

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA
FONSECA**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

AMANDA BARROCO DE JESUS

MATEUS CEDRO SIQUEIRA

**ACIDENTES COM ELEVADORES: CONFORMIDADE
NORMATIVA E CONFIABILIDADE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

RIO DE JANEIRO

2025

AMANDA BARROCO DE JESUS

MATEUS CEDRO SIQUEIRA

**ACIDENTES COM ELEVADORES: CONFORMIDADE
NORMATIVA E CONFIABILIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica, do
Departamento de Engenharia
Mecânica do Centro Federal de
Educação Tecnológica Celso Suckow
da Fonseca.

Orientador: Prof. MSc Jonatas Motta
Quirino

RIO DE JANEIRO

2025

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

J58 Jesus , Amanda Barroco de
Acidentes com elevadores: conformidade normativa e
confiabilidade / Amanda Barroco de Jesus [e] Mateus Cedro
Siqueira – 2025.
108f.: il. color. + apêndice , enc.

Projeto Final (Graduação). Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2025.
Bibliografia: f. 101-108.
Orientador: Jonatas Motta Quirino.

1. Engenharia mecânica. 2. Elevadores – Acidentes.
3. Elevadores – Confiabilidade. 4. Elevadores - Medidas de
segurança. I. Siqueira, Mateus Cedro. II. Quirino, Jonatas
Motta (Orient.). III. Título.

CDD 620.1

Dedicamos este trabalho as nossas
avós Maria Helena Gomes de Jesus
(in memoriam) e Sandra Regina
Barroco Seda (in memoriam) e
nossos pais: Antonia Lameu Cedro,
Moises Siqueira de Oliveira e Helder
Gomes de Jesus por terem sido tão
importantes em nossa vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por todo o apoio que tive, para passar por qualquer problema e seguir em busca do que eu quero. Ao meu pai Helder, por ter me feito a pessoa que sou hoje, que sempre me incentivava a estudar e me focar no que era importante, meus estudos, sem ele não poderia ter chegado tão longe. A minha irmã Andreza, por ser minha maior inspiração, não só como pessoa mas como Engenheira, sem ela não teria a confiança de que tudo é possível com o apoio certo. Ao meu cunhado Luis Filipe, por estar presente durante toda essa jornada, me dando apoio e auxílio quando mais precisei. Ao meu orientador, Jonatas Motta Quirino, por confiar na visão que tínhamos sobre o estudo e nos apoiar através de todo o trabalho que foi feito. À banca e ao corpo docente do CEFET/RJ, por ter feito dos meus anos nesta instituição os melhores possíveis, por todo o conhecimento transmitido a mim e meus colegas e pelo profissionalismo diante de todas as situações enfrentadas. E, por fim, a minha dupla, Mateus, por ter me ajudado e permanecido comigo desde o começo do curso até o final deste trabalho. Muito obrigada!

Amanda Barroco de Jesus

Agradeço primeiramente à minha família, que sempre esteve ao meu lado em cada etapa dessa caminhada. Ao meu pai, Moises, por todo o esforço e dedicação que sempre teve para me dar as oportunidades que ele nunca teve, e por me ensinar que desistir não é uma opção. À minha mãe, Antonia, pelo carinho incondicional, pelas palavras de apoio e por sempre acreditar em mim, mesmo quando eu duvidava. Ao meu irmão, Tiago, por ser o meu melhor amigo, e mesmo sem perceber, me inspirar a ser alguém melhor. Agradeço também à minha namorada, Nicole, por todo o apoio, paciência e amor durante essa jornada, mesmo nos momentos em que estive ausente ou estressado com o TCC — sua presença fez tudo valer a pena. Sou grato ao meu orientador, professor Quirino, por acreditar no nosso trabalho e por nos guiar com tanta dedicação. E por fim, agradeço à Amanda, por toda a parceria, dedicação e amizade ao longo do curso (e bota longo nisso!). Obrigado por enfrentar mais essa etapa comigo do início ao fim. Levo todos vocês em um lugar especial no meu coração!

Mateus Cedro Siqueira

RESUMO

DE JESUS, Amanda Barroco; SIQUEIRA, Mateus Cedro. **Acidentes Com Elevadores: Conformidade Normativa E Confiabilidade**. 2025. 115. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2025.

