

# ANÁLISE DE FALHA EM CABO DE AÇO USADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL\*

Renan Celestino Silva Santos<sup>1</sup>  
Rebeca Conceição da Silva Reis<sup>2</sup>  
Abraão Santos Silva<sup>3</sup>  
José Pedro Gualberto Junior<sup>4</sup>  
Sandro Griza<sup>5</sup>

## Resumo

O presente estudo trata da análise de falha de um cabo de aço utilizado em grua de construção civil. Para a análise da falha foram feitas metalografia, microdureza, análise dimensional e análise por microscopia eletrônica de varredura. Também foram feitos ensaios de tração, a fim de determinar a diminuição da resistência mecânica em decorrência de diminuição de área do cabo. A análise em campo detectou a presença de um dispositivo de acionamento do motor da grua que mantinha contato com o cabo e foi o responsável pela falha. Os resultados demonstraram que todos os fios estavam desgastados. Na maioria dos fios foi detectado aspecto de fratura plana frágil. A análise metalográfica e de microdureza não indicaram nenhum defeito metalúrgico nos cabos. Os resultados do ensaio de tração indicaram a diminuição significativa da resistência mecânica devido à redução de seção dos fios.

**Palavras-chave:** Fratura; Desgaste; Cabo de aço; Análise de falha.

## FAILURE ANALYSIS OF WIRE ROPE USED IN CIVIL CONSTRUCTION

### Abstract

This study deals with the failure analysis of a crane steel wire rope used in the civil construction. Metallography, hardness tests, dimensional analysis and analysis by scanning electron microscopy were performed. Tensile tests were made to determine the reduction of mechanical strength due to the wire area reduction. The analysis of the crane detected the presence of a motor drive device which was in load bearing contact with the wire and was responsible for the failure. The results showed wear in all the wires. Brittle fracture was detected in most of the wires. The metallographic analysis and hardness indicated no metallurgical defects. The results of the tensile test showed a significant decrease in mechanical strength due to reduction of the wire section.

**Keywords:** Fracture; Wear; Wire rope; Failure analysis.

- <sup>1</sup> Graduando Engenharia de Materiais, Pesquisadora de Iniciação Científica Voluntária, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe, Brasil.
- <sup>2</sup> Graduando Engenharia de Materiais, Pesquisadora de Iniciação Científica, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe, Brasil.
- <sup>3</sup> Graduado em Engenharia de Materiais, Colaborador de pesquisa de Iniciação Científica voluntário, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe, Brasil.
- <sup>4</sup> Graduando Engenharia de Materiais, Pesquisadora de Iniciação Científica Voluntária, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe, Brasil.
- <sup>5</sup> Graduação em Engenharia Mecânica; Mestrado em Engenharia de Minas; Metalúrgica e de Materiais; Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Professor adjunto 3, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Cabos de aço são elementos amplamente utilizados em setores tais como construção civil, petróleo e gás entre outros. Os cabos são utilizados para transporte de equipamentos como elevadores, guias e seu projeto e aplicação requer elevada 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].

Diversos casos de falhas de cabos de aços são encontrados na literatura [1-6]. As falhas podem ser devidas a problemas de redução de seção dos fios dos enrolamentos de cabos por causas relativas a desgaste por fricção, sobrecargas de tração, fadiga, alterações microestruturais, principalmente formação de martensita não revenida, por causa do aquecimento devido ao atrito ou por descargas elétricas. Problemas de corrosão também são encontrados em fios [7].

O problema de redução de seção de cabos está associado a sua própria forma construtiva. Um cabo de aço é constituído de diversos fios finos, geralmente obtidos por trefilação, que são enrolados formando pernas. As pernas, por sua vez, são enroladas entre si formando o cabo. Portanto, a depender da configuração do cabo, diversos fios individuais vão atingir a superfície externa do cabo e estarão susceptíveis a redução de seção pelo desgaste. Mesmo que o cabo tenha uma pequena redução de seção, é possível que sua integridade estrutural esteja comprometida, pois muitos fios podem ter reduções significativas de seção.

Este estudo tem como objetivo descobrir as causas que levaram ao rompimento um cabo de aço que era utilizado em grua em uma obra civil.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O cabo de aço analisado (figura 1) é constituído de diversos enrolamentos, cada um constituído de fios individuais. O cabo possui diâmetro de 4,8 mm e se enquadra na categoria de resistência de 1770, podendo apresentar carga de ruptura mínima de 13,54 kN.

Todas as superfícies de fratura dos fios foram analisadas em microscópio estereoscópico (Zeiss Stemi 2000-C). O cabo fraturado foi comparado com outro cabo de mesma especificação, mas com pouco uso e sem fratura, que foi chamado de cabo 2. O segmento do cabo de aço rompido foi verificado em microscópio estereoscópico desde o plano de fratura até o final de seu comprimento, em intervalos de 1 metro, a fim de verificar a existência de desgaste dos fios.

