

# ANÁLISE DE FALHAS EM PARAFUSO UTILIZADO EM EQUIPAMENTO DE MINERAÇÃO\*

Matheus Mariano da Silva Reis<sup>1</sup>  
Felipe de Freitas Thompson<sup>2</sup>  
Matheus Duarte Macedo<sup>3</sup>  
Isau de Souza Alves Júnior<sup>4</sup>  
Priscylla Ferreira dos Santos<sup>5</sup>  
Sandro Griza<sup>6</sup>

## Resumo

Parafusos são elementos de fixação, empregados na união não permanente de peças. No presente estudo foi analisado a falha de parafusos de cabeça sextava interna, que apresentaram falha junto a cabeça. Na análise de falhas foram realizadas análise química, análise macroscópica, análise de microscopia eletrônica de varredura e metalografia. Os resultados demonstraram que os parafusos estão de acordo com as normas quando se trata de composição química e microdureza, porém no questionamento quanto as dimensões, verificou-se uma inclinação em relação ao eixo do parafuso e a face de contato da cabeça, o que incentivou a falha por efeito de concentração de tensões.

**Palavras-chave:** Parafusos, Análise de falhas, Concentração de tensões.

## ANALYSIS OF SCREW FAILURES USED IN MINING EQUIPMENT

### Abstract

In the present study, the internal hex head screw failure was analyzed, which failed the screw head. Screws are fasteners used in non-permanent joining of parts. In the analysis of failures were performed chemical analysis, macroscopic analysis, analysis of scanning electron microscopy and metallography. The results showed that the screws comply with the standards when it comes to chemical composition and microhardness, but in the question of dimensions, there was an inclination in relation to the axis of the screw and the contact face of the head.

**Keywords:** Screws, Fault analysis, Tensions concentration

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia de Materiais, Bolsista, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DCEM), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico, Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, Engenheiro de Manutenção, Projetos, Mosaic Fertilizantes, Rosário do Catete, Sergipe, Brasil

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, Bolsista, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

<sup>4</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, Bolsista, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

<sup>5</sup> Graduanda em Engenharia de Materiais, Bolsista, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DCEM), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

<sup>6</sup> Engenheiro Mecânico, Doutor, Professor, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (P2CEM), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Equipamentos geralmente dispõem de juntas aparafusadas que são fundamentalmente constituídas por um parafuso, uma contra peça que sofrerá todas as forças resultantes do processo de aperto, uma arruela que acaba por proteger a contra peça e uma porca. O parafuso é um componente de grande importância, visto que este promove união de partes para simples vedação ou sustentação de forças [1].

Alguns casos de falhas em parafusos são encontrados na literatura [1-7]. Os parafusos apresentam um papel de extrema importância no desempenho das máquinas. Boa parte desses parafusos está sujeita a carregamento flutuante, levando ao fenômeno conhecido como fadiga que é o responsável pela maioria das falhas prematuras em parafusos submetidos a solicitações cíclicas. Existem vários parâmetros que alteram o desempenho mecânico do parafuso, tais como: o passo da rosca, o ângulo da rosca, o raio da raiz da rosca e o material [7].

Um parafuso de porca tem uma cabeça em uma extremidade e rosca na outra extremidade, apresentando assim descontinuidades que favorecem a concentração de tensão [4].

Se as forças no corpo são constantes, a distribuição de tensões é uma função da geometria do corpo e do carregamento a ele aplicado. A análise de formas geométricas para determinar fatores de concentração de tensão é um problema difícil de modo que não muitas soluções podem ser encontradas [1, 4].

Quando a peça está livre de concentradores de tensão pode-se dizer que existe uma tensão nominal. Considerando que as peças em geral apresentam mudanças de seção, utiliza-se, para relacionar a tensão máxima verdadeira na descontinuidade à tensão nominal, um fator de concentração de tensão teórico [4].