Analisar um elevador e acidentes relacionados a este meio de transporte que é um dos mais utilizados no mundo se torna de suma importância. Tendo como base o estudo e análise das normas aplicáveis quando referente à manutenção de elevadores, assim como o conhecimento dos elementos técnicos presentes nessa função, este estudo buscou verificar a forma como as normas vigentes e as normas substituídas por estas podem ter afetado na forma como a manutenção foi executada, analisando se o descumprimento ou não das indicações aconteceu. Esta comparação se deu entre as normas ISO 45001(ABNT, 2018) e OHSAS 18001(BSI, 2007), procurando compreender como a alteração das normas pode ter sido recebida pela comunidade profissional e se a evolução das normas teve impacto notável quando relacionada a acidentes envolvendo elevadores. A confiabilidade deste meio de transporte ainda levando uma nova questão: a forma como estas falhas são percebidas e como lidam com elas. Através do uso de uma base de dados de sensores de elevador, este estudo busca ainda abranger o entendimento do funcionamento do elevador e suas percepções de falha, usando um código do MatLab para verificar e analisar os dados. O estudo buscou comprovar a confiabilidade do uso de elevadores no dia a dia.

Palavras-chave: Acidentes com Elevador. Análise Numérica. FMEA. Manutenção. Confiabilidade.

ABSTRACT

DE JESUS, Amanda Barroco; SIQUEIRA, Mateus Cedro. **Elevator Accidents: Regulatory Compliance and Reliability**. 2025. 115. Final Paper – Federal Center of Technological Education – Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2025.

To analyze elevators and accidents related to this means of transportation, which is one of the most used in the world, becomes of utmost importance. Based on the study and analysis of applicable regulations regarding elevator maintenance, as well as the knowledge of the technical elements involved in this function, this study sought to verify how the current regulations and those replaced by them may have affected the way maintenance was executed, analyzing whether there was compliance with the guidelines or not. This comparison was made between the ISO 45001(ABNT, 2018) and OHSAS 18001(BSI, 2007) standards, seeking to understand how the change in standards may have been received by the professional community and whether the evolution of the standards had a notable impact when related to accidents involving elevators. The reliability of this mode of transportation raises a new issue: the way these failures are perceived and how they are dealt with. Using a database of elevator sensors, this study also aims to encompass the understanding of the elevator's operation and its failure perceptions, using a MatLab code to verify and analyze the data. The study aimed to prove the reliability of using elevators in daily life.

Keywords: Elevator Accidents. Numerical Analysis. FMEA. Maintenance. Reliability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Acidentes com Elevadores no Brasil em 2024	14
Figura 2: Diagrama do Plano de Planejamento, Atuação, Checagem e Correção modificado da OHSAS 18.001.....	22
Figura 3: Diagrama do Plano de Planejamento, Atuação, Checagem e Correção modificado da ISO 45.001.....	24
Figura 4: Diagrama do Elevador GEN2 MOD.....	31
Figura 5: Elevador Elétrico.....	32
Figura 6: Princípio operacional MRL (elevador sem casa de máquinas)	36
Figura 7: Conjunto de tração, cabo de aço, polia de tração e polia deslocadora.....	37
Figura 8: Partes da construção de um cabo de aço.....	37
Figura 9: Sistema de Freio.....	40
Figura 10: Para-choques do modelo Schindler 7000.....	42
Figura 11: Guia do elevador e coxim.....	42
Figura 12: Princípio operacional MRL (elevador sem casa de máquinas)	43
Figura 13: Schindler 3600.....	44
Figura 14: Parte inicial do laudo técnico fornecido pela Villarta Elevadores.....	49
Figura 15: Parte do laudo técnico fornecido pela Villarta Elevadores.....	50
Figura 16: Laudo do acidente II.....	51
Figura 17: Sistema de Freios Centrífugos.....	52
Figura 18: Laudo do acidente VI.....	55
Figura 19: Gráfico de Análise Direta da Umidade.....	70
Figura 20: Gráfico de Análise Direta da Pressão.....	70
Figura 21: Gráfico de Análise Direta de RPM.....	71
Figura 22: Gráfico de Análise Direta da Temperatura.....	72
Figura 23: Gráfico de Análise Direta da Vibração.....	73
Figura 24: Gráfico de Análise Direta do Sensor 1.....	74
Figura 25: Gráfico de Análise Direta do Sensor 2.....	74
Figura 26: Gráfico de Análise Direta do Sensor 3.....	75
Figura 27: Gráfico de Análise Direta do Sensor 4.....	76
Figura 28: Gráfico de Análise Direta do Sensor 5.....	77

