

DESENVOLVIMENTO TEÓRICO DE UM PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO ELETROMAGNÉTICA PARA CABOS DE AÇO DE ELEVADORES

Autor - Cristiano da Silva
98004@upf.br

Orientador - Professor Me. Guilherme Reschke do Nascimento / Mecânica dos sólidos
guilhermenascimento@upf.br

Comissão Examinadora – Professor Dr. Leandro Dóro Tagliari, Professor Dr. Fábio Goedel

RESUMO

O artigo trata da inspeção eletromagnética de cabos de aço em elevadores, explicando a teoria do método magnético e sua utilidade na detecção de defeitos. Examina a norma ABNT ISO 4309/2022, que estabelece diretrizes para a inspeção de cabos de aço em elevadores. Também destaca a importância dos cabos de aço na segurança e desempenho dos elevadores. Descreve um procedimento padronizado para a inspeção dos cabos, utilizando o método de vazamento de fluxo magnético, desde a preparação do equipamento até a interpretação dos resultados. Enfatiza a manutenção preventiva e a identificação precoce de falhas para garantir a segurança e a confiabilidade. A aplicação do procedimento de inspeção por VFM melhora a segurança dos elevadores, aumenta a previsibilidade dos reparos e estende a vida útil dos cabos. Identificando defeitos precocemente, permite ações proativas, reduzindo o risco de falhas e minimizando o tempo de inatividade. O procedimento magnético fornece dados sobre o estado dos cabos, permitindo uma melhor programação de manutenção e economia de custos a longo prazo. Propõe-se que este método se torne uma alternativa precisa aos procedimentos atuais, oferecendo maior segurança nos diagnósticos de defeitos em cabos de aço de elevadores.

Palavras chave: Cabos de aço, Elevadores, VFM, segurança, vida útil;

1 INTRODUÇÃO

A manutenção e inspeção regulares dos cabos de aço são essenciais para a segurança operacional de elevadores. O método de Vazamento de Fluxo Magnético (VFM) tem se destacado como uma técnica de inspeção não destrutiva eficaz, capaz de detectar falhas locais e avaliar a condição dos cabos de aço (Park et al, 2014). Este artigo tem como objetivo apresentar um procedimento detalhado de inspeção de cabos de aço de elevadores utilizando o método magnético, abordando desde o princípio físico do vazamento de fluxo magnético até a aplicação prática em sistemas de tração de elevadores.

O princípio do VFM baseia-se na detecção de campos magnéticos que vazam em locais onde há descontinuidades no material, como fissuras ou corrosão (McGogney, 1995). A aplicação deste método em cabos de aço de elevadores é particularmente relevante devido à importância crítica da segurança e à necessidade de monitoramento contínuo para prevenir falhas estruturais (Park, 2014).

Além disso, o desenvolvimento de técnicas de processamento de sinais e a concepção de sensores VFM multicanal contribuíram para a melhoria da detecção e caracterização de defeitos, permitindo uma interpretação mais objetiva e decisões mais acertadas quanto à condição dos cabos (Sophian, 2006). A técnica de VFM pulsado (PVFM) também surge como uma abordagem inovadora, oferecendo informações adicionais sobre os defeitos, o que pode ser crucial para a avaliação da gravidade e da necessidade de intervenções de manutenção (Sophian, 2006).

A adoção de técnicas de inspeção avançadas como o VFM é fundamental para garantir a segurança e a confiabilidade dos sistemas de elevadores, contribuindo para a prevenção de acidentes e para a extensão da vida útil dos componentes críticos. Ao longo deste artigo, espera-se fornecer uma compreensão abrangente do método VFM e seu papel vital na manutenção da segurança em sistemas de elevação.

1.1 Justificativa

A inspeção eletromagnética de cabos de aço em elevadores é uma prática essencial para garantir a segurança, operacionalidade e eficiência desses sistemas, proporcionando benefícios significativos em termos de prevenção de acidentes, redução de custos de manutenção e conformidade regulatória.

1.2 Objetivo geral

Definir um modelo de inspeção eletromagnética para cabos de aço de elevadores.

1.3 Objetivos específicos

- Revisar a bibliografia relacionada a inspeção eletromagnética de cabos de aço bem como realizar o estudo sobre elevadores de passageiros;
- Avaliar a eficácia da inspeção eletromagnética como método não destrutivo para detectar falhas e desgaste em cabos de aço de elevadores.
- Investigar os principais parâmetros que influenciam na detecção de defeitos por meio da inspeção eletromagnética em cabos de aço;
- Analisar os padrões e diretrizes existentes relacionados à inspeção eletromagnética de cabos de aço de elevadores;
- Propor diretrizes para a implementação eficaz de programas de inspeção eletromagnética em cabos de aço de elevadores, visando garantir a segurança e a confiabilidade do sistema;
- Comparar a inspeção eletromagnética com a inspeção visual e demonstrar a necessidade de aplicação deste método não destrutivo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão bibliográfica busca explorar e sintetizar a literatura existente sobre essa técnica de inspeção avançada, destacando os princípios físicos, metodologias de aplicação, tecnologias emergentes, normas técnicas, e os benefícios e desafios associados à sua implementação.

2.1 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é uma estratégia de manutenção que visa prever o momento ideal para realizar intervenções de manutenção em equipamentos e sistemas com base na análise contínua de dados operacionais e de desempenho. Em vez de seguir um cronograma fixo de manutenção preventiva ou esperar que ocorram falhas para realizar manutenção corretiva, a manutenção preditiva utiliza técnicas de monitoramento e análise de dados para identificar sinais de deterioração ou falha iminente nos equipamentos.

Conforme Seleme (2015), a manutenção preditiva tem como objetivo monitorar os parâmetros dos equipamentos por meio de dispositivos, permitindo desta forma que as

intervenções corretivas sejam programadas com certa antecedência, consequentemente mantendo os equipamentos em funcionamento por mais tempo e aumentando sua vida útil.

A manutenção preditiva é um programa orientado por condição do equipamento. Ao invés de depender das estatísticas do ciclo médio da vida do componente, ou seja, o tempo médio determinado pelo fabricante para que a peça falhe, nessa modalidade faz-se o monitoramento direto da condição do equipamento e da eficiência do sistema e de outros indicadores para indicar com certa previsão quando a falha irá ocorrer (Seleme, 2015).

2.2 Método VFM – Surgimento e Normalização

O método VFM é um procedimento não destrutivo, magnético e sem contato que permite a detecção de fios quebrados, distorções e corrosão em cabos de aço. Este método magnético foi originalmente introduzido em teleféricos para identificar defeitos externos e internos. Nos anos 80, esta técnica ganhou aceitação na indústria de transporte pesado offshore devido às crescentes demandas por eficiência e segurança. Nos anos seguintes, a tecnologia evoluiu, os dispositivos tornaram-se menores, mais leves e econômicos e começaram a ser amplamente utilizados, especialmente no setor offshore, onde os cabos operam em um ambiente muito hostil. Hoje, a versão recente da ABNT ISO 4309/2022 inclui o VFM como um método de avaliação para a inspeção de cabos de aço genéricos de elevação pesada. A utilidade do método é tão relevante que na ISO 4309:2010 foi indicada como um auxílio válido à inspeção visual (capítulo 5.6), mas no final de 2017 foi finalmente lançada a nova versão da norma (ISO 4309: 2017), introduzindo o teste magneto-indutivo na tabela de métodos de avaliação para avaliação do estado do cabo. Novos critérios de descarte foram especialmente definidos. O método tornou-se oficialmente uma ajuda para as inspeções visuais e a solução preferida para a realização de inspeções internas para cabos de aço.

Outras aplicações incluem o uso em:

- Plataformas de perfuração offshore e onshore;
- Levantamento Pesado Offshore;
- Guindastes;
- Estruturas de Engenharia Civil;
- Teleféricos Aéreos;
- Estruturas Guiadas;
- Elevadores;

2.3 Método VFM – Princípios Físicos e Funcionamento

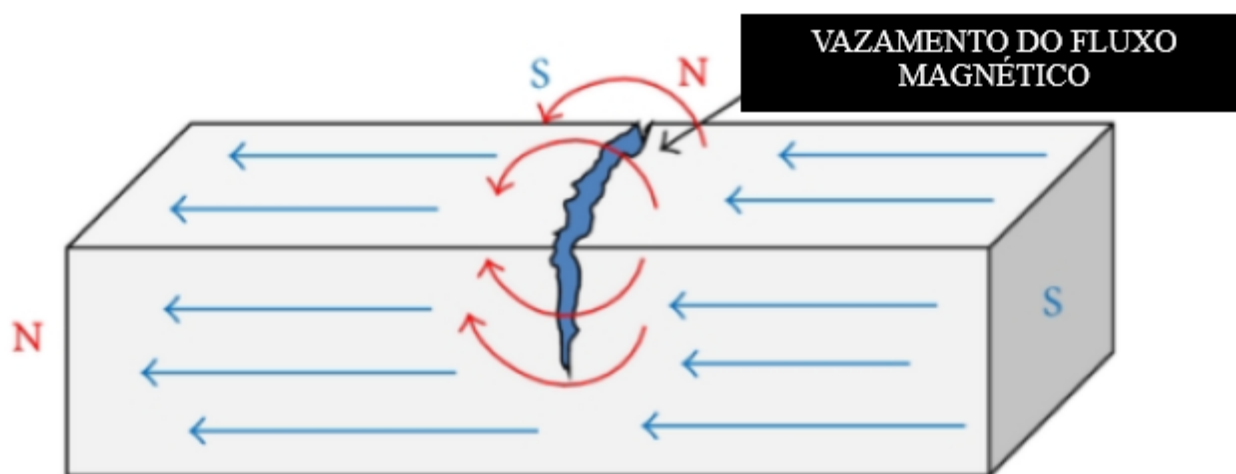
Conforme Zhou et al (2019), no ano de 1906 foi desenvolvido o primeiro dispositivo de ensaios não destrutivos para cabos de aço utilizando princípios eletromagnéticos. A tecnologia de detecção eletromagnética percorreu um longo caminho nos últimos 100 anos. A pesquisa em tecnologia de detecção eletromagnética inclui principalmente: o modelo teórico do mecanismo de detecção de sinais eletromagnéticos ou sua relação sob a influência de parâmetros de falha (largura da falha profundidade, número de fios quebrados, etc.), métodos e dispositivos para magnetização de cabos; Sensores de bobina, sensores de efeito Hall e métodos para detecção de sinais eletromagnéticos, como sensores de resistência magnética (Avelar, 2022).

Os instrumentos para ensaios não destrutivos de cabos de aço baseiam-se no princípio geral: detecção e avaliação das alterações na distribuição do fluxo magnético. Resumidamente, o

material ferromagnético é magnetizado até a saturação do cabo em teste , essa variação do fluxo ocorre uma vez que uma seção do cabo sob teste contém irregularidades como fios rompidos ou elásticos que foram corroídos ou degradados por abrasão. A leitura do vazamento de fluxo é feita através de sensores que captam mudanças no fluxo magnético, essas variações geram canais de falhas, onde identificam possíveis descontinuidades (Sukhorukov, Slesarev e Sorontsov, 2014) .