Foi realizada a análise de fratura de alguns dos fios em microscópio eletrônico de varredura (MEV Jeol Carry Scope 5700).

Segmentos dos fios contendo a região de fratura foram preparados para metalografia através de embutido no plano longitudinal, lixamento e polimento. Foi realizado ataque químico através de reagente Nital 2% (2% de ácido nítrico diluído em álcool). A microestrutura foi observada em microscópio óptico (Leica modelo DM 2500M). A verificação da dureza foi feita sobre as amostras embutidas em um microdurômetro Vickers (HMV Shimadzu Micro Hardness Tester) com carga de 300g, sendo que foram feitas cinco medições e obtida a média e o desvio padrão dos resultados.

Foram feitos ensaios de tração em 3 corpos de prova do cabo fraturado e 3 do cabo 2. Os ensaios foram realizados através do uso de dispositivo próprio para ensaios em cabos de aço, de acordo a norma NBR 3108, e conduzidos em uma máquina de

ensaios universais INSTRON 3385H (250kN). A velocidade de carregamento aplicada no ensaio de tração foi de 10 MPa/segundo. As medições de diâmetro do cabo foram realizadas a uma distância de 3 metros da região de fratura, através de micrômetro centesimal (Insize 0-25). Foram realizadas 6 medições.



Figura 1: Foto do segmento do cabo de aço rompido em serviço. A seta indica a fratura.

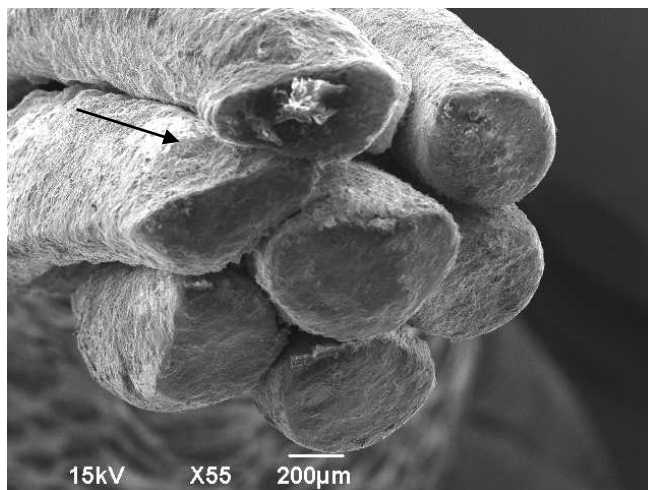
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os enrolamentos (pernas) analisados apresentaram fios desgastados (aspecto de seção de fratura em meia lua), sendo que na sua maioria os fios apresentaram fratura plana de aspecto frágil. A Figura 2 apresenta uma imagem representativa do desgaste junto à superfície de fratura dos fios de um dos enrolamentos. Alguns dos fios apresentaram aspecto taça cone, ou seja, fratura final dúctil.

A análise da superfície dos fios indicou que ocorreu desgaste tanto na região coincidente com a fratura quanto ao longo de toda a extensão do cabo analisada (Figura 3). O cabo fornecido para comparação (cabo 2) também apresentou desgaste em toda a sua extensão (Figura 4).

O ensaio de tração indicou que a média da carga de ruptura do cabo fraturado foi de 11,82 kN (desvio padrão de 2,01 kN), enquanto que a do cabo 2 foi de 13,30 kN (desvio padrão de 0,32 kN). A Tabela 1 apresenta os resultados de tração. Chama a atenção o fato de que o ensaio de tração feito no corpo de prova retirado próximo ao plano da fratura do cabo mostrou ruptura com carga de apenas 9,59 kN.

As medições de diâmetro do cabo indicaram valor médio de 4,68 mm (desvio padrão de 0,07 mm). Isso indica que a seção do cabo foi reduzida em apenas 0,12 mm em relação ao diâmetro de especificação.



**Figura 2:** Fratura plana nos fios de um dos enrolamentos analisados. Observam-se desgastes acentuados em alguns fios, assim como indicado pela seta em um dos fios.