O presente estudo teve o intuito de analisar parafusos de fixação utilizados em equipamentos de mina, que apresentaram falha junto a cabeça. Os parafusos são de cabeça sextavada interna e são da classe 12.9. Para essa análise, se faz necessário caracterizar a composição e a microestrutura da peça, além de realização de análise dimensional.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e Métodos

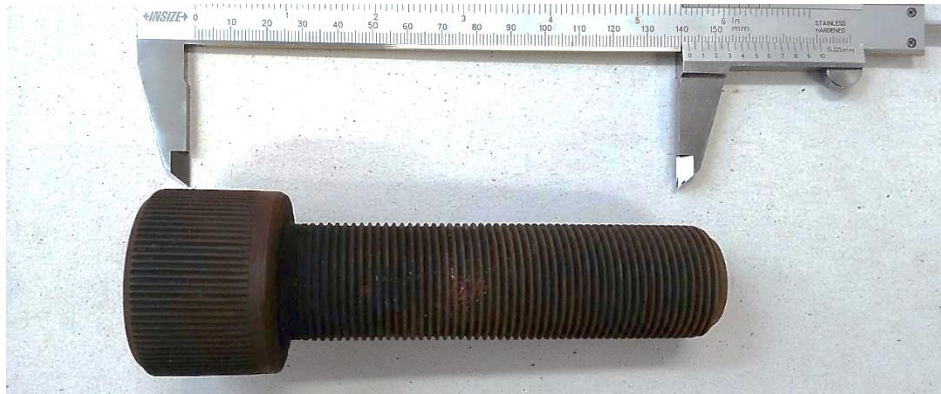
A análise das falhas nos parafusos (Figura 1 e 2) foi realizada através do microscópio estereoscópico (ZEISS, STEMI 2000-C).

Análise química para identificar a liga de fabricação da peça foi realizada por espectroscopia de emissão óptica (Oxford Foundry-Master Xpert), através de cinco queimas em amostra extraída por corte e devidamente preparada para a análise.

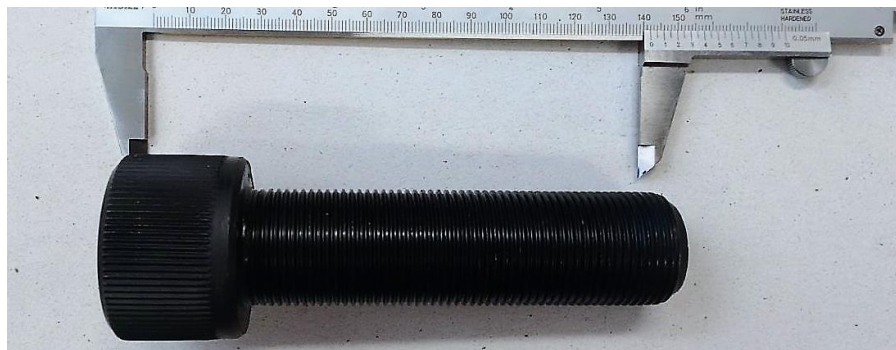
Os parafusos foram cortados em seção longitudinal em verdadeira grandeza. A amostra foi embutida em resina termofixa (baquelite), lixada e polida com pasta de diamante de 1 $\mu$ m.

O ataque químico para revelar a microestrutura foi realizado através do reagente de Nital 2% (2 ml de HNO<sub>3</sub> + 98 ml álcool etílico). As imagens metalográficas foram obtidas através de microscópio ótico (Leica DM2500), no intuito de avaliar a microestrutura e o dimensional dos parafusos junto ao raio de curvatura da haste/cabeça, para verificar as dimensões previstas por norma (Figura 3) e os ensaios de microdureza Vickers (HV) foram realizados com microdurômetro

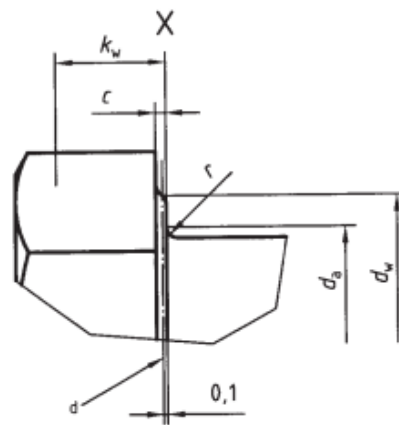
(Future-Tech FM-800) através de cinco endentações aplicadas sobre a amostra que havia sido preparada para metalografia.