Segundo Park (2014), uma amostra de aço magnetizada possui um campo magnético dentro e ao seu redor, e qualquer lugar onde uma linha de força magnética sai ou entra na amostra é chamado de pólo. Um ímã que está rachado, mas não completamente quebrado em dois, forma um pólo norte e um pólo sul em cada borda da rachadura, conforme mostrado na Figura 01. O campo magnético sai no pólo norte e entra novamente no pólo sul. O campo magnético se espalha quando encontra o pequeno espaço de ar criado pela fissura, porque o ar não consegue suportar tanto campo magnético por unidade de volume quanto o ímã consegue. Quando o campo se espalha, ele parece vaziar do material e é chamado de campo de vazamento de fluxo.

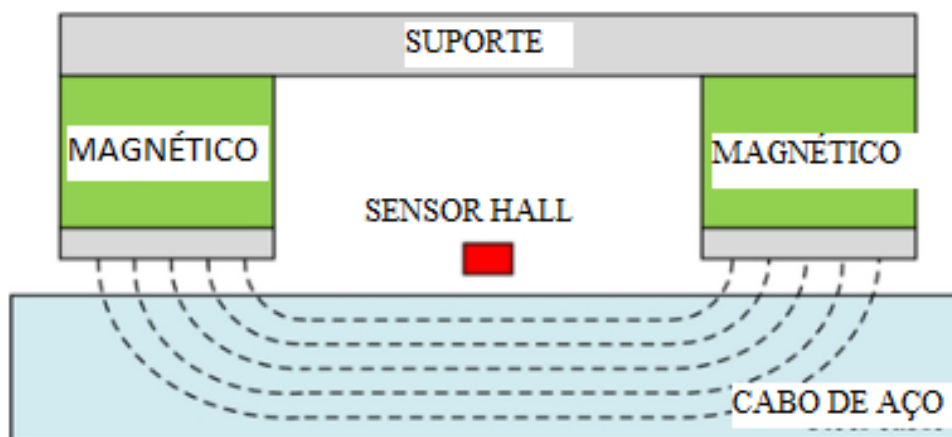
Figura 01: Princípio de vazamento de fluxo magnético (VFM).



Fonte: Park (2014).

Um forte ímã permanente ou eletroímã é usado para estabelecer um fluxo magnético no material a ser inspecionado. Quando não há defeito, o fluxo no metal permanece uniforme, conforme ilustrado na Figura 02.

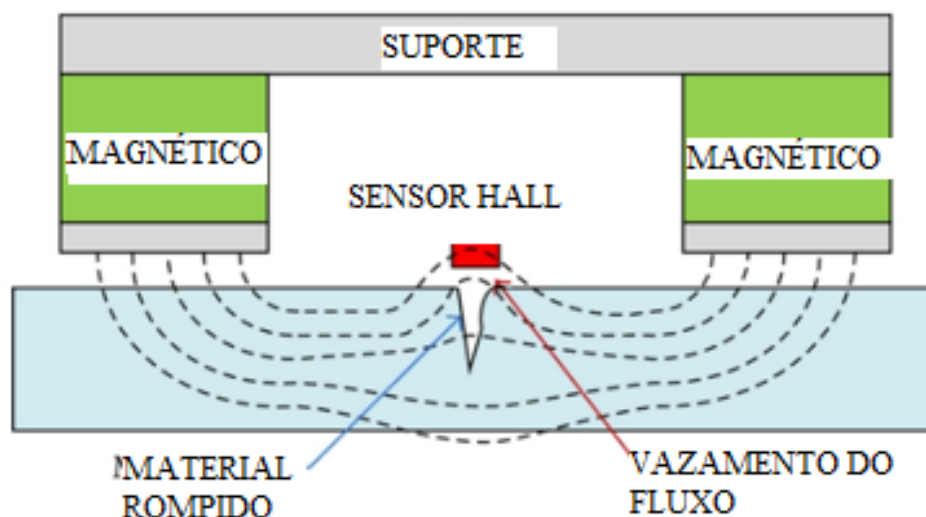
Figura 02: Condição intacta.



Fonte: Park (2014).

Em contraste, a Figura 03 ilustra o vazamento de fluxo que ocorre quando há danos em LF, devido a fio quebrado ou desgaste. O fluxo vaza do metal próximo ao defeito. Sensores que podem detectar esse vazamento de fluxo são colocados entre os pólos do ímã e geram um sinal elétrico que é proporcional ao vazamento de fluxo magnético (Mandal e Atherton, 1998).

Figura 03: Condição danificada.



Fonte: Park (2014).

Deng et al. (2017) relataram que o ensaio VFM tem vantagens em termos de alta sensibilidade e estabilidade de detecção. A desvantagem da técnica está em superfícies rugosas que podem afetar os resultados. Para concluir este estudo, os autores se basearam em dispositivos VFM, os quais apresentam respostas positivas ou negativas dependendo dos defeitos que aparecem na superfície. A presença de rugosidade afeta a distribuição do fluxo magnético no ar acima da superfície, o que caracteriza o sinal do vazamento de fluxo. O estado da superfície rugosa sempre leva a um sinal VFM fraco, de modo que os resultados do teste não podem refletir com precisão o tamanho da trinca.

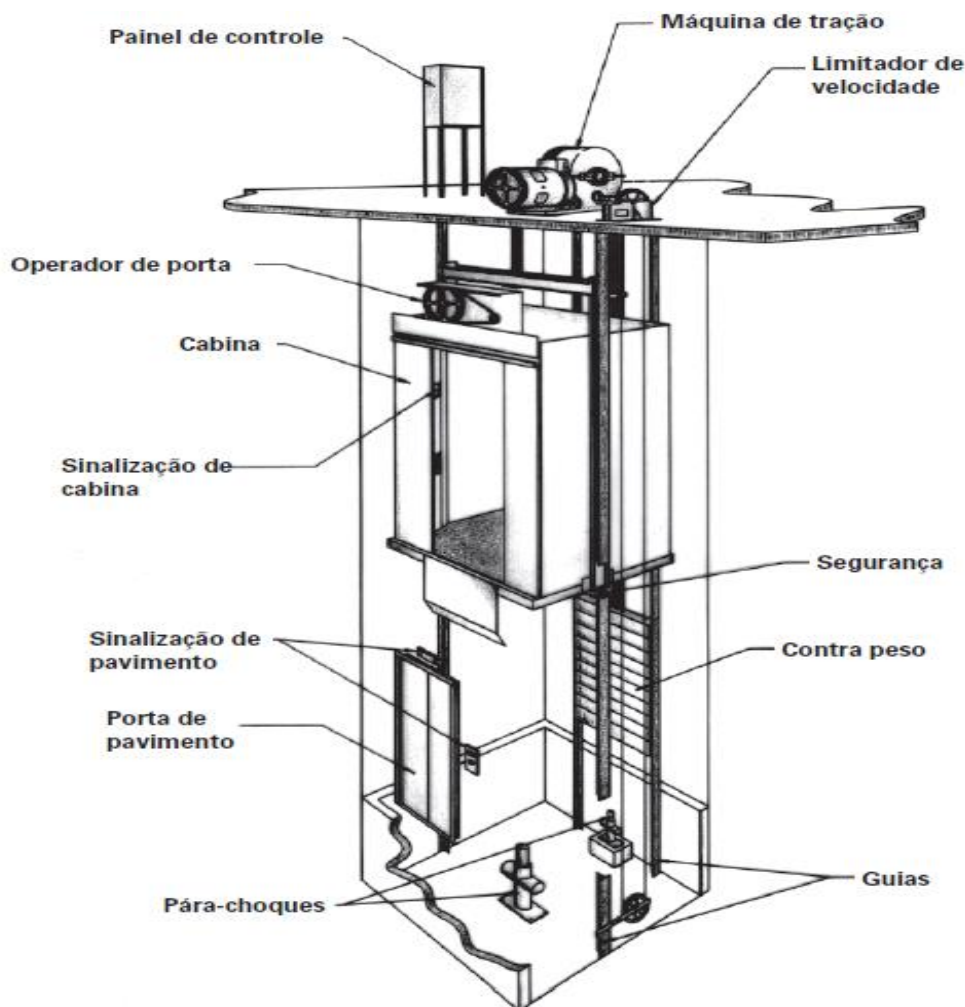
Zhou e Liu, (2021) ainda demonstram que o modo de operação do dispositivo pode ser manual ou modo on-line com instalação do equipamento num ponto fixo. A fim de resolver os problemas de baixa precisão de detecção, grande tamanho e qualidade dos equipamentos de detecção e dificuldade no monitoramento on-line na detecção de VFM de cabos de elevador, os autores Dai *et al.* (2021) criaram um sistema de aquisição de dados. A verificação é realizada estabelecendo um sistema de aquisição de sinal de fio rompido baseado no sensor de magnetorresistência de túnel TMR2703, e um dispositivo de excitação de dual-loop. Como o modelo determina a direção de detecção e o fluxo de sinal vaza através do circuito de pré-processamento de sinal, ele permite a exibição em tempo real do sinal de linha através do computador host LabVIEW, e os dados coletados são armazenados na forma de um arquivo TDMS. Os resultados obtidos mostraram que o sistema garantiu a aquisição do sinal em tempo real e obteve com precisão os dados característicos do sinal de fuga em diferentes números de fios rompidos, ainda, perceberam que os valores de pico, vale, pico a pico e largura de onda do sinal aumenta com número de fios fraturados.

2.4 Visão Geral do elevador de passageiros

A cabina é montada sobre uma plataforma, em uma armação de aço constituída por duas longarinas fixadas em cabeçotes (superior e inferior). O conjunto cabina, armação e plataforma

denomina-se carro. O contrapeso consiste em uma armação metálica formada por duas longarinas e dois cabeçotes, onde são fixados pesos (intermediários), de tal forma que o conjunto tenha peso total igual ao do carro acrescido de 40 a 50% da capacidade licenciada. Tanto a cabina como o contrapeso deslizam pelas guias (trilhos de aço do tipo T), através de corredeiras. As guias são fixadas em suportes de aço, os quais são chumbados em vigas, de concreto ou de aço, na caixa. O carro e o contrapeso são suspensos por cabos de aço ou novos elementos de tração que passam por polias, de tração e de desvio, instaladas na casa de máquinas ou na parte superior da caixa. O movimento de subida e descida do carro e do contrapeso é proporcionado pela máquina de tração, que imprime à polia a rotação necessária para garantir a velocidade especificada para o elevador. A aceleração e o retardamento ocorrem em função da variação de corrente elétrica no motor. A parada é possibilitada pela ação de um freio instalado na máquina. Além do freio de serviço, o elevador é dotado de um freio de segurança para situações de emergência. O freio de segurança é um dispositivo fixado na armação do carro ou do contrapeso, destinado a pará-los, de maneira progressiva ou instantânea, prendendo-os às guias quando acionado pelo limitador de velocidade. Sua atuação é mecânica. O limitador de velocidade, por sua vez, é um dispositivo montado no piso da Casa de Máquinas ou no interior da caixa, constituído basicamente de polia, cabo de aço e interruptor. Quando a velocidade do carro ultrapassa um limite preestabelecido, o limitador aciona mecanicamente o freio de segurança e desliga o motor do elevador (“Manual de transporte vertical em edifícios”, Elevadores Atlas Schindler, 1999, p. 5 e 6). A figura 04 demonstra a disposição dos componentes do elevador e sua localização física.