**Figura 3:** Cabo fraturado com planos de desgaste nos fios a 2 metros da região de falha.



**Figura 4:** Cabo fornecido para comparação (Cabo 2) com desgaste em toda a sua extensão.

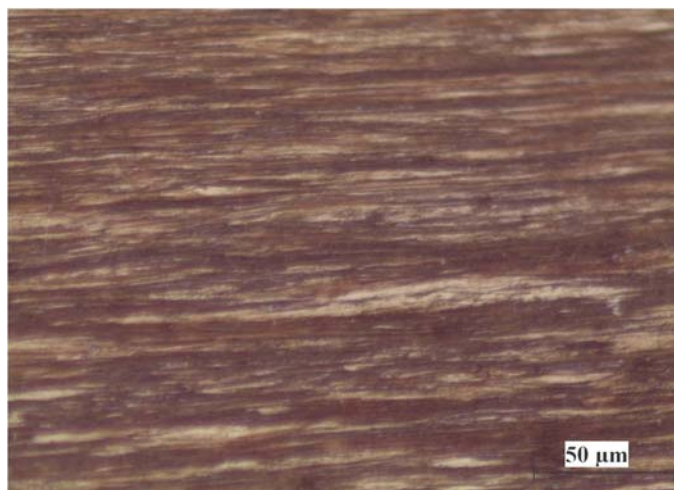
A análise em campo do equipamento indicou a presença de um dispositivo que foi introduzido no motor da grua para acioná-lo (Figura 5). Este dispositivo é uma alteração de projeto, ou seja, não é previsto no projeto original do equipamento. É constituído de um braço fabricado através de tira metálica dobrada e soldada, pela

qual o cabo de aço desliza sob contato direto. Desgaste da tira metálica também pode ser verificada na figura, devido ao atrito com o cabo.

A análise microestrutural indicou a presença de ferrita e perlita altamente deformadas e alinhadas no sentido de trefilação dos fios (Figura 6). Não foi verificado defeito metalúrgico no material dos fios. O ensaio de dureza indicou dureza média de 517 HV



**Figura 5** – Dispositivo modificado que mantém contato direto com o cabo.



**Figura 6:** Metalografia do cabo fraturado constituída por ferrita (fases claras) e perlita (fases escuras), deformadas por trefilação. Não há defeito de microestrutura do cabo

**Tabela 1:** Resultado do ensaio de tração. Resultados em Newtons (N).

	<b>Cabo fraturado</b>	<b>Cabo 2</b>
<b>Amostra 1</b>	9592*	12956
<b>Amostra 2</b>	12328	13586
<b>Amostra 3</b>	13531	13351
<b>Média</b>	11817	13298
<b>Desvio padrão</b>	2019	318

\*Corpo de prova ensaiado a 300 mm do ponto de falha

A análise microestrutural e de dureza não indicou defeito de microestrutura do material. A análise visual mostrou desgaste nos fios em toda a extensão do cabo que rompeu. O cabo sofreu desgaste em uso provocando diminuição do diâmetro e

mudança das sessões transversais dos fios (forma de meia lua), o que conseqüentemente reduziu a resistência à tração. Com efeito, uma das amostras submetida à tração apresentou carga de ruptura de apenas 9,59 kN, inferior à carga de ruptura mínima estabelecida para o cabo, que é de 13,54 kN.

A alegação dos responsáveis pela obra é que o cabo estava submetido a uma carga de apenas 100 kgf quando rompeu. A carga de 100 kgf a que ele estava submetido não representa um ensaio de tração, pois é preciso considerar a condição dinâmica de uso do cabo, ou seja, aceleração e desaceleração da carga durante a elevação, além de velocidade de elevação. Para reproduzir a condição dinâmica de operação do cabo em um teste mecânico, seria necessário conhecer a velocidade do cabo durante seu uso, as variações de velocidade em relação ao tempo (acelerações e desacelerações), além da quantidade dessas variações a que o cabo foi submetido. O ensaio de tração no cabo 2 apresentou resistência inferior ao especificado. No entanto, salienta-se que este cabo também apresentou desgaste dos fios, não sendo possível tomar estes resultados como parâmetro e um cabo novo, ou seja, sem uso.

#### 4 CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos, é possível afirmar que o desgaste do cabo que produziu a redução de resistência mecânica e permitiu a fratura em serviço foi provocado pelo atrito do cabo com o dispositivo de acionamento.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem as agências de fomento Cnpq, Capes e Finep

#### 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 Pavel Peterka, Jozef Krešak, Stanislav Kropuch, Gabriel Fedorko, Vierošlav Molnar, Marek Vojtko, Failure analysis of hoisting steel wire rope, *Engineering Failure Analysis* 45 (2014) 96–105.
- 4 M. Torkar, B. Arzensek, Failure of crane wire rope, *Eng. Fail. Analysis* 9 (2002) 227-233
- 5 N.F. Casey and W.K. Lee, The fatigue failure of large diameter six strand wire rope, *IntJ Fatigue* 11 No 2 (1989) pp78-84
- 6 C.R. Chaplin, Torsional failure of a wire rope mooring line during installation in deep water, *Engineering Failure Analysis* 6 (1998) 67-82.
- 7 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.