**Figura 1.** Parafuso 1.



**Figura 2.** Parafuso 2.



**Figura 3.** Dimensões padronizadas de parafusos. Reprodução da DIN EN ISO 4016, 2001.

## 2.2 Resultados e Discussão

As amostras foram submetidas às análises e os resultados comparados de acordo com a norma específica do parafuso. Os parafusos 1 e 2 obtiveram valores de dureza, respectivamente, 421 HV e 389 HV, estando ambos de acordo com a norma ISO 898-1:2009 para parafusos da classe 12.9. Ambos os parafusos estão de acordo com a determinação de composição química da norma ISO 898-1:2009, como apresentado nas Tabelas 1 e 2:



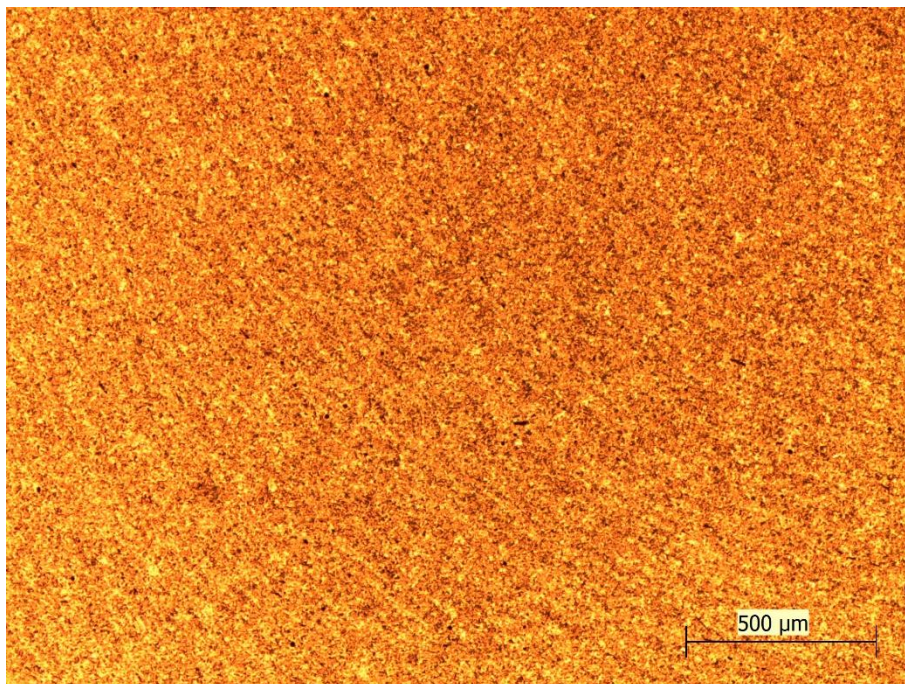
**Tabela 1.** Composição química do parafuso 1 (% em peso).

