

ANÁLISE DE FALHA EM CABO DE AÇO*

*Jose Pedro Gualberto Junior¹
Rebeca Conceição da Silva Reis²
Abraão Santos Silva³
Sandro Griza⁴*

Resumo

Este estudo tem por objetivo analisar as causas de falha em cabo de aço utilizado na construção civil. Os cabos foram submetidos à metodologia de análise de falha. Foram realizadas inspeções visuais, análise de fratura em baixo aumento e em microscópio eletrônico de varredura, análise de microdureza, análise microestrutural em microscópio ótico e microscópio eletrônico de varredura e análise de resistência mecânica por ensaio de tração. Os resultados indicaram que os cabos sofreram severo desgaste e a ação da corrosão o que favoreceu a diminuição da resistência mecânica e a propagação de trincas planas por fadiga.

Palavras-chave: Falha mecânica; Fadiga; Desgaste.

FAILURE ANALYSIS OF WIRE ROPE

Abstract

This study aims to analyze the failure causes of a wire rope used in civil construction. The cables were submitted to failure analysis methodology. Visual inspections, fracture analysis in low-magnification and scanning electron microscope, microhardness tests, microstructure analysis by optical microscopy and scanning electron microscopy and analysis of mechanical strength for tensile test were performed. The results indicated wear and corrosion of the wire rope, which favored the loss of mechanical strength and the propagation of flat fatigue cracks.

Keywords: Mechanical failure; Fatigue crack; Wear.

¹ Graduando em Engenharia de Materiais, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DECEM), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Aracaju, SE, Brasil.

² Graduando em Engenharia de Materiais, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DECEM), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Aracaju, SE, Brasil.

³ Graduado em Engenharia de Materiais, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DECEM), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Aracaju, SE, Brasil.

⁴ Doutor em Eng. de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e professor adjunto da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DECEM), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Aracaju, SE, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os cabos de aço podem ser utilizados em operações com equipamentos de elevação de carga, tais como elevadores, guindastes e guinchos, além do uso para a realização de laços. A sua utilização em equipamentos de elevação de carga requer elevado grau de confiabilidade para evitar falhas. Os cabos de aço estão sujeitos a problemas de desgaste devido ao atrito com outros elementos das máquinas, além de cargas externas de tração, torção e flexão [1-3].

O objetivo deste estudo é realizar ensaios metalúrgicos e mecânicos a fim de identificar os mecanismos que permitiram a ruptura de um cabo de aço utilizado em construção civil.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Análise Dimensional

Um dos segmentos do cabo rompido foi selecionado para análise dimensional. Foi marcada uma distância de 300 mm a partir do local da ruptura. Foram feitas 04 medidas do diâmetro nesta altura. Depois, o procedimento foi repetido mais duas vezes a cada 300 mm de distância, totalizando 12 medições do diâmetro. O instrumento usado foi um micrômetro com resolução de 0,01 mm.

2.2. Análise Visual de Baixo Aumento

O cabo é constituído de diversos enrolamentos, também conhecidos como pernas, e cada um deles é composto de diversos fios individuais. Todos os fios fraturados foram analisados em lupa de baixo aumento (Carl Zeiss Stemi 2000-C). Também foi analisada a condição superficial do cabo, adjacente à fratura.

2.3. Análise em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

Dois enrolamentos com os fios fraturados foram analisados em MEV (Jeol Carry Scope 5700) para verificação dos micromecanismos de fratura.

2.4. Metalografia e Dureza

Segmentos dos fios foram cortados por serra manual, embutidos em resina termofixa e posteriormente lixados e polidos em pano de polimento com suspensão de diamante de 3 e 1 μm para verificar a microestrutura da seção longitudinal dos fios. O ataque químico foi feito através de nital 2% (2% de ácido nítrico em álcool). A microestrutura foi observada em microscópio óptico (Leica modelo DM 2500M). A amostra também serviu para a obtenção de medidas de microdureza do material. Foram feitas 3 impressões de microdureza em 3 fios diferentes. Foi utilizado um microdurômetro Vickers (HVM SHIMADZU) com carga de 500g.

2.5. Ensaio de Tração

Foram feitos ensaios de tração em 3 corpos de prova do cabo. Foi usada uma máquina de ensaios universais (INSTRON 3385H) com célula de carga de 250kN. Foi aplicada a taxa de carregamento de 0,5 mm/minuto até atingir a fratura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise Dimensional

O diâmetro do segmento do cabo medido foi de 10,58 mm (desvio padrão de 0,35 mm). O diâmetro especificado é de 11,11 mm. Portanto, o cabo apresentou uma perda média de diâmetro de 0,53 mm.