Figura 04: Disposição dos componentes do elevador de passageiros:



Fonte: “Manual de transporte vertical atlas schindler”, (1999, pg. 5).

2.4.1 Conjunto de tração

Segundo Gomes (2012), o conjunto de tração é o elemento que impulsiona a cabina, no seu movimento vertical, em que a aderência é feita por uma máquina com ou sem engrenagem, de tensão e frequência variável. É constituído por um motor elétrico de corrente contínua ou corrente alternada, que está acoplado diretamente ao eixo da polia de tração, capaz de realizar uma aceleração e desaceleração de forma suave e confortável. Na figura “05A” tem-se um exemplo de máquina de tração com engrenagem, já na figura “05B” um exemplo de máquina de tração sem engrenagem.

Figura 05A: Máquina com engrenagem.



Figura 05B: Máquina sem engrenagem.



Fonte: Gomes (2012).

Conforme Gomes (2012) o sistema de suspensão da cabina e do contra-peso é denominado como suspensão simples e /ou suspensão 1:1 (figura 06A), onde os cabos de aço são fixados em tirantes no topo da cabina e no topo do contra-peso. A suspensão dupla e/ou 2:1 (figura 06B), é caracterizada pela existência de polia de suspensão no topo da cabina e no topo do contra-peso.

Figura 06A: Tração simples (1:1).

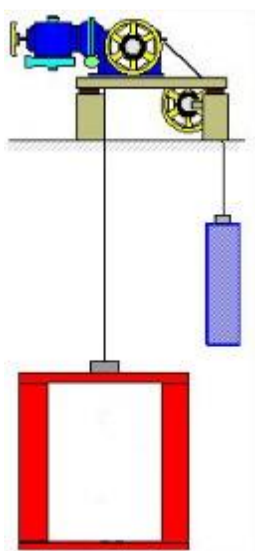
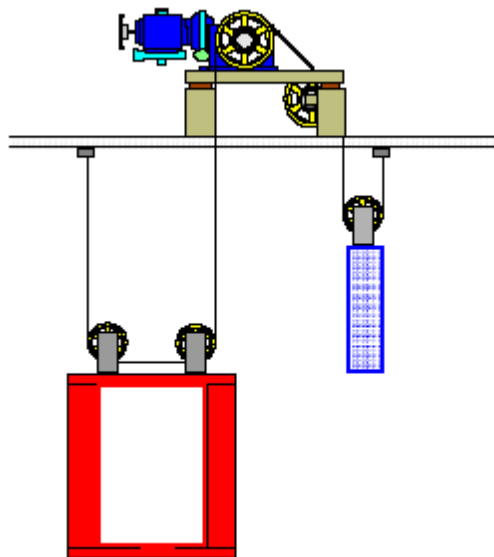


Figura 06B: Tração dupla (2:1).



Fonte: Gomes (2012).

Fonte: Gomes (2012).

2.4.2 Características dos cabos de aço de elevadores e orientação de manutenção

Os cabos de aço em elevadores estão sujeitos a falha por flexão devido a fadiga, desgaste abrasivo devido o contato dos arames com as polias e entre os arames do cabo e também a corrosão

interna e externa. Embora o princípio construtivo dos cabos de aço se baseia em três elementos básicos: arame, pernas e alma, existe uma variabilidade muito grande nas suas configurações finais. (Almeida; et al., 2022).

Os cabos de aço de tração para elevadores são cabos especiais, fabricados para este fim, e são construídos com a designação 6×19 ou 8×19 “Seale”, ou seja, são compostos por seis ou oito pernas/tranças de dezenove fios cada. Estes cabos possuem, ainda, uma alma de fibra natural identificada pela sigla AF, ou então, uma alma de aço formada por uma perna identificada como AA. O tipo mais usado é o com alma de fibra natural. Os diâmetros mais comuns em elevadores são os seguintes: 3/8” (9,5 mm), 1/2” (13 mm), 5/8” (16 mm). Diâmetros maiores que estes somente em aplicações especiais (<http://www.moveconsult.com.br/cabos-de-aco-de-tracao-para-elevadores/>, acesso em 31/10/2023).

A norma ABNT NBR ISO 4309/2022, orienta que sejam verificadas todas as partes visíveis (tipo de equipamento, condições ambientais e operacionais, resultados de inspeções anteriores e tempo de uso) todos os dias úteis quanto a sinais de deterioração e deformação sempre que possível. Porém o que se observa com relação a inspeção visual, é a dificuldade de precisar a quantidade de arames partidos a redução do diâmetro e a corrosão, pois geralmente a iluminação é insuficiente, os cabos ficam praticamente encostados uns nos outros o que inviabiliza a visualização de todo o diâmetro, além de ser um trabalho que exige muita concentração e experiência do técnico. A figura 07 ilustra a visão do técnico durante a inspeção visual no topo da cabina de um elevador com três cabos de aço, na imagem pode-se observar a dificuldade enfrentada pelo técnico neste modelo de inspeção, além da pouca iluminação outro agravante é o tempo de inspeção devido ao comprimento dos cabos, a contagem dos arames quebrados e a redução do diâmetro tornam-se imprecisos e dependem muito da concentração e acurácia do inspetor.

Figura 07: Exemplo de visualização dos cabos de aço no topo da cabina do elevador.



Fonte: Próprio autor (2024).

2.5 ABNT NBR ISO 4309/2022 Equipamentos de movimentação de carga — Cabos de aço — Cuidados e manutenção, inspeção e descarte

A norma ABNT NBR ISO 4309/2022 estabelece princípios gerais para cuidados, manutenção, inspeção e descarte de cabos de aço em serviço em dispositivos de içamento, como equipamentos de movimentação de carga e guinchos.

Ela fornece também critérios de descarte aplicáveis cobrindo corrosão, redução do diâmetro, também o número máximo de arames rompidos, e apresenta um método para avaliar o efeito combinado de deterioração em qualquer posição do cabo.

A ABNT NBR ISO 4309/2022 é aplicável aos seguintes tipos de equipamento de movimentação de carga, a maioria dos quais são definidos na ISO 4306-1:

- a) pórticos de cabo;
- b) equipamentos de movimentação de carga em balanço (equipamento de movimentação de carga de coluna, equipamento de movimentação de carga móvel de parede e equipamento de movimentação de carga velocípede);
- c) equipamentos de movimentação de carga de convés;
- d) equipamentos estacionários de movimentação de carga estacionárias;
- e) equipamentos estacionários de movimentação de carga estacionárias com suporte rígido;
- f) equipamentos de movimentação de carga flutuante;
- g) equipamentos de movimentação de carga móvel;
- h) pontes rolantes;
- i) pórticos e semipórticos rolantes;
- j) equipamentos de movimentação de cargas com pórtico ou com semipórtico;
- k) equipamentos de movimentação de carga locomotiva;
- l) guias;
- m) equipamentos de movimentação de carga oceânicos, por exemplo, equipamento de movimentação de cargas montado em uma estrutura fixa apoiada no leito marinho ou em uma unidade flutuante sustentada por forças de empuxo.

2.5.1 Cuidados e recomendações para cabos de aço conforme ABNT NBR ISO 4309/2022

A manutenção do cabo deve ser executada conforme o tipo do equipamento de movimentação de carga, sua frequência de uso, as condições de ambiente e o tipo do cabo.

Durante a vida útil do cabo, e antes que ele apresente qualquer sinal de ressecamento ou corrosão, particularmente sobre os trechos que passam através de roldanas e entram e saem do tambor e aquelas seções que estão em contato com uma roldana de compensação, o cabo deve ser lubrificado periodicamente, conforme determinado por uma pessoa qualificada. Em alguns casos, se faz necessário limpar o cabo antes de aplicar a graxa para que ela seja efetiva (ABNT NBR ISO 4309/2022).

A graxa do cabo deve ser compatível com o lubrificante original aplicado pelo fabricante do cabo e deve ter características de penetração. Se o tipo de graxa não estiver identificado no manual do equipamento de movimentação de carga, o usuário deve procurar orientação com o distribuidor ou fabricante de cabo de aço (ABNT NBR ISO 4309/2022).

Uma vida útil curta do cabo de aço é comumente resultado de uma falta de manutenção, particularmente se o equipamento de movimentação de carga ou guincho é utilizado em ambiente corrosivo ou, por qualquer razão, a graxa não possa ser aplicada. Nestes casos, o período entre inspeções deve ser consequentemente reduzido (ABNT NBR ISO 4309/2022).

2.5.2 Inspeção periódica conforme ABNT NBR ISO 4309/2022

As inspeções periódicas devem ser realizadas por uma pessoa qualificada. A informação obtida de uma inspeção periódica é utilizada para auxiliar na decisão se o cabo de aço do equipamento de movimentação de carga:

- a) puder permanecer em serviço com segurança e quando tiver que ser submetido à sua próxima inspeção periódica, ou,
- b) precisar ser substituído imediatamente ou dentro de um prazo especificado. Através de um método de avaliação adequado, ou seja, por meios visuais e/ou medição, ou com uma inspeção eletromagnética (MRT), o grau de severidade da deterioração deve ser avaliada e expressa em porcentagem (por exemplo, 20 %, 40 %, 60 %, 80 % ou 100 %) dos critérios individuais de descarte ou em palavras (por exemplo, “Leve”, “Médio”, “Alto”, “Muito alto” ou “Descartar”).

Qualquer dano que possa ter ocorrido ao cabo antes de ser instalado e entrar em serviço deve ser avaliado por uma pessoa qualificada e as observações devem ser registradas. Uma lista dos tipos de deterioração mais comuns pode ser prontamente quantificada (isto é, contando ou medindo) ou precisa ser avaliada subjetivamente (isto é, por meios visuais) pela pessoa qualificada é apresentado no quadro 01.

Quadro 01: Tipos de dano e método de avaliação.

