

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS ANALÍTICOS E NUMÉRICOS SOBRE ANÁLISE DE TENSÕES EM FILETES DE ROSCAS DE PARAFUSOS

Adriel da Anunciação Santana^{1, 3}; Lucas Lincoln Fonseca Soares²; Juan Carlos Romero Albino²; Valter Estevão Beal²

¹ Bolsista; Iniciação Tecnológica– SENAI CIMATEC; adriel.santana@fbter.org.br

² Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador - BA; valtereb@fieb.org.br

³ Instituto Federal de Ciência e Tecnologia da Bahia; Salvador - BA

RESUMO

Em estruturas unidas por ligações parafusadas, os parafusos são os componentes mais críticos do conjunto, e um dos modos de falha mais determinantes são os rasgamentos dos filetes de rosca. Assim, este trabalho apresenta uma modelagem analítica e numérica via elementos finitos das tensões nos filetes de rosca do parafuso. Os resultados se mostram coerentes entre si, contudo, simplificações foram adotadas neste estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Tensão em filetes de rosca, Modelagem Numérica, Elementos Finitos, Parafusos.

1. INTRODUÇÃO

Parafusos são elementos de máquina de grande importância para a fixação e conexão de componentes mecânicos (SHI et al., 2024).¹ Devido à possibilidade de desmontagem, tem-se usado parafusos em detrimento de soldagem. Contudo, o componente mais suscetível à falha em ligações parafusadas é o parafuso (QIU et al., 2020) (YANG; VELJKOVIC; LIU, 2021).^{2, 3} Um dos modos de falha mais críticos é a falha de rasgamento dos filetes de rosca (HU et al., 2016).⁴ Desse modo, é importante atestar a confiabilidade dos métodos analíticos a fim de dimensionar juntas parafusadas e calcular o valor de suas tensões.

Segundo (NORTON, 2013), a tensão de cisalhamento (τ) é responsável pelo rasgamento dos filetes de roscas de um parafuso, podendo ser calculada como:⁵

$$\tau = \frac{F}{\pi d_r w_i p} \quad \text{Eq. (1)}$$

onde, F é a força aplicada sobre o parafuso, d_r é o diâmetro interno, p é o passo da rosca, e w_i é um fator igual a 0,8 caso o parafuso atenda a norma ISO (NORTON, 2013).⁵

Foi proposto por (BUDYNAS; NISBETT, 2011) que a tensão de rosca é composta por tensões normais em dois eixos, devido a tração do parafuso e a flexão dos filetes, além da torção do parafuso.⁶ Nas equações (2) e (3) é possível calcular os valores de tensão de flexão (σ_f) e tração (σ_t) do parafuso, respectivamente.

$$\sigma_f = \frac{6F}{\pi d_r n_t p} \quad \text{Eq. (2)}$$

$$\sigma_t = -\frac{4F}{\pi d_r^2} \quad \text{Eq. (3)}$$

onde n_t é o número de filetes de rosca engajadas.

Segundo (BUDYNAS; NISBETT, 2011) as tensões nos filetes não se distribuem igualmente. Foi verificado em ensaios experimentais que o primeiro filete suporta 38% da carga F , enquanto o segundo suporta 25% e o terceiro 18%, reduzindo até valores negligenciáveis após o sétimo filete, caso seja usado $0,38F$ como força axial e números de roscas engajadas igual a 1, tem-se o caso mais alto nível de tensão para a combinação rosca-porca.⁶ Vale ressaltar que esses valores devem levados em consideração para o cálculo da tensão de cisalhamento (Equação 1).

Após isso as tensões são transformadas em uma tensão equivalente por meio do método de Von-Mises representado pela equação 4.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_f^2 + \sigma_f \sigma_t + \sigma_t^2 + \tau^2} \quad \text{Eq. (4)}$$

onde σ_1 e σ_2 são tensões normais e τ é a tensão de cisalhamento.