3.2. Análise Visual de Baixo Aumento

Os segmentos do cabo apresentaram diversas trincas secundárias (figura 1). Além disso, é possível observar que os fios periféricos apresentaram desgaste, o que também é observado na figura 1 e na figura 2. Além do desgaste periférico, foi verificado desgaste em fios internos do cabo (figura 2). Observou-se que todos os enrolamentos apresentaram fios desgastados cuja superfície de fratura plana apresentava forma semicircular (meia lua). Alguns fios apresentaram superfície de fratura plana e poucos fios apresentaram aspecto taça/cone de fratura dúctil por sobrecarga. A superfície de fratura plana indica fratura frágil, abrupta, de baixa deformação plástica. A figura 3 mostra um enrolamento cujos fios apresentaram essas morfologias diversas. Também é possível observar o aspecto de corrosão superficial dos fios. Além disso, nota-se que muitos fios perderam a forma de seção circular no contato com outros fios, o que indica degradação por desgaste de atrito interno entre fios (figura 4). A figura 5 apresenta a diferença da superfície de fratura de forma circular e de forma em meia lua.



Figura 1. Trincas secundárias encontradas nos cabos. As imagens também mostram planos superficiais retos nos fios periféricos, o que indica desgaste.



Figura 2. A imagem à esquerda mostra plano de desgaste em um segmento do cabo. A direita, a seta preta mostra o plano de desgaste da periferia do cabo e a seta clara mostra concavidades na parede de fios que indicam desgaste interno nos fios do cabo.



Figura 3. À esquerda, fios com fratura plana e com aspecto de desgaste (forma de meia lua); fio com fratura plana e fio com fratura do tipo taça cone. À direita, desgaste periférico e corrosão superficial dos fios.



Figura 4. Fios que perderam a forma de seção circular no contato com outros fios, o que indica degradação interna por desgaste de atrito entre fios.

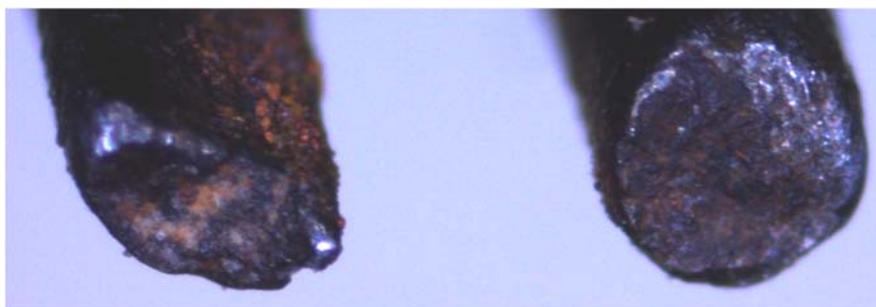


Figura 5. À esquerda, seção de fratura plana semicircular (meia lua); à direita, seção de fratura plana circular.

3.3 Análise em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

Nas imagens por MEV foi observado o aspecto plano da fratura dos fios. O aspecto plano seguido de uma superfície rugosa é típico de fraturas por fadiga (figuras 6 e 7). Na ruptura final observa-se a formação de coalescimento de microcavidades (figura 8).

3.4. Metalografia e Dureza

A microestrutura dos fios é constituída de perlita e ferrita altamente deformadas por trabalho mecânico a frio. A dureza média foi de 538 HV com desvio padrão de 13,3 HV. Estas características são esperadas para o material de cabo de aço, não

indicando nenhum problema de fabricação. Além disso, foram encontradas trincas secundárias em estado de propagação (figura 9).

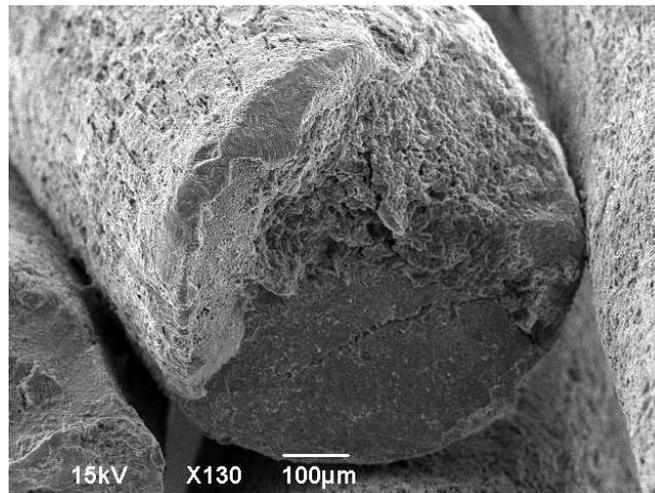


Figura 6. Fratura por fadiga de um fio. Nota-se uma superfície plana seguida de outra rugosa.