Tipo de dano	Métodos de avaliação
Número de arames rompidos visíveis (incluindo aqueles que são distribuídos aleatoriamente, agrupados localizados, arames rompidos no vale e aqueles que estão próximos da terminação).	Por contagem.
Perda de área metálica por arames rompidos.	Inspeção visual, eletromagnética (VFM).
Diminuição do diâmetro do cabo (resultante do desgaste externo/abrasão, desgaste interno e deterioração do núcleo).	Por medição.
Perda de área metálica causado por mecanismo diferente de arames rompidos, por exemplo, corrosão, desgaste, etc.	Inspeção visual, eletromagnética (VFM).
Perna (s) rompidas (s).	Visual.
Corrosão (externa, interna e por fiação).	Inspeção visual, eletromagnética (VFM).
Deformação.	Visual e por medição (somente ondulação).
Danos mecânicos.	Visual.
Danos por calor (incluindo arco elétrico).	Visual.

Fonte: ABNT NBR ISO 4309:2022. “Cabos de aço - Cuidados, manutenção, instalação, inspeção e descarte” (2022).

2.5.3 Método de Inspeção visual em cabos de aço de elevadores

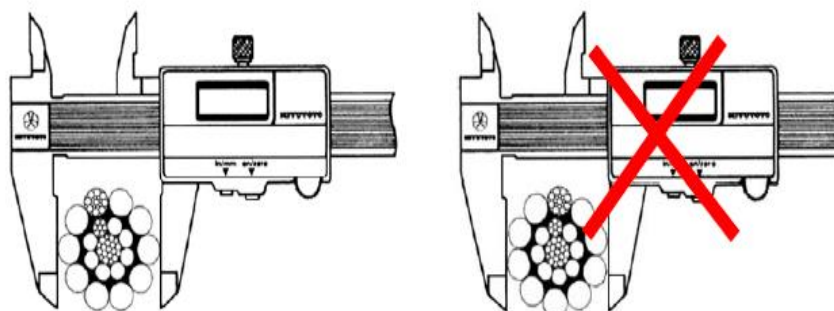
Quando se trata em fazer uma análise em determinado objeto, antes de se utilizar métodos tecnológicos avançados, deve-se considerar a inspeção visual como a técnica preliminar para examinar peças e elementos que vão ser direcionados para outros tipos de ensaios (SILVA Jr. e MARQUES, 2006). A Norma ABNT NBR ISO 4309/2022 ressalta que seguindo as recomendações, a inspeção visual é um método que faz toda diferença nos ensaios para materiais metálicos incluindo os cabos de aço.

A Norma ABNT NBR ISO 4309/2022, orienta que sejam verificadas todas as partes visíveis (tipo de equipamento, condições ambientais e operacionais, resultados de inspeções anteriores e tempo de uso) todos os dias úteis quanto a sinais de deterioração e deformação sempre que possível. Os pontos de conexão do cabo no equipamento de movimentação de carga devem ser cuidadosamente verificados. Quaisquer alterações suspeitas na condição do cabo devem ser relatadas e acompanhadas por profissionais capacitados.

Ao inspecionar os cabos, posicionar o carro na 1ª parada e marcar o trecho em contato com a polia de tração. Repetir a operação com o carro na última parada. posicione os cabos de maneira que o lado em contato com a polia (trecho marcado) fique totalmente visível para inspeção.

Na figura 08a demonstra-se a correta maneira de medir o diâmetro de um cabo de aço utilizando um paquímetro, já a figura 08b ilustra a forma incorreta de medir o diâmetro do cabo de aço.

Figura 08a: Modo correto de medir diâmetro do cabo. Figura 08b: Modo incorreto de medir diâmetro do cabo.



Fonte: DE MARCO FILHO (2022).

2.5.3.1 Falha por Arames Partidos Visíveis

O item 6.2 da norma ABNT NBR ISO 4309/2022 orienta quanto ao critério de falha para o número máximo de arames rompidos visivelmente em um cabo de aço. Utiliza-se neste artigo as informações da tabela 01 desta norma, que é similar a aplicação dos cabos de aço de elevadores, para o uso desta tabela deve-se saber a categoria do cabo e a quantidade de arames tracionados, .

Tabela 01: Critério de descarte de arames visíveis.

Número da categoria do cabo (RCN) (ver anexo H)	Quantidade total de arames que suportam carga em todas as pernas externas do cabo n	Número de arames rompidos externos					
		Trecho de cabo que trabalham em roldanas de aço e/ou enrolados em uma única camada no tambor (arames rompidos distribuídos randomicamente)				Trechos do cabo enrolados em várias camadas no tambor.	
		Classes M1 a M4 (ISO 4301.1:1986) ou classe desconhecida.				Todas as classes	
		Torção regular		Torção lang		Torção regular ou lang	
		Em um comprimento de 6*d	Em um comprimento de 30*d	Em um comprimento de 6*d	Em um comprimento de 30*d	Em um comprimento de 6*d	Em um comprimento de 30*d
1	n<=50	2	4	1	2	4	8
2	51 <=n<=75	3	6	2	3	6	12
3	76 <=n<=100	4	8	2	4	8	16
4	101 <=n<=120	5	10	2	5	10	20
5	121 <=n<=140	6	11	3	6	12	22
6	141 <=n<=160	6	13	3	6	12	26
7	161 <=n<=180	7	14	4	7	14	28
8	181 <=n<=200	8	16	4	8	16	32
9	201 <=n<=220	9	18	4	9	18	36
10	221 <=n<=240	10	19	5	10	20	38
11	241 <=n<=260	10	21	5	10	20	42
12	261 <=n<=280	11	22	6	11	22	44
13	281 <=n<=300	12	24	6	11	24	48
	n> 300	0,04*n	0,08*n	0,02*n	0,04*n	0,08*n	0,16*n

Fonte: ABNT NBR ISO 4309:2022. “Cabos de aço - Cuidados, manutenção, instalação, inspeção e descarte” (2022).

2.5.3.2 Falha por Ruptura de perna

Se houver de 4 a 5 arames partidos concentrados em uma seção da perna, indica indício de fadiga. Quando isso ocorrer, há o perigo iminente de ruptura da perna o que, caso aconteça, poderá danificar os outros cabos ou provocar o escapamento dos mesmos da polia. Se essa condição for verificada, a substituição do cabo deve ser providenciada (ABNT NBR ISO 4309/2022).

2.5.3.3 Redução do Diâmetro do Cabo Segundo ABNT ISO 4309/2022

Conforme item 6.4.1 da norma ABNT NBR ISO 4309/2022, os valores do critério de descarte para uma redução uniforme do diâmetro do cabo para trechos de cabos que trabalham em roldanas de aço e/ou enrolados em uma única camada no tambor são mostrados, na tabela 02. Não se aplicam aos trechos em seções coincidentes com áreas de cruzamento em camada múltiplas ou outros trechos do cabo que são deformados de maneira similar em múltiplas camadas no tambor. O cálculo para determinar a quantidade de diminuição no diâmetro e expresso como uma porcentagem do diâmetro nominal do cabo é dado em 6.4.2. A tabela 03 informa a redução de diâmetro equivalente, expressa em relação ao percentual do diâmetro nominal do cabo, para grau de severidade expresso em incrementos, por conveniência, de 20 % (isto é, 20 %, 40 %, 60 %, 80 % e 100 %). Outros graus de severidade, por exemplo, expressos em incrementos de 25 % (isto é, 25 %, 50 %, 75 % e 100 %), podem também ser selecionados.

Tabela 02: Redução uniforme no diâmetro do cabo sinalizando descarte do cabo – Cabos que trabalham em roldanas de aço e/ou enrolados em uma única camada no tambor

Tipo de cabo	Redução uniforme no diâmetro (expresso em % do diâmetro nominal)	Grau de severidade	
		Descrição	Percentual %
Camada única com alma de fibra	Menor que 6%	–	0
	6% >= e < 7%	Leve	20
	7% >= e < 8%	Médio	40
	8% >= e < 9%	Alto	60
	9% >= e < 10%	Muito alto	80
	10% e maior	Descarte	100
Camada única com alma de aço ou cabo fechado paralelamente	Menor que 3,5%	–	0
	3,5% >= e < 4,5%	Leve	20
	4,5% >= e < 5,5%	Médio	40
	5,5% >= e < 6,5%	Alto	60
	6,5% >= e < 7,5%	Muito alto	80
	7,5% e maior	Descarte	100
Resistente à rotação	Menor que 1%	–	0
	1% >= e < 2%	Leve	20
	2% >= e < 3%	Médio	40
	3% >= e < 4%	Alto	60
	4% >= e < 5%	Muito alto	80
	5% e maior	Descarte	100

Fonte: ABNT NBR ISO 4309:2022. “Cabos de aço - Cuidados, manutenção, instalação, inspeção e descarte” (2022).

2.5.3.4 Falha por Corrosão

Segundo Elevadores Otis (2001), primeira ação a se tomar, caso se verifique corrosão entre as pernas do cabo, é medir o diâmetro cuidadosamente na região afetada. a corrosão acontece pela oxidação dos arames e pode ser notada através da formação de um pó avermelhado. as causas dessa oxidação se devem basicamente a dois fatos:

a) Insuficiência de lubrificação: a lubrificação adequada dos cabos de elevadores para evitar oxidação e redução do diâmetro. A falta de lubrificação pode causar problemas, mas é possível prolongar a vida útil dos cabos relubrificando-os com óleo apropriado. A oxidação ocorre principalmente em ambientes úmidos e agressivos ou devido ao uso incorreto de lubrificantes. Em elevadores expostos ao tempo, a lubrificação é especialmente importante devido à entrada de água da chuva.(Elevadores Otis – “Critérios de avaliação e condenação para cabos de aço” - 2001).

b) Redução do diâmetro por fricção entre as pernas: os cabos de aço, durante a sua vida útil, sofrem uma redução do seu diâmetro nominal devido ao desgaste natural que ocorre entre as pernas. Esse desgaste é agravado quando o cabo sofre oxidação, pois há o enfraquecimento da estrutura do arame. isso faz com que o atrito entre as pernas do cabo oxidado provoque um desgaste acelerado (formação de um pó avermelhado) e uma interferência entre as pernas adjacentes, causando uma redução da área da seção do cabo e conseqüentemente um aumento do esforço de tração sobre os fios de arame das pernas, podendo provocar rupturas internas. essa é uma condição é extremamente perigosa pois a ruptura só se torna visível com o cabo curvado e sem carga. Se for encontrado, durante a medição, uma redução de 4% ou mais no diâmetro devido à corrosão, os

cabos deverão ser substituídos (Elevadores Otis – “Critérios de avaliação e condenação para cabos de aço” -2001).

2.5.4 Inspeção eletromagnética conforma a norma ABNT NBR ISO 4309/2022

Uma inspeção eletromagnética (MRT) pode ser usada como uma ajuda para inspeção periódica para determinar a localização das seções do cabo que podem estar sujeitas à deterioração.