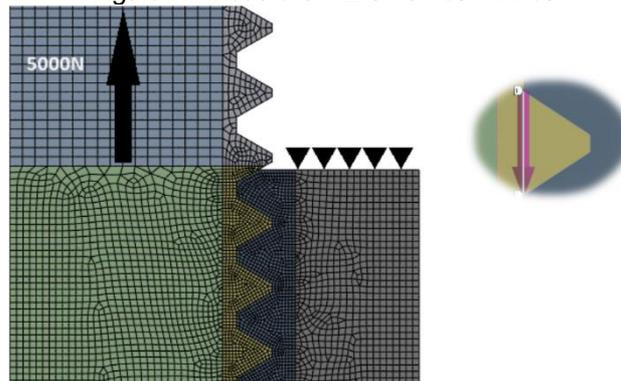
É apresentado neste trabalho a comparação entre os resultados das tensões nos filetes de roscas de parafusos usando modelos analíticos conforme as equações acima mostradas e numéricos via elementos finitos

2. METODOLOGIA

Foram comparados os modelos analítico e numérico do estado de tensão das roscas de um parafuso da norma ISO de 16 mm de diâmetro e passo de 2 mm com uma porca. O material utilizado foi o mesmo para ambos os componentes. Em todos os modelos, foi aplicada uma força de tração igual a 5000 N.

Foram feitos os cálculos das tensões tanto pelo método de (BUDYNAS; NISBETT, 2011) quanto de (NORTON, 2013), e em seguida foi calculada a tensão de Von Mises para cada modelo.^{5,6} Em ambos foram usadas as porcentagens de distribuição de carga apresentadas por (BUDYNAS; NISBETT, 2011).⁶ Em seguida foi feita uma análise de elementos finitos considerando que a porca foi fixada na face superior, conforme indicado na Figura 1. O material utilizado é o aço estrutural, com módulo de elasticidade de 200 GPa e coeficiente de Poisson igual a 0,3. Em se tratando de uma análise 2D, nas regiões dos filetes de rosca foram usados elementos quadrilaterais com tamanho 0,1 mm, e os contatos entre as roscas foram definidos sem atrito. Observa-se na Figura 1 a malha, o carregamento e a restrição imposta na porca além do path para o cálculo das tensões médias na raiz do filete. Devido ao fato de a análise ser axissimétrica, não foram considerados efeitos torcionais no modelo.

Figura 1. Modelo em Elementos Finitos



Fonte: Autoria própria

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

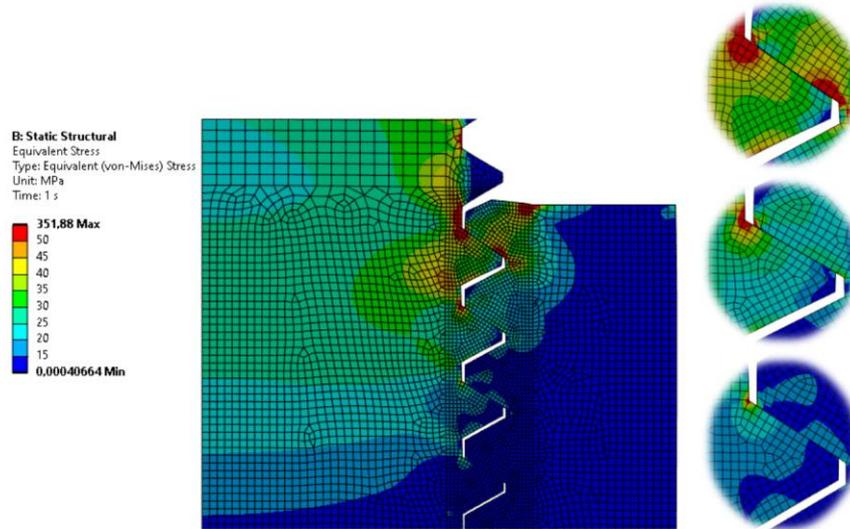
Através dos resultados obtidos pela simulação com elementos finitos, foi possível notar que o valor da tensão diminuiu sucessivamente a partir do primeiro filete para os seguintes (Figura 2). Observou-se, por meio de um *path* criado na base da rosca (Figura 1), que o primeiro filete de rosca possui em sua raiz uma tensão em média de 45,513 MPa, o que condiz com os métodos analíticos, em especial com o resultado encontrado pela metodologia do (NORTON, 2013).⁵ Na Tabela 1 é possível comparar valores encontrados por cada método.