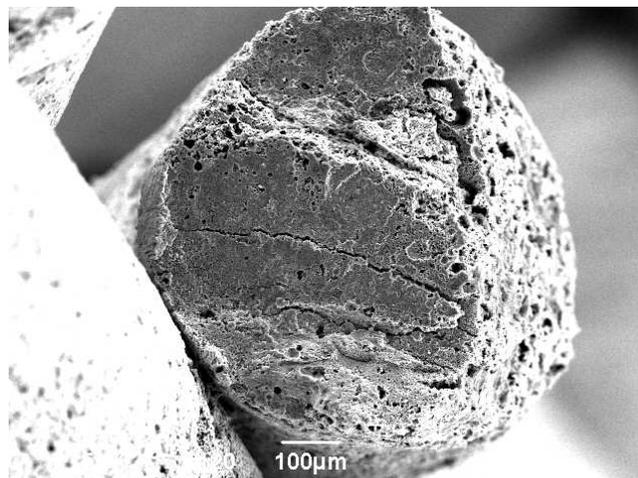


Figura 7. Fratura por fadiga de um fio desgastado (forma de meia lua). Nota-se a superfície plana de aspecto frágil.

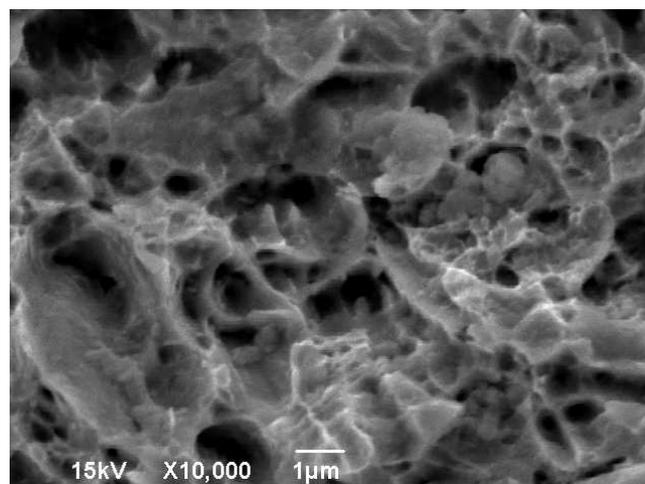


Figura 8. Coalescimento de microcavidades encontrado na ruptura final dos fios.

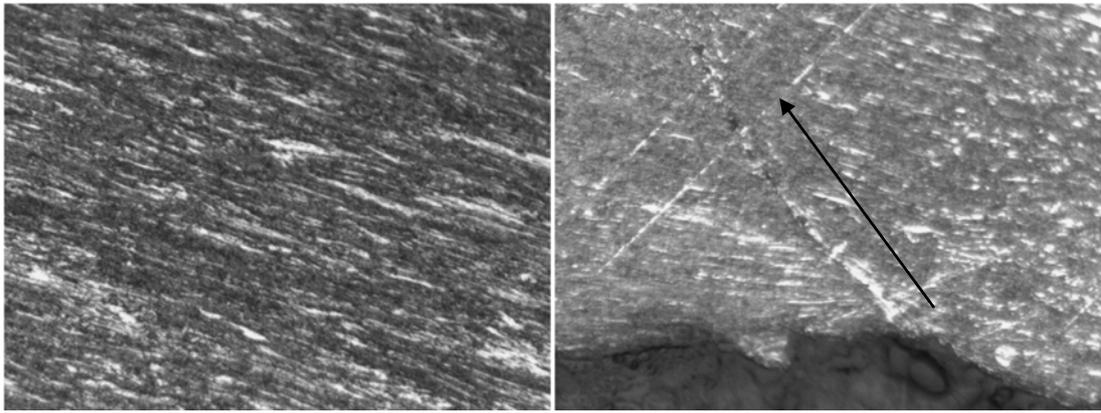


Figura 9. Microestrutura constituída de perlita e ferrita altamente deformadas seguindo a linha de fluxo do trabalho a frio (esquerda). A imagem a direita mostra ainda uma trinca iniciada na superfície do fio e propagando no sentido da seta. Aumento respectivamente de 1000x e 500x; Ataque de Nital 2%.

3.5. Ensaios de Tração

A figura 10 mostra o gráfico do ensaio de tração de um dos corpos de prova. O gráfico mostra a carga (kgf) em função da elongação durante o ensaio de um dos fios. A média da carga máxima suportada pelos fios foi de 5511 kgf e 86 kgf de desvio padrão.