Ao realizar a inspeção eletromagnética como um elemento da inspeção periódica, convém que o cabo seja submetido a um exame inicial (traço de base) o mais rápido possível em sua vida útil para servir como um “ponto de partida”, ponto de referência (às vezes referido como “assinatura do cabo”) para comparação futura (ABNT NBR ISO 4309/2022).

A inspeção eletromagnética é indicada em trechos onde possam existir defeitos que poderiam não ser identificados apenas com a inspeção visual. Nesse caso ela deve ser empregada em conjunto com a inspeção visual (ABNT NBR ISO 4309/2022). O apêndice “B” deste artigo traz um exemplo de ficha para inspeção eletromagnética.

Quando não houver nenhuma Norma Internacional específica disponível para a qualificação de dispositivos de inspeção eletromagnética, convém que orientações sejam tomadas a partir de normas que contemplem os tópicos de instrumentação e verificação de instrumentos, por exemplo, EN 12927 ou ASTM E157-11 (2016)e1.

NOTA Algumas limitações da inspeção eletromagnética são:

- Só pode ser usada para cabos de aço ferromagnético;
- Onde o espaço entre as extremidades dos arames rompidos for menor que a sensibilidade do instrumento;
- Um cabo com acesso restrito para o instrumento de medição, por exemplo, perto de terminações finais ou roldanas do equalizador;

2.5.4.1 Inspeção eletromagnética critérios de descarte conforme ABNT NBR ISO 4309/2022

Falha localizada de redução de área por arames partidos (LF):

Para o cálculo da perda de área metálica decorrente de ruptura de arames, convém que seja determinado o diâmetro real dos arames rompidos. Se isso não for possível, o diâmetro máximo dos arames do cabo, excluindo os arames de enchimento (Filler), pode ser considerado para o cálculo. A perda de área metálica resultante de LF (redução de área localizada) é determinada independentemente da construção do cabo. Os valores de descarte para perda de área metálica podem ser lidos em um comprimento de $6d$ ou em um comprimento de $30d$ da Tabela 03.

Tabela 03: Critérios de descarte LF-.

	Perda de área metálica %
Em um comprimento de $6*d$	6
Em um comprimento de $30*d$	10
d = diâmetro nominal do cabo	

Fonte: ABNT NBR ISO 4309:2022. “Cabos de aço - Cuidados, manutenção, instalação, inspeção e descarte” (2022).

O cálculo para determinar o número máximo de arames rompidos com base em 6% de perda de área metálica é o seguinte:

- Número máximo de arames rompidos = $\phi * A * 4 / (\pi * \delta_{\max}^2)$);
- Onde ϕ é a perda total máxima permitida de área metálica (6 % sobre $6d$);
 - A é a área da seção transversal metálica do cabo (do certificado de teste);
 - δ_{\max} é o diâmetro do arame de diâmetro máximo;

Falha para redução do diâmetro (LMA):

Para a determinação do descarte por LMA (redução de diâmetro por desgaste e/ou corrosão) é utilizada toda a seção metálica transversal do cabo. A perda de área metálica lida no sistema de medição da Inspeção Eletromagnética (MRT) é determinada independentemente da construção do cabo. Os valores máximos de descarte para perda de área metálica em um comprimento de $30d$ são fornecidos na Tabela 04.

Tabela 04: LMA-MRT – Perda máxima admissível de área metálica para todas as construções de cabo

	Perda de área metálica %
Em um comprimento de $6*d$	6
Em um comprimento de $30*d$	10
d = diâmetro nominal do cabo	

Fonte: ABNT NBR ISO 4309:2022. “Cabos de aço - Cuidados, manutenção, instalação, inspeção e descarte” (2022).

2.6 Considerações finais sobre a revisão bibliográfica

A inspeção eletromagnética de cabos de aço de elevadores representa um avanço significativo na manutenção preditiva e na segurança dos sistemas de elevadores. A revisão bibliográfica destacou não apenas os princípios fundamentais por trás dessa técnica inovadora, mas também ofereceu uma compreensão aprofundada dos cabos de aço de elevadores e dos sistemas de tração associados. Além disso, a análise das normas pertinentes destacou a importância da conformidade regulatória para garantir a eficácia e a confiabilidade das inspeções. Em conjunto, esses conteúdos não apenas enriquecem nosso entendimento teórico, mas também fornecem uma base sólida para a implementação prática dessas técnicas de inspeção, promovendo assim a segurança e o desempenho otimizado dos sistemas de elevadores.

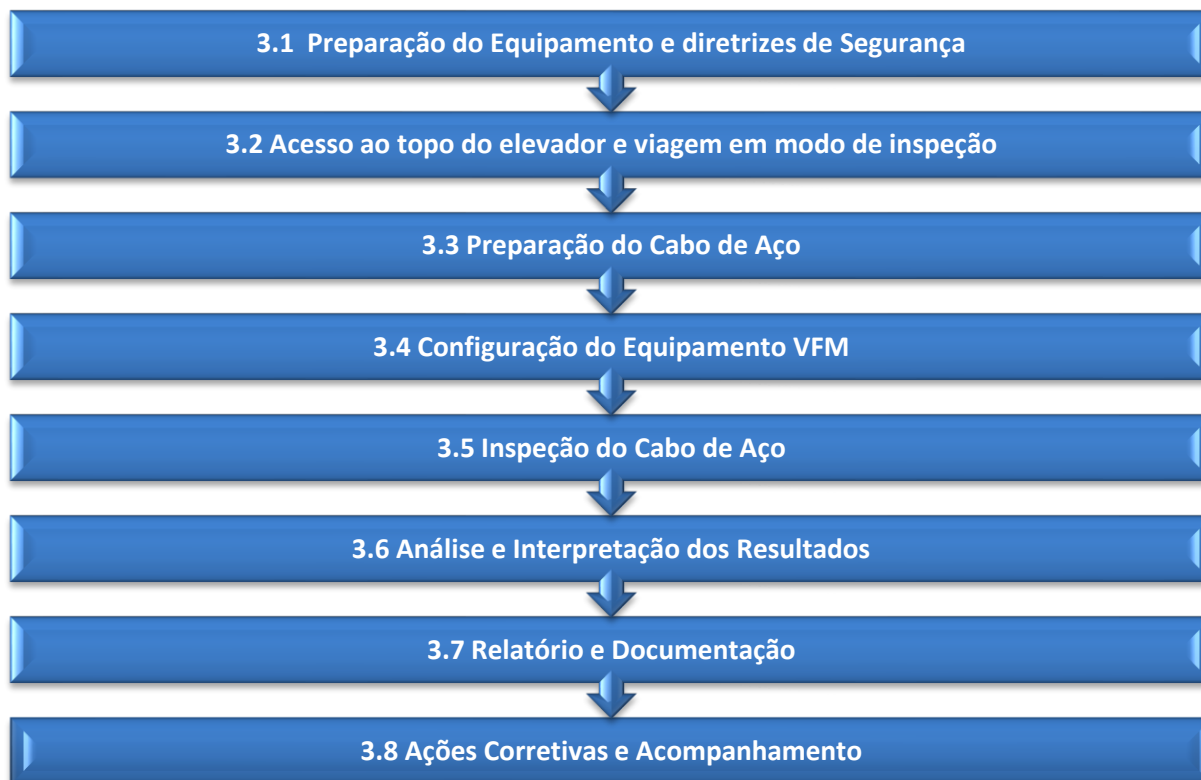
3 DESENVOLVIMENTO DE UM PROCEDIMENTO VFM PARA INSPEÇÃO DOS CABOS DE AÇO DE UM ELEVADOR DE PASSAGEIROS

Desenvolveu-se um estudo sobre o método vazamento de fluxo magnético (VFM) com o objetivo de avaliar a possibilidade da aplicação deste método na inspeção de cabos de aço de elevadores. Visto que este procedimento já está previsto e regulado pela norma ABNT NBR ISO 4309/2022, e também que o mesmo é amplamente utilizado na inspeção de cabos de aço de diversos setores como: indústria petroleira, pontes estaiadas, teleféricos, entre outros. Optou-se por fazer um procedimento de inspeção de cabos de aço de elevadores utilizando este método, avaliando as particularidades do elevador e as normas relacionadas a ele.

A figura 09 descreve o procedimento para a inspeção dos cabos de aço de um elevador de passageiros utilizando o método de vazamento de fluxo magnético (VFM). O processo inicia-se com a preparação e verificação de segurança, seguida pelo acesso seguro ao topo do elevador e preparação do cabo de aço. Em seguida, o equipamento VFM é configurado e calibrado. A inspeção é realizada monitorando os sinais em tempo real para detectar defeitos. Após a inspeção, os dados são analisados, e um relatório detalhado é elaborado. Finalmente, são implementadas

ações corretivas conforme necessário, com inspeções de acompanhamento para garantir a integridade contínua dos cabos.

Figura 09: Resumo do procedimento de inspeção magnética.



Fonte: Próprio autor (2024).

3.1 Preparação do Equipamento e diretrizes de Segurança

Primeiramente deve-se observar os procedimentos de segurança bem como a utilização dos equipamentos de proteção individual. Faz-se o preenchimento de uma APR (análise preliminar de riscos), para que se previna riscos e perigos relacionados a execução da tarefa, este artigo traz em seu apêndice A um exemplo de “APR”. Verifique se há riscos potenciais na área de inspeção, como materiais perigosos, fiações elétricas expostas ou condições de piso escorregadias. Tome medidas para mitigar esses riscos, se necessário.

Essa atividade deverá ser feita preferencialmente por profissional com experiência e treinamento no ramo elevadores, visto que este é um equipamento de movimentação vertical de altas cargas, com risco iminente de acidente por diversos fatores, cita-se por exemplo: risco de queda por ser trabalho em altura, riscos de choque elétrico, risco de atingir ou ser atingido por objetos, risco de escoriações, risco ao público que circula pelos corredores do empreendimento, risco com movimentação de polias, etc.

Abaixo são enumerados alguns cuidados adicionais com a segurança da operação:

- Assegure-se de que haja iluminação adequada na área de inspeção para permitir uma visualização clara do cabo de aço.
- Sinalize as portas de andar para identificar que o elevador ficara fora de operação para se realizar manutenção, importante dar uma previsão de tempo para retorno ao funcionamento normal.

- Certifique-se de que todos os equipamentos de inspeção estejam funcionando corretamente, incluindo o equipamento VFM, fonte de energia e computador para análise de dados, se necessário.

3.2 Acesso ao topo do elevador e viagem em modo de inspeção

Para que se possa acessar o topo da cabina de maneira segura deve-se seguir o procedimento padrão, abaixo o passo a passo:

- Chamar o elevador na última chamada superior;
- Realizar duas chamadas para andares inferiores;
- Destruvar a porta de andar utilizando a chave de emergência conforme figura 10, certifique-se que o elevador parou, trave a porta de andar aberta com mínimo de abertura possível;

Figura 10: Destruvando o trinco da porta de pavimento.



Fonte: Próprio autor (2024).