Observando a Tabela 1 os valores estão com desvios baixos um em relação aos outros, contudo vale ressaltar que as simplificações usadas podem alterar o resultado, como por exemplo a ausência de atrito entre os filetes do parafuso e da porca. Enquanto no presente trabalho o atrito foi desprezado, em algumas análises são usados valores para o coeficiente de atrito entre 0,05 e 0,2 (HU et al., 2016).⁴

Na Figura 2, observam-se pontos de concentração de tensão devido as descontinuidades geométricas na modelagem dos filetes, que causaram aumento significativo das tensões nestas regiões. Além disso, o uso de um material suficientemente dúctil fez com que houvesse uma distribuição entre as roscas, o que não seria possível com um material frágil. Segundo (NORTON, 2013) caso o material da porca ou parafuso seja muito rígido a tensão tende a se concentrar no primeiro filete de rosca, enquanto para materiais mais dúcteis tendem a se distribuir entre os filetes de rosca.⁵

Com os resultados numéricos, foi possível verificar os percentuais de carga suportado por cada filete dividindo a força total de contato com a força aplicada, o que resultou em 37,4% para o primeiro filete, 27,5% para o segundo, e 16,8 para o terceiro. O que condiz com o que foi indicado por (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

Figura 2. Campo de tensões de Von-Mises - Escala 230:1



Fonte: Autoria Própria

Tabela 1. Resultados de tensão média de Von-Mises nos três primeiros filetes.

Método	Tensão do Primeiro Filete (MPa)	Tensão do Segundo Filete (MPa)	Tensão do Terceiro Filete (MPa)
Elementos Finitos	45,513	31,402	19,872
Budynas & Nisbett, 2011 ⁶	51,239	33,7096	24,2709
Norton, 2013 ⁵	47,3393	31,1443	22,4239

Fonte: Autoria própria

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos analíticos e numérico que foram usados para comparação neste trabalho apresentaram boa concordância entre si. Contudo vale ressaltar que algumas simplificações foram feitas, tais como a ausência de atrito entre os filetes de rosca além do fato de haver muitas descontinuidades geométricas no modelo que interferiram no resultado. Além disso, o uso de um material dúctil fez com que as tensões se distribuísem pelos filetes sem que houvesse uma sobrecarga do primeiro filete de rosca. Desse modo, para trabalhos futuros, é sugerido acrescentar o efeito do atrito na análise, além de usar pequenos raios nos cantos vivos dos filetes de rosca afim de aliviar os campos de tensão de maneira mais precisa.

5. REFERÊNCIAS

- ¹SHI, T. et al. **Distributions of tension and torsion in a threaded connection**. [s.l.]: International Journal of Mechanical Sciences, v. 261, 1 jan. 2024.
- ²QIU, B. et al. **Experimental study on fatigue performance of M30 high-strength bolts in bolted spherical joints of grid structures**. [s.l.]: Engineering Structures, v. 205, 15 fev. 2020.
- ³YANG, F.; VELJKOVIC, M.; LIU, Y. **Fracture simulation of partially threaded bolts under tensile loading**. [s.l.]: Engineering Structures, v. 226, 1 jan. 2021.
- ⁴HU, Y. et al. **FE simulation and experimental tests of high-strength structural bolts under tension**. [s.l.]: Journal of Constructional Steel Research, v. 126, p. 174–186, 1 nov. 2016.
- ⁵NORTON, R. **Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada**. 4a ed. São Paulo: Bookman Editora Ltda, 2013.
- ⁶BUDYNAS, R.; NISBETT, J. **Elemento de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica**. 8a ed. São Paulo: The Mcgraw-Hill Companies Inc, 2011.