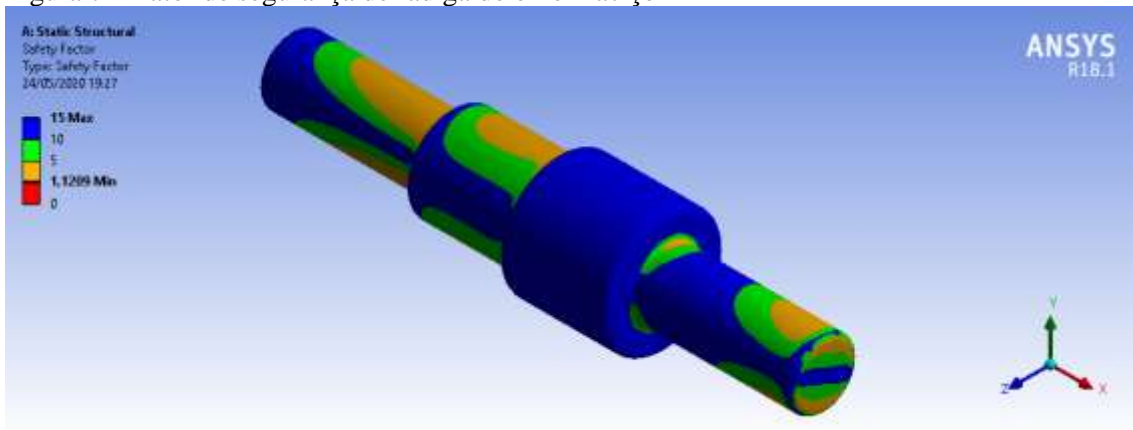
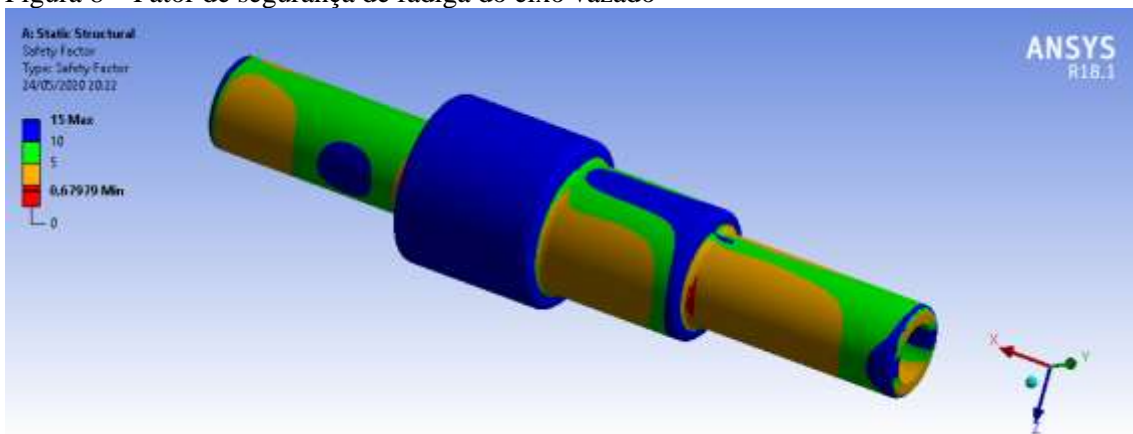


Figura 8 – Fator de segurança de fadiga do eixo vazado



CONCLUSÃO

Apesar do eixo maciço apresentar um fator de segurança maior que 1 isso torna o seu uso aceitável, mas não recomendado para manter a integridade do componente e do sistema mecânico sendo necessária uma revisão no projeto do eixo.

Em contra partida pelo fato do eixo vazado apresentar um fator de segurança inferior a 1 pode-se alterar o material ou a sua geometria como raio de adoçamento ou diâmetro do furo para se obter um resultado satisfatório.

REFERÊNCIAS

- SANTOS, S. A. Failure analyses by high cycle fatigue in transmission shafts using the finite elements methods. 2011. 63 f. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, São Paulo University State Guaratinguetá, 2011.
- SILVA, Fernando de Azevedo; CHAVES, Carlos Alberto; GUIDI, Erick Siqueira. Análise de falha por fadiga em eixo de transmissão utilizando o método dos elementos finitos. *Exacta*, v. 14, n. 2, p. 207-219, 2016.
- NORTON, Robert L. Projeto de máquinas. bookman editora, 2013.
- MÜLLER, Tiago Augusto Meurer et al. Análise de vida em fadiga de ponta de eixo traseiro utilizando o método de elementos finitos. 2017