4º- Chame o elevador e verifique se o mesmo não se movimentou efetuando uma chamada segundo a figura 11, neste passo testa-se o contato elétrico de porta de andar;

Figura 11: Efetuando uma chamada através do botão de pavimento.



Fonte: Próprio autor (2024).

5º- Pressione o botão de emergência, conforme ilustrado na figura 12, certifique-se que a porta de andar está fechada, efetue uma chamada, aguarde 10 segundos, neste passo testa-se o funcionamento do botão de emergência;

Figura 12: Pressionando o botão de emergência no topo da cabina.



Fonte: Próprio autor (2024).

6º- Abra a porta de andar e ative a chave de inspeção, desative o botão de emergência, conforme demonstrado na figura 13, certifique-se que a porta de andar está fechada, chame o elevador e aguarde 10 segundos, neste passo testa-se a chave de inspeção;

Figura 13: Ligando a chave de inspeção no topo da cabina.



Fonte: Próprio autor (2024).

7º- Abra a porta de andar, trave a porta de andar, pressione o botão de emergência;

8º- Verifique a existência de guarda-corpo e sua integridade, utilize cinto de segurança e/ou cinto limitador de área;

9º- Coloque no topo da cabina todos os materiais e ferramentas necessárias para a inspeção dos cabos de aço;

10º- Acesse o topo de elevador, certifique-se que a porta de andar está fechada, desligue o botão de emergência, teste os botões de direção do modo inspeção;

11º- Faça a viagem de inspeção utilizando os botões de direção, localizados na caixa de inspeção exemplificada na figura 14, quando o equipamento estiver parado mantenha o botão de emergência ligado para maior segurança;

Figura 14: Caixa de inspeção de um elevador de passageiros.



Fonte: Próprio autor (2024).

3.3 Preparação do Cabo de Aço

Após efetuar a acesso ao topo da cabina conforme procedimento descrito no item 3.2, faz-se a movimentação da cabina em manobra de inspeção através dos botões comum mais sobe ou comum mais desce localizado na caixa de inspeção, para que se verifique os cabos de aço, as polias, tirantes, porcas de tirantes e pinos de trava dos tirantes.

- Limpe o cabo de aço com um solvente adequado para remover qualquer sujeira ou graxa superficial que possa interferir na inspeção. Se necessário, remova qualquer revestimento protetor do cabo para garantir um contato direto entre o sensor VFM e o cabo de aço.
- Verifique visualmente o cabo de aço em busca de danos externos visíveis, como corrosão, amassados ou deformações. É importante que se avalie a integridade dos canais de polia, tanto de tração, quanto de desvio e /ou suspensão. Também observar os terminais do cabo, avaliando porcas, arruelas, tirantes e pinos de trava.

Este procedimento deve ser feito necessariamente por dois profissionais, um vai fazer a movimentação do elevador no topo da cabina, e o outro ficará na casa de máquinas monitorando e ajustando se necessário os sensores do sistema VFM.

3.4 Configuração do Equipamento VFM

Consulte o manual do fabricante para obter instruções detalhadas sobre como configurar o equipamento VFM, faz-se necessário calibrar o equipamento para que se obtenha uma inspeção mais precisa. Ajuste os parâmetros do equipamento, como sensibilidade, frequência de operação e largura de banda, de acordo com as especificações do cabo de aço e as condições de inspeção. Realize uma verificação de calibração para garantir que o equipamento esteja funcionando corretamente e que os resultados da inspeção sejam precisos.

A calibração deve ser feita no trecho onde o cabo de aço não tem contato com as polias, geralmente próximo dos tirantes o cabo está intacto, pois neste trecho está sujeito somente a tensão de tração. Neste ponto não haverá arames rompidos nem redução do diâmetro por abrasão.

3.5 Inspeção do Cabo de Aço

Como foi descrito no item 3.2 deste artigo, o movimento da cabina será feito em velocidade de inspeção após satisfeitas os requisitos de segurança. Mantenha uma velocidade de inspeção constante para garantir uma cobertura completa do cabo de aço.

O procedimento deve ser feito em dois profissionais, um terá a função de acessar o topo da cabina e fazer a manobra do elevador, enquanto o outro posicionará o sensor hall no cabo verificando a passagem do mesmo pelo cabo de aço. O sensor deve ser posicionado conforme indicação demonstrada na figura 15, devido a melhor visualização e acompanhamento do movimento do cabo ao passar pelos sensores.

Figura 15: Demonstração de posicionamento dos sensores de VFM nos cabos de aço de um elevador.



Fonte: Próprio autor (2024).

Posicione o sensor VFM ao longo do comprimento do cabo de aço, garantindo um contato firme e uniforme entre o sensor e a superfície do cabo, faça marcações no cabo para garantir que o mesmo foi inspecionado por completo.

Durante a inspeção, monitore os sinais de saída do equipamento VFM em tempo real e esteja atento a quaisquer variações que possam indicar a presença de defeitos no cabo.

Efetuar a passagem do equipamento de VFM por toda extensão do cabo e em todos os cabos do elevador, inclusive no cabo do limitador de velocidade.

3.6 Análise e Interpretação dos Resultados

Após a conclusão da inspeção, analisa-se os dados coletados usando software de análise apropriado, se disponível. Identifica-se áreas suspeitas de defeitos no cabo de aço com base nos padrões de sinal detectados pelo equipamento VFM. Classifica-se os defeitos detectados de acordo com sua severidade e extensão, utilizando critérios da norma ABNT NBR ISO 4309/2022.

Desenvolveu-se uma tabela no excel simplificada para análise rápida dos dados coletados, indicando a aprovação ou reprovação do cabo de aço inspecionado. Após a inspeção se verifica os piores casos encontrados para redução de diâmetro por arames rompidos (LF) e perda da área por corrosão localizada ou desgaste causado pelo atrito (LMA). Na tabela informar: o diâmetro nominal do cabo em milímetros, o máximo diâmetro do arame em milímetros, o número de arames rompidos em um comprimento de 6xD (seis vezes o diâmetro nominal), o número de arames rompidos em um comprimento de 30xD e a menor área metálica encontrada em um comprimento de 30xD.

Figura 16: Planilha de descarte de cabos de aço conforme anexo “C” da ABNT ISO 4309/2022.

PLANILHA DE DESCARTE DE CABOS DE AÇO CONFORME ANEXO "C" DA NBR ABNT ISO 4309/2022					
Dados de Entrada					
Diâmetro do Cabo (mm)		✘			
Máximo Diâmetro do Arame (mm)		✘			
Área do Cabo (mm²)		0			
Número máximo de arames rompidos (LF)			PERDA DA ÁREA METÁLICA (LMA)		
Comprimento	6*D	30*D	Comprimento	30*D	
Padrão Norma	0	0	Padrão Norma	0	
Medição	✘	✘	Medição	✘	
Resultado	REPROVADO	REPROVADO	Resultado	APROVADO	
Comprimento (mm)					
6*D	0				
30*D	0				

Fonte: Próprio Autor (2024).

3.7 Relatório e Documentação

Prepare um relatório detalhado da inspeção, incluindo informações sobre a configuração do equipamento, procedimentos de inspeção, dados coletados, resultados da análise e quaisquer recomendações para ações corretivas.

Seja claro e conciso ao descrever qualquer defeito detectado, fornecendo informações sobre sua localização, tamanho, forma e severidade, sempre que possível. No anexo “B” deste artigo tem-se o modelo de tabela de acompanhamento sugerido pela norma ABNT ISO 4309/2022, nela é possível inserir as características do equipamento, bem como data e dados coletados, este documento servirá como um guia de bordo para futuras inspeções.

3.8 Ações Corretivas e Acompanhamento

Com base nos resultados da inspeção, devem ser implementadas ações corretivas que forem necessárias, como reparo, substituição e o tempo entre as inspeções, conforme apropriado.

Também dever ser realizadas inspeções de acompanhamento conforme necessário para monitorar a integridade do cabo de aço ao longo do tempo e garantir a eficácia das medidas corretivas adotadas. A norma não especifica o tempo certo, então quando o cabo apresentar sinais de final da vida útil e/ou grande desgaste as inspeções devem ser feitas em um intervalo de tempo menor.

3.9 Passo a passo do procedimento

O procedimento de inspeção de cabos de aço em elevadores é essencial para garantir sua segurança e funcionamento adequado. Iniciando com medidas de segurança e preparação cuidadosa, como análise preliminar de riscos e garantia de iluminação adequada, o processo segue

com acesso seguro ao topo do elevador e preparação do cabo para inspeção. Utilizando equipamento VFM, os cabos são inspecionados durante a movimentação da cabina, com dados analisados para identificar defeitos conforme normas estabelecidas. Um relatório detalhado é então preparado, fornecendo dados e recomendações para ações corretivas, garantindo a segurança contínua do sistema de elevador. Na sequência fez-se um passo a passo resumido das principais etapas para a execução do procedimento de inspeção magnética em elevadores.

Passo 1: Preparação e Segurança

- Observar os procedimentos de segurança e utilizar equipamentos de proteção individual;
- Preencher uma Análise Preliminar de Riscos (APR) para prevenir riscos relacionados à tarefa;
- Verificar potenciais riscos na área de inspeção e tomar medidas para mitigá-los, se necessário;
- Assegurar iluminação adequada na área de inspeção;
- Sinalizar as portas dos andares para indicar que o elevador está fora de operação para manutenção;

Passo 2: Acesso ao Topo do Elevador e Viagem em Modo de Inspeção

- Chamar o elevador na última chamada superior;
- Realizar duas chamadas para andares inferiores;
- Destruar a porta de andar utilizando a chave de emergência e trave-a aberta;
- Verificar se o elevador não se movimentou efetuando uma chamada e testar o contato elétrico da porta de andar;
- Pressionar o botão de emergência e testar seu funcionamento;
- Abrir a porta de andar, ativar a chave de inspeção e desativar o botão de emergência;
- Abrir a porta de andar, trave-a, e pressione o botão de emergência;
- Verificar a existência e integridade do guarda-corpo, e utilizar cinto de segurança;
- Colocar no topo da cabina os materiais e ferramentas necessários;
- Acessar o topo do elevador, certificar-se de que a porta de andar está fechada, desligar o botão de emergência e testar os botões de direção do modo inspeção;
- Fazer a viagem de inspeção utilizando os botões de direção na caixa de inspeção;

Passo 3: Preparação do Cabo de Aço

- Limpar o cabo de aço com solvente adequado;
- Verificar visualmente o cabo de aço em busca de danos externos visíveis;
- Este procedimento deve ser realizado por dois profissionais, um movimentando o elevador e o outro monitorando os sensores do sistema VFM;

Passo 4: Configuração do Equipamento VFM

- Consultar o manual do fabricante para configurar o equipamento VFM;
- Calibrar o equipamento de acordo com as especificações do cabo de aço e as condições de inspeção;
- Realizar uma verificação de calibração para garantir a precisão do equipamento;

Passo 5: Inspeção do Cabo de Aço

- Manter uma velocidade de inspeção constante;
- Posicionar o sensor VFM ao longo do comprimento do cabo de aço;
- Monitorar os sinais de saída do equipamento VFM em tempo real;

- Efetuar a passagem do equipamento VFM por toda a extensão do cabo;

Passo 6: Análise e Interpretação dos Resultados

- Analisar os dados coletados usando software de análise apropriado;
- Identificar áreas suspeitas de defeitos no cabo de aço com base nos padrões de sinal detectados;
- Classificar os defeitos detectados de acordo com sua severidade e extensão;

Passo 7: Relatório e Documentação

- Preparar um relatório detalhado da inspeção, incluindo informações sobre configuração do equipamento, procedimentos, dados coletados, resultados da análise e recomendações para ações corretivas;

Passo 8: Ações Corretivas e Acompanhamento

- Implementar ações corretivas com base nos resultados da inspeção;
- Realizar inspeções de acompanhamento conforme necessário para monitorar a integridade do cabo de aço ao longo do tempo;

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo fez-se uma inspeção visual dos cabos de aço de um elevador de passageiros, com o objetivo de verificar o estado deste componente após um determinado tempo de serviço. Observou-se neste caso uma oportunidade em potencial para a utilização do método VFM para determinar o descarte ou não destes cabos de aço.