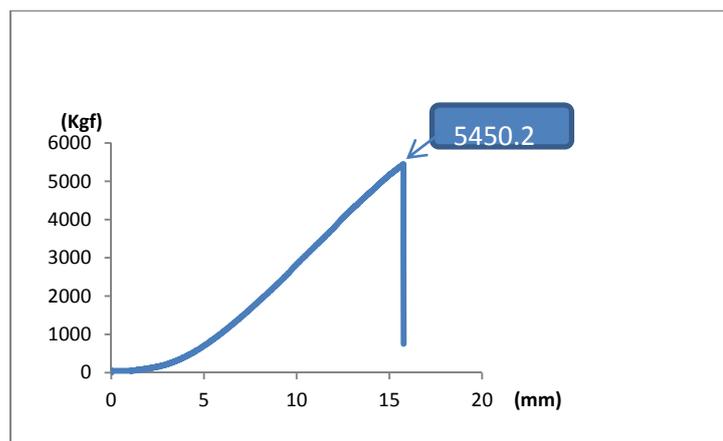


Figura 10. Gráfico da carga (kgf) em função da elongação durante o ensaio de um dos fios.

O diâmetro médio do segmento do cabo foi de 10,58 mm. O diâmetro especificado é de 11,11 mm. Portanto, o cabo apresentou uma perda de diâmetro de 0,53 mm.

A análise visual mostrou trincas secundárias em planos próximos ao da fratura. O cabo apresentou desgaste excessivo nos fios periféricos que apresentam forma da seção semicircular (em meia lua). A análise visual também mostrou desgaste em fios internos, o que também produziu a perda da forma de seção circular dos fios internos.

A análise de fratura mostrou a presença de fratura plana nos fios, o que indica fratura frágil. A análise de fratura em MEV mostrou propagação de trinca por fadiga de fios cuja superfície de fratura é plana. A análise microestrutural mostrou a presença de trincas secundárias de fadiga já em propagação.

Os resultados das análises permitem afirmar que o mecanismo de ruptura do cabo foi o seguinte:

O cabo sofreu desgaste em uso, o que provocou diminuição do diâmetro e mudança das seções transversais dos fios periféricos (forma semicircular de meia lua), e de fios internos. Não foi verificado vestígios de material lubrificante sobre os cabos. O uso do cabo em ambiente agressivo (próximo do mar) e nas condições ambientais comuns de uma construção civil (contato com partículas de desgaste como areia) propicia os processos de corrosão superficial dos fios e desgastes tanto por corrosão quanto por abrasão.

Os danos produzidos por desgaste e corrosão favoreceram a perda de seção resistente e a propagação de trincas planas por fadiga em diversos fios da seção resistente. A propagação por fadiga é um mecanismo precedido de pouca deformação plástica perceptível, ocasionando rompimento de forma frágil, abrupta. Alguns fios remanescentes romperam finalmente de forma mais dúctil (aspecto taça/cone).

O ensaio de tração mostrou que o cabo apresentou carga de ruptura menor do que o especificado. Isso se deve a dois fatores: redução do diâmetro do cabo e devido à presença de fios já trincados por fadiga, o que reduz a seção resistente.

4 CONCLUSÃO

A falha do cabo ocorreu por fadiga de fios, que reduziram a seção resistente do cabo. O processo de fadiga foi incentivado devido ao desgaste e corrosão dos fios. O uso dos cabos em ambiente agressivo (proximidade do mar e partículas abrasivas inerentes à construção civil) determina cautela na inspeção dos cabos. Um protocolo mais conservativo de inspeção dos cabos é mandatório para evitar novos eventos de falha.

Agradecimentos

Os autores agradecem às agências de fomento CAPES, CNPq, FINEP e FAPITEC.

REFERÊNCIAS

- 1 L. Xiang, H.Y. Wang, Y. Chen, Y.J. Guan, Y.L. Wang, L.H. Dai, Modeling of multi-strand wire ropes subjected to axial tension and torsion loads, *International Journal of Solids and Structures* 58 (2015) 233–246.
- 2 I.B.Cunha; R.C.S.Reis; M.B.Leite; S.Griza; D.A.Martins, Análise de Falha em Cabo de Transmissão de Energia Elétrica, 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 09 a 13 de Novembro de 2014, Cuiabá, MT, Brasil, PP. 6510-6517.
- 3 Victor Teixeira da Silva Aragão, Oswanderson Almeida Santos, Abraão Santos Silva, Sandro Griza, Análise de Falha em Arame de Cerca Elétrica, 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil, PP. 1833-1841.