Elemento	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S	Cu	Al
(%)	0.46	0.30	0.86	1.01	0.16	0.06	0.02	0.02	0.12	0.01

**Tabela 2.** Composição química do parafuso 2 (% em peso).

Elemento	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S	Cu	Al
(%)	0.45	0.28	0.85	10.98	0.18	0.03	0.01	0.02	0.13	0.01

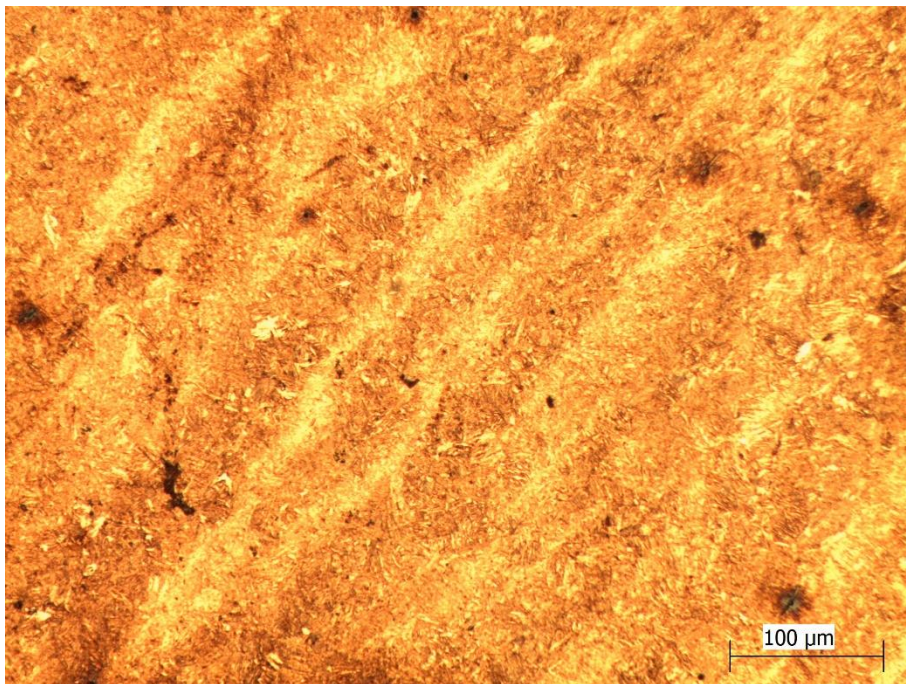
A microestrutura de ambos é composta de matriz transformada em baixa temperatura, com predominância de martensita revenida (Figuras 4 a 7). O parafuso 2 apresenta ainda, bandas de segregação seguindo as linhas de fluxo de conformação (Figura 6).