O objeto de estudo são os cabos de aço de um elevador de passageiros localizado no centro da cidade de Passo Fundo – RS, este equipamento está em serviço a aproximadamente 28 anos, os cabos de aço nunca foram substituídos, desta forma apresentam sinais de desgaste devido ao uso. Fez-se uma inspeção visual nos cabos de aço e os resultados foram analisados levando em consideração os critérios de descarte na norma ABNT ISO 4309/2022. O desafio é demonstrar o quanto a inspeção magnética é útil e se através dela o cabo poderia ser mantido em funcionamento de forma segura e/ou descartado, amparado pelos parâmetros da norma.

4.1 Descrição e Características do Equipamento

Este equipamento localiza-se no centro de Passo Fundo – RS, sendo um prédio residencial de alto padrão. Neste condomínio estão instalados dois elevadores de passageiros que funcionam em sincronismo atendendo 13 andares.

O elevador é da marca “OTIS”, modelo do comando é ADV-210, é um comando microprocessado, as portas de pavimento são do tipo eixo vertical, o sistema de tração é dupla e/ou 2:1 (descrito no item 2.1.1 deste artigo), a máquina de tração é do tipo com engrenagem, a potência do motor é de 4 kw, a rotação da polia de tração é de 66,4 rpm, a tração do contra-peso e da cabina é feita por três cabos de aço com diâmetro de 3/8” (9,525 mm), o cabo de aço do limitador de velocidade tem um diâmetro de 5/16” (7,937 mm), a velocidade nominal do elevador é de 1 metro por segundo (1 m/s). O acionamento do motor de tração é do tipo 2V (duas velocidades).

4.2 Dados Obtidos na Inspeção Visual

A inspeção visual foi feita conforme orientação da norma ABNT NBR ISO 4309/2022, descritas no capítulo 2.5.3 deste artigo. Esta inspeção levou em torno de duas horas para ser concluída. Ela foi feita em forma de amostras, onde as medições foram em cada andar, levando

em consideração o trecho em que o cabo passa pela polia de tração, onde além de estar sob esforço de tração também sofre desgaste abrasivo devido ao atrito da polia de tração com os cabos.

4.2.1 Medição de arames rompidos

Foram feitas medições a cada andar, em cada um dos três cabos de tração e no cabo do limitador de velocidade, observando o número de arames rompidos em um comprimento de seis vezes o diâmetro do cabo e trinta vezes o diâmetro do cabo. A figura 17 abaixo informa o número de arame partidos encontrados em cada um dos três cabos de tração e no cabo do limitador de velocidade.

Na figura 17, se verifica o número de arames rompidos dos cabos de aço do elevador mencionado. O item “comprimento medido do cabo” se refere a amostra medida em um comprimento de seis vezes o diâmetro do cabo e de trinta vezes o diâmetro do cabo. Os itens “CT1”, “CT2”, “CT3” e “CL” se referem respectivamente aos cabos de tração um dois três e ao cabo de limitador de velocidade. O limite para condenação do cabo, é o número máximo de arames rompidos permitidos pela norma num comprimento de seis vezes o diâmetro do cabo e 30 vezes o diâmetro do cabo, neste caso conforme tabela 02 do capítulo 2.5.3.1 deste artigo. O item “situação final” é o diagnóstico do cabo, se o mesmo não exceder o número máximo de arames partidos em seis vezes o diâmetro e 30 vezes o diâmetro estará “OK”, ou seja, apto ao serviço, porém se exceder o número de arames rompidos estabelecido pela norma deverá ser descartado. Esta tabela foi feita para medir os arames rompidos externamente dos cabos de aço de um elevador de 13º andares.

Figura 17: Planilha para verificação de arames rompidos externos.

ARAMES PARTIDOS MEDIDO A CADA ANDAR																
Andar	Comprimento medido do cabo								Limite para condenação do cabo				Situação final			
	6 x Diâmetro				30 x Diâmetro				6 x D		30 x D					
	C.T 1	C.T 2	C.T 3	C.L	C.T 1	C.T 2	C.T 3	C.L	C.T	C.L	C.T	C.L	C.T 1	C.T 2	C.T 3	C.L
1º	4	2	4	0	9	7	6	0	5	3	10	6	ok	ok	ok	ok
2º	3	4	2	0	7	5	4	0	5	3	10	6	ok	ok	ok	ok
3º	2	2	1	0	3	5	2	0	5	3	10	6	ok	ok	ok	ok
4º	3	1	2	0	2	2	3	0	5	3	10	6	ok	ok	ok	ok
5º	1	1	2	0	3	3	1	0	5	3	10	6	ok	ok	ok	ok
6º	1	1	3	0	3	2	2	0	5	3	10	6	ok	ok	ok	ok
7º	2	1	2	0	3	2	3	0	5	3	10	6	ok	ok	ok	ok
8º	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	10	6	ok	ok	ok	ok
9º	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	10	6	ok	ok	ok	ok
10º	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	10	6	ok	ok	ok	ok
11º	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	10	6	ok	ok	ok	ok
12º	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	10	6	ok	ok	ok	ok
13º	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	10	6	ok	ok	ok	ok

Fonte: Próprio Autor (2024).

Analisando os dados obtidos na figura 17 “ARAMES PARTIDOS MEDIDOS A CADA ANDAR”, verificou-se que para esta inspeção todos os cabos estão aptos ao serviço. Foram usados os parâmetros a tabela 02 do capítulo 2.5.3.1 deste artigo retirada da norma ABNT ISO 4309/2022, que estabelece para um cabo de aço que possui entre 101 e 120 arames tracionados, o limite máximo de arames partidos externos num comprimento de seis vezes o diâmetro seja de cinco

arames partidos, e para um comprimento medido de trinta vezes o diâmetro o limite de para descarte de dez arames partidos externamente, este parâmetro se refere aos cabos de tração “CT1, CT2 e CT3”. Para o cabo do limitador de velocidade “CL”, o limite de arames partidos externamente num comprimento de seis vezes o diâmetro é de três arames, e para um comprimento de trinta vezes o diâmetro é de seis arames partidos. O cabo de limitador se encontra numa categoria inferior ao cabo de tração devido ao diâmetro menor e ao número de arames tracionados.

É importante ressaltar que o cabo de tração “CT1” apresentou um número de arames rompido externos próximo ao limite da norma no trecho em que o mesmo passa pela polia de tração quando a cabina está no 1º andar. Neste caso é um sintoma de desgaste natural já que este é o andar principal do prédio, devido ao atrito causado pela força de tração exercida pela polia nos cabos, o próprio atrito entre os arames e a fadiga causada pela mudança de direção ao passar pelas polias de suspensão. Para esta situação a norma ABNT ISO 4309/2022 indica que as próximas inspeções sejam feitas num prazo menor. Como este cabo apresentou 9 arames rompido externamente e o limite admitido pela norma é 10 arames partidos, provavelmente na próxima inspeção este cabo deva ser descartado. O cabo do limitador de velocidade “CL” não apresentou arames rompido nesta inspeção.

4.2.2 Redução de diâmetro

Quanto a redução do diâmetro, as medições foram feitas a cada andar, em todos os cabos de tração e no cabo do limitador de velocidade. A figura 18 demonstra os diâmetros medidos no equipamento com paquímetro e faz a comparação com o critério de condenação. Esta planilha é denominada “Redução do diâmetro medido a cada andar”, tem como objetivo verificar a redução do diâmetro dos cabos de aço. O item “diâmetro medido” se refere a medição efetuada a cada andar. O item “limite de 10% de redução de diâmetro” refere-se ao limite máximo de redução de diâmetro admissível pela norma ABNT ISO 4309/2022, este parâmetro é definido na norma em cinco categorias de redução admissível, no caso deste estudo foi considerado o pior cenário que é uma redução máxima de 10% do diâmetro nominal. O diâmetro nominal dos cabos de tração é de 9,48 mm e do limitador de velocidade é de 7,2 mm.

Figura 18: Planilha para verificação de arames rompido externos.

REDUÇÃO DO DIÂMETRO MEDIDO A CADA ANDAR											
Andar	Diâmetro Medido				Limite de 10% de Redução de diâmetro		Situação final				
	C.T 1	C.T 2	C.T 3	C.L	C.T	C.L	C.T 1	C.T 2	C.T 3	C.L	
1º	9,1	8,85	8,65	7,2	8,53	6,5	OK	OK	OK	OK	
2º	9,15	8,8	8,6	7,2	8,53	6,5	OK	OK	OK	OK	
3º	9,15	8,9	8,65	7,2	8,53	6,5	OK	OK	OK	OK	
4º	9,15	8,89	8,7	7,2	8,53	6,5	OK	OK	OK	OK	
5º	9,3	8,95	8,8	7,2	8,53	6,5	OK	OK	OK	OK	
6º	9,35	9,1	8,85	7,2	8,53	6,5	OK	OK	OK	OK	
7º	9,35	9,15	8,95	7,2	8,53	6,5	OK	OK	OK	OK	
8º	9,4	9,15	8,95	7,2	8,53	6,5	OK	OK	OK	OK	
9º	9,4	9,2	8,95	7,2	8,53	6,5	OK	OK	OK	OK	
10º	9,4	9,2	9,1	7,2	8,53	6,5	OK	OK	OK	OK	
11º	9,4	9,25	9,1	7,2	8,53	6,5	OK	OK	OK	OK	
12º	9,45	9,25	9,15	7,2	8,53	6,5	OK	OK	OK	OK	
13º	9,45	9,3	9,15	7,2	8,53	6,5	OK	OK	OK	OK	

Fonte: Próprio Autor (2024).

Ao analisar os valores medidos observou-se que todos os cabos estão aptos ao serviço no que se refere a redução de diâmetro de 10%. O cabo de tração “CT3” apresentou um valor de diâmetro de 8,6 mm no 2º andar, ou seja, quando o cabo passa pela polia de tração e a cabina do elevador está posicionada neste andar, este é um indicio de desgaste natural, devido a este ser o andar térreo do prédio. Deve-se, assim como já foi mencionado na avaliação dos arames partidos, reduzir o tempo entre as próximas vistorias, pois o limite para descarte deste cabo é de 8,53 mm. O cabo do limitador de velocidade não apresentou redução de diâmetro significativa.

4.2.3 Verificação de corrosão externa

Durante a inspeção visual realizada no cabo de aço do elevador, não foi identificada nenhuma evidência de corrosão externa. A análise minuciosa da superfície do cabo revelou uma aparência uniforme e sem sinais visíveis de oxidação ou deterioração. A ausência de corrosão externa é um indicativo positivo da integridade estrutural do cabo e sugere condições adequadas de operação e manutenção. No entanto, é importante ressaltar que a inspeção visual é apenas uma das técnicas de avaliação utilizadas, e defeitos internos ou ocultos podem não ser detectados somente por meio dessa abordagem. Portanto, recomenda-se a realização de inspeções adicionais, como a inspeção magnética, para uma avaliação abrangente da condição do cabo de aço e para garantir a segurança e o desempenho adequado do elevador.

4.3 Análise dos dados da inspeção visual e comparativo com a inspeção magnética

A inspeção visual de cabos de aço de elevadores possui algumas limitações significativas que podem comprometer a eficácia da detecção de defeitos. Primeiramente, a inspeção visual depende da habilidade e experiência do inspetor para identificar defeitos superficiais ou imperfeições nos cabos, o que pode resultar em inconsistências na detecção e na interpretação dos problemas. Além disso, certos defeitos, como trincas internas ou desgastes ocultos, podem não ser facilmente visíveis a olho nu, levando a uma falsa sensação de segurança. Ademais, fatores ambientais, como a iluminação e a acessibilidade aos cabos, podem dificultar ainda mais a identificação precisa de defeitos. Portanto, a utilização da inspeção magnética se justifica como uma alternativa mais confiável e abrangente.

Embora a superfície do cabo possa parecer intacta, esses defeitos podem comprometer sua integridade estrutural e representar sérios riscos de falha. Portanto, é crucial complementar a inspeção visual com técnicas adicionais, como a inspeção magnética, para garantir uma avaliação abrangente da condição dos cabos e assegurar a segurança e o desempenho adequado dos elevadores.

A inspeção magnética, também conhecida como vazamento de fluxo magnético (VFM), permite detectar defeitos internos e superficiais nos cabos de aço através da aplicação de um campo magnético e da observação das partículas magnéticas que se acumulam nas regiões defeituosas. Essa técnica oferece uma avaliação mais precisa e sistemática dos cabos, sendo menos dependente da subjetividade do inspetor e capaz de identificar defeitos que não são visíveis a olho nu. Além disso, a inspeção magnética pode ser realizada de forma mais rápida e eficiente, mesmo em condições ambientais desfavoráveis, tornando-se uma opção mais viável para garantir a segurança e a confiabilidade dos elevadores.

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que a inspeção através do método de vazamento de fluxo magnético (VFM) de cabos de aço de elevadores é um processo fundamental na garantia da segurança e eficiência destes sistemas. Ao empregar a teoria deste método, é possível detectar com precisão falhas e desgastes nos cabos, proporcionando uma manutenção preventiva eficaz que minimiza o risco de acidentes e interrupções no serviço e proporciona um diagnóstico mais rápido e preciso.

Os cabos de aço desempenham um papel crítico na operação dos elevadores de passageiros, suportando cargas significativas e garantindo o transporte seguro de pessoas em edifícios de múltiplos andares. Portanto, a integridade desses cabos é de extrema importância, e a inspeção eletromagnética emerge como uma ferramenta valiosa para identificar possíveis pontos de falha deste componente bem como aumentar sua vida útil de forma segura e precisa.

Além disso, é relevante destacar os cuidados com a segurança durante todo o processo de inspeção e manutenção. Os profissionais envolvidos devem seguir rigorosamente os protocolos de segurança estabelecidos, garantindo que todas as operações sejam realizadas de forma segura para evitar acidentes e danos pessoais.

No entanto, é importante reconhecer a dificuldade enfrentada na obtenção dos equipamentos de inspeção eletromagnética (VFM). Em uma breve pesquisa de mercado constatou-se que não existem fornecedores locais destes equipamentos, e o valor médio para se importar sem a inclusão dos impostos é de \$20.000 e \$50.000 USD.

No comparativo da inspeção magnética com relação a inspeção visual, observa-se a dificuldade enfrentada pelo técnico em quantificar o número de arames rompidos externamente do cabo. Outro fator negativo para a inspeção visual é a incerteza na medição do diâmetro do cabo devido a luminosidade limitada, a posição dos cabos que trabalham praticamente encostados. Tem-se que levar em consideração também o fator tempo, pois a inspeção visual se torna extremamente desfavorável neste quesito, visto que quanto maior o cabo maior é o tempo de inspeção, encarecendo o valor deste serviço e privando o técnico de executar outras tarefas.

Portanto, a questão financeira desempenha um papel importante na dificuldade de implementação da inspeção eletromagnética de cabos de aço de elevadores, destacando a necessidade de encontrar soluções acessíveis e sustentáveis para garantir a segurança e a confiabilidade dos sistemas de elevação.

Tinha-se como objetivo inicial demonstrar na prática este método, com o intuito de comprovar a efetividade do mesmo, porém devido a limitação dos recursos não foi possível adquirir o equipamento, este fato foi de certa forma frustrante, porém observa-se uma excelente possibilidade de aplicação deste método não apenas a elevadores de passageiros, mas também em outras áreas que atualmente não possuem um método preciso e confiável para inspeção dos cabos de aço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 4309:2022. Cabos de aço - Cuidados, manutenção, instalação, inspeção e descarte. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ALMEIDA, JÚLIO CESAR DE; LIMA, KEY FONSECA DE; BARBIERI, RENATO. ELEMENTOS DE MÁQUINAS: PROJETO DE SISTEMAS MECÂNICOS. 2. ED. SÃO PAULO: BLUCHER, 2022. E-BOOK. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://PLATAFORMA.BVIRTUAL.COM.BR](https://plataforma.bvirtual.com.br). ACESSO EM: 30 SET. 2023.

AVELAR, Paloma Faria. “ENSAIOS ELETROMAGNÉTICOS PARA INSPEÇÃO DE CABOS DE AÇO – ESTADO DA ARTE” - Ouro Preto, 3 novembro de 2022.

DAI, L.; ZHAO, M.; TANG, B.; YANG, N.; XIAO, Y.; WU, T. Signal acquisition system for broken wire of elevator wire rope based on TMR sensor. Journal of Physics: Conference Series, p. 1-9, 2021.

DENG, Z.; SUN, Y.; YANG, Y.; KANG, Y. Effects of surface roughness on magnetic flux leakage testing of micro-cracks. **Measurement Science and Technology**, v. 28, n. 4, p. 1- 13, 2017.

DE MARCO FILHO, Flávio. Elementos de transmissão flexíveis. Paco e Littera, 2022.

DENG, Z.; SUN, Y.; YANG, Y.; KANG, Y. EFFECTS OF SURFACE ROUGHNESS ON MAGNETIC FLUX LEAKAGE TESTING OF MICRO-CRACKS. **MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY**, v. 28, n. 4, p. 1- 13, 2017.

Elevadores Otis – “Critérios de avaliação e condenação para cabos de aço” (2001).

Gan, Z. e Chai, X. (2011). Simulação numérica no teste de vazamento de fluxo magnético do cabo de aço em diferentes títulos de velocidade. Anais da Conferência Internacional de Eletrônica e Optoeletrônica de 2011 , 3, V3-316-V3-319. <https://doi.org/10.1109/ICEOE.2011.6013369> .

GOMES, Carlos Fernando Lopes. Manual de manutenção preventiva de sistemas de elevação vertical para transporte de pessoas. 2012. Tese de Doutorado.

<https://gestaodesegurancaprivada.com.br/analise-preliminar-de-risco-apr/>

<http://www.moveconsult.com.br/cabos-de-aco-de-tracao-para-elevadores/>, ACESSO EM 31/10/2023.

MANDAL, K.; ATHERTON, D. L. A study of magnetic flux-leakage signals. *Journal of Physics D: Applied Physics*, v. 31, n. 22, p. 3211, 1998.

McGogney, C. (1995). Vazamento de fluxo magnético para inspeção de pontes., 31-44. <https://doi.org/10.1061/9780784401316.003> .

PARK, Seunghee et al. Técnica NDE de cabo de aço com detecção de vazamento de fluxo magnético. *Choque e Vibração* , v. 2014, 2014.

SCHINDLER, ATLAS. MANUAL DE TRANSPORTE VERTICAL EM EDIFÍCIOS; ELEVADORES DE PASSAGEIROS, ESCADAS ROLANTES, OBRA CIVIL E CÁLCULO DE TRÁFEGO. SÃO PAULO. FONTE: [HTTPS://WWW. SCHINDLER. COM/CONTENT/DAM/WEB/BR/PDF/NI/MANUAL-TRANSPORTE-VERTICAL. PDF](https://www.schindler.com/content/dam/web/br/pdf/ni/manual-transporte-vertical.pdf), 1999.

SELEME, Robson. Manutenção industrial: mantendo a fábrica em funcionamento. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2015. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 08 mar. 2024.

Sophian, A., Tian, G. e Zairi, S. (2006). Técnicas de vazamento de fluxo magnético pulsado para detecção e caracterização de fissuras. *Sensores e Atuadores A-físicos* , 125, 186-191. <https://doi.org/10.1016/J.SNA.2005.07.013> .

Apêndice B: Modelo de ficha para inspeção eletromagnética.

Detalhes da inspeção			
Referência do equipamento:		Data:	
Localização do equipamento:		Inspetor:	
Aplicação:		Comprimento inspecionado:	
Detalhes do instrumento			
Instrumento utilizado:			
Gravador de dados:		Cabeçote magnético:	
Sensores:		Velocidade:	
Detalhes do cabo			
Especificação do cabo:			
Diâmetro nominal:		Fabricante:	
Construção:		Instalação:	
Última inspeção:		Certificado original:	
Início – Extremidade do cabo		Término – Extremidade do cabo	
Observações: Traço LMA Traço LF Nome da pessoa qualificada Assinatura			

Fonte: ABNT NBR ISO 4309:2022. “Cabos de aço - Cuidados, manutenção, instalação, inspeção e descarte” (2022).