**Figura 4.** Linhas de fluxo de conformação mecânica, região da cabeça do parafuso 1.



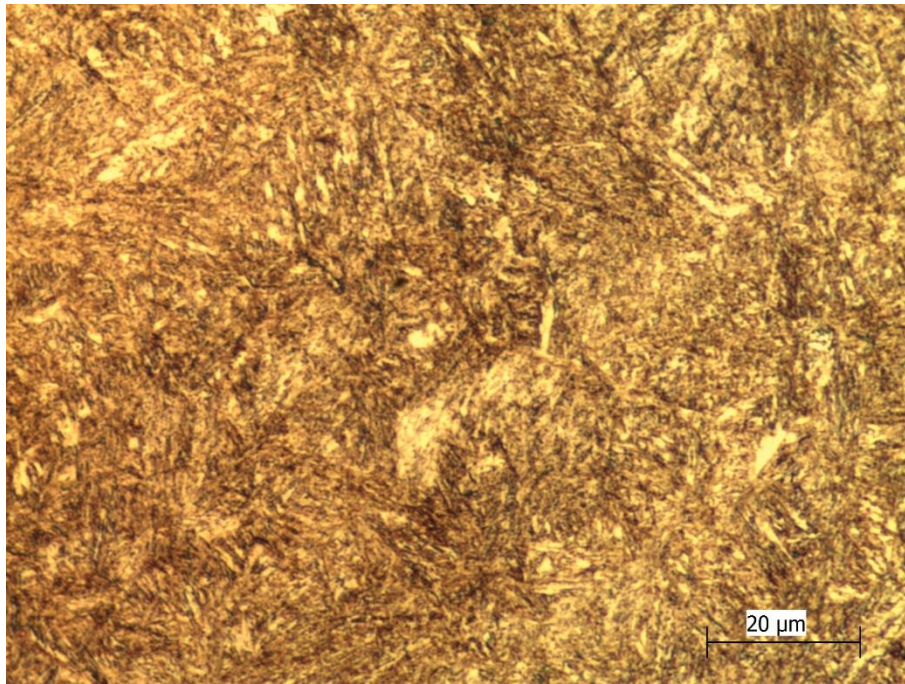


**Figura 5.** Microestrutura predominantemente martensítica do parafuso 1.



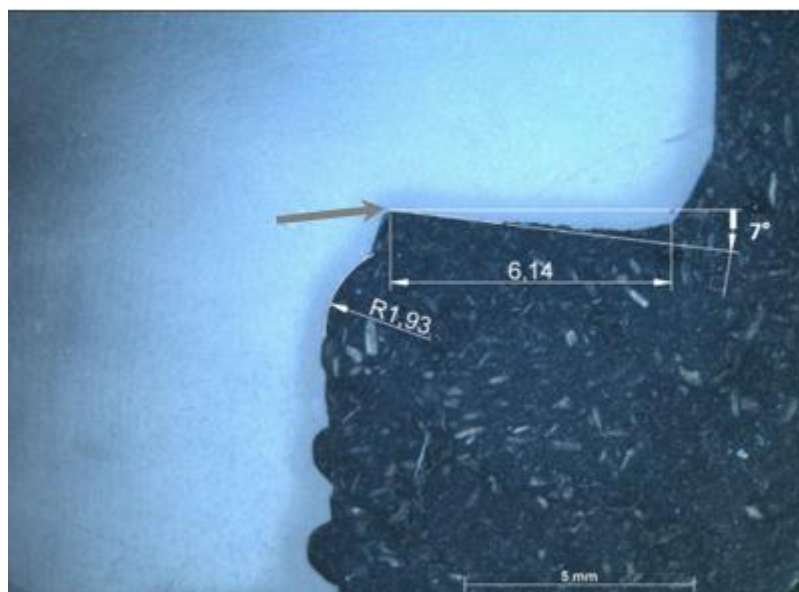
**Figura 6.** Bandas de segregação seguindo as linhas de fluxo de conformação do parafuso 2.





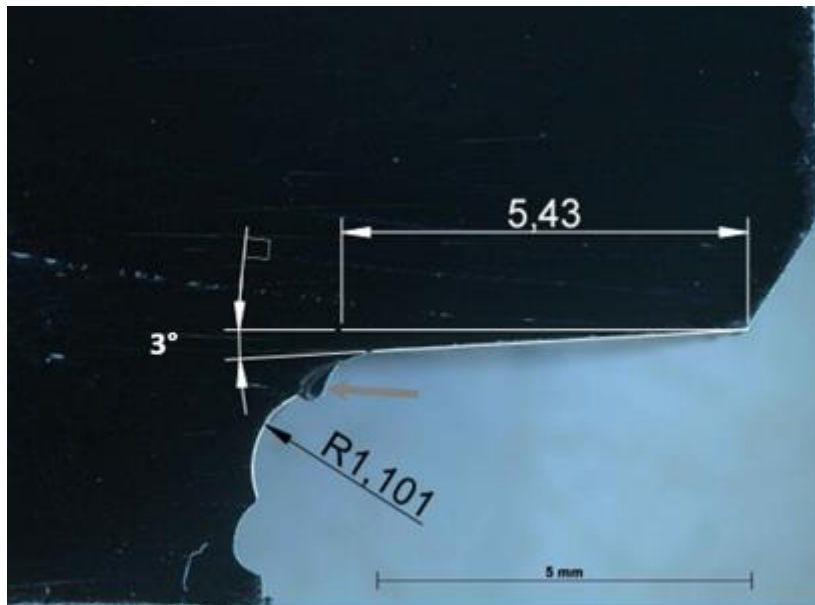
**Figura 7.** Microestrutura predominantemente martensítica do parafuso 2.

A análise dimensional permite observar que o parafuso 1 apresenta raio de curvatura entre a face e a cabeça desprezível, o que favorece a concentração de tensões (Figura 8). Além disso, a face da base da cabeça apresenta inclinação de cerca de 7 graus, fazendo com que se forme um ângulo agudo junto ao raio de curvatura da cabeça, o que favorece tensões positivas junto ao raio de curvatura quando da pré-carga de aperto. Ora, considerando-se que a pré-carga de aperto tenderá a tornar plana a face inferior da cabeça do parafuso em relação a superfície das peças que serão apertadas, há a tendência de tensionar positivamente o raio de curvatura.



**Figura 8.** Análise dimensional do parafuso 1. A face da base da cabeça apresenta inclinação de cerca de 7 graus. O raio de curvatura entre a face e a cabeça é desprezível (seta cinza), o que favorece a concentração de tensões.

O parafuso 2 apresenta inconformidade em relação ao diâmetro da base de contato da cabeça (cota  $d_w$  da DIN EN ISO 4016, Figura 3), porém o raio de curvatura é maior em relação ao primeiro parafuso, e a inclinação da face da base é positiva, ou seja, reduz concentrações de tensão na pré-carga (Figura 9).



**Figura 9.** Análise dimensional do parafuso 2. A face da base da cabeça apresenta inclinação de cerca de 3 graus. A cota de 5,43 mm permite observar que a dimensão  $d_w$  da DIN EN ISO 4016 está em desacordo, promovendo um ressalto junto ao raio (seta cinza).

### 3 CONCLUSÃO

Ambos os parafusos estão em acordo com a classe 12.9 da norma ISO 898-1:2009, quanto a composição química e dureza. Porém, ambos estão em desacordo com a norma DIN EN ISO 4016 quanto ao dimensional. O parafuso 2 apresenta diâmetro da face de contato da cabeça abaixo do especificado. Porém, as dimensões em desacordo do parafuso 1 são mais críticas para a falha, pois o parafuso apresenta raio de curvatura desprezível entre a cabeça e a haste e apresenta ainda inclinação de 7 graus em sentido horário em relação ao eixo do parafuso e a face de contato da cabeça. Estes dois fatores provocam aumento da concentração de tensões positivas junto ao raio de curvatura quando da aplicação de pré-carga, favorecendo a falha. Recomenda-se, finalmente, que seja realizada análise dimensional em mais parafusos a fim de comprovar as inconformidades dimensionais, já na aquisição dos elementos.

### Agradecimentos

CAPES, CNPq pelo apoio financeiro.

### REFERÊNCIAS

- 1 Laryce S.S., Avaliação comparativa do comportamento mecânico e tribológico de dois parafusos da classe 10.9 ASTM, Dissertação de Mestrado, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.
- 2 Buda, J., 1994. Why Bolts Fail, Machine Design, Edited by Stephane Muraski Johnson.

- 3 PIZZIO, E., Avaliação da vida em fadiga de uniões parafusadas Estudo de caso. Dissertação de M.Sc., UFRGS, Porto Alegre, 2005.
- 4 Shigley J.E.; Mischke C. R.; Budynas R.G., Projeto de Engenharia Mecânica, 7ª edição, Porto Alegre, Bookman, 2005.
- 5 Silva, M.E.G.; Efeito da Rigidez da união no limite de fadiga de juntas parafusadas, Dissertação de M.Sc., UFS, São Cristóvão SE.
- 6 Santos, R.C.S., Badaró, J.P., Silva, A.S., Reis, R.C.S., Griza, S., Análise de falha em parafuso prisioneiro 5/8" - 11 UNC, ASTM-A193 B8M CL.2 22º CBECiMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Natal, RN, 2016, 5975-5981.
- 7 André L. M. Propriedades de fadiga de parafusos de alta resistência mecânica, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, SP, 2008.