Figura 29: Gráfico de Análise Direta do Sensor 6.....	77
Figura 30: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Umidade.....	78
Figura 31: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Pressão.....	79
Figura 32: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: RPM.....	80
Figura 33: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Temperatura.....	80
Figura 34: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Vibração.....	81
Figura 35: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Sensor 1.....	81
Figura 36: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Sensor 2.....	82
Figura 37: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Sensor 3.....	83
Figura 38: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Sensor 4.....	83
Figura 39: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Sensor 5.....	84
Figura 40: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Sensor 6.....	84
Figura 41: Matriz de Correlação entre Variáveis.....	85

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Combinações mais comuns e econômicas de velocidade e capacidade para elevadores de passageiros.....	28
Quadro 1 - Critério de análise para severidade de falhas e ranqueamento dos efeitos.....	89
Quadro 2 - Critério de análise para ocorrência de falhas e ranqueamento dos efeitos.....	89
Quadro 3 - Critério de análise para detecção de falhas e ranqueamento dos efeitos.....	90
Quadro 4 - Critério de análise para detecção de falhas e ranqueamento dos efeitos.....	91
Quadro 5 - Utilização do RPN para o FMEA de análise para detecção de falhas em um elevador.....	92

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABEE	Associação Brasileira de Elevadores
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APR	Análise Preliminar de Riscos
Crea-RJ Janeiro	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro
EN	<i>European Norm</i>
ETA	<i>Event Tree Analysis</i>
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
HLS	Estrutura de alto nível
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NM	Norma MERCOSUL
OHSAS	<i>Occupational Health and Safety Assessment Services</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check. Act</i>
RPM	Rotação por minuto
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
SSO	Sistema de saúde e segurança ocupacional
SST	Saúde e Segurança no Trabalho

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Contextualização e relevância do tema	13
1.2. Impacto dos acidentes com elevadores	15
1.3. Objetivos e estrutura do trabalho	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1. Normas ISO 45.001 e OHSAS 18.001	20
2.2. Segurança em elevadores e manutenção preventiva	26
2.3. Tipos de elevadores e características	28
2.4. Componentes de um elevador	30
3. METODOLOGIA	46
3.1. Construção do Estudo.....	46
3.2. Procedimentos de comparação entre normas	47
4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	48
4.1 Coleta e análise dos casos de acidente.....	48
4.2 Critérios para análise de impacto da manutenção	56
4.3 Código e análise de gráficos.....	56
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
5.1 Comparação entre normas e seus impactos na segurança	57
5.2 Análise dos casos e identificação de padrões	60
5.3 Análise de falhas e ferramentas de manutenção	68
5.4 Avaliação do impacto da manutenção preventiva	92
6 PROPOSTAS E RECOMENDAÇÕES	95
6.1 Boas práticas para manutenção e inspeção	95
6.2 Sugestões de ajustes normativos	96
6.3 Direcionamento para estudos futuros	97
7 CONCLUSÃO	98
REFERÊNCIAS.....	101
APÊNDICE	109
APÊNDICE A – CÓDIGO DO MATLAB.....	109

1. INTRODUÇÃO

Este estudo tem como objetivo compreender e analisar a aplicação das normas de manutenção, segurança e confiabilidade de elevadores, tanto em situações de uso regular quanto em casos de falha. A investigação teve como aspectos principais de estudo a implementação das normas de segurança vigentes à época e como foi sua eficácia em situações de incidentes ou falhas, a fim de identificar a confiabilidade deste meio de transporte.

Além disso, foram estudadas as seguintes normas de segurança; a OHSAS 18.001 (BSI, 2007) e a ISO 45.001 (ABNT, 2018), que podem ser aplicadas no uso e na manutenção de elevadores, sendo usadas ainda na certificação de empresas.

A análise verificou como estas duas normas podem auxiliar na prevenção de acidentes com elevadores, como atestam a prática segura deste meio de transporte e ajudam a reduzir os riscos associados a ele. Por meio desta análise, foi explicada a importância das normas para a segurança, além de oferecer recomendações a fim de aprimorar as medidas e estratégias de segurança e manutenção, utilizadas por empresas e profissionais desta área.

A utilização de um banco de dados de análise de elevadores, além da análise inicial de acidentes reais, foi de suma importância para a melhor compreensão de como é a detecção real de falhas e problemas, verificando a ocorrência e detecção de falhas, críticas ou não, para compreender como e quando as falhas ocorrem.

1.1. Contextualização e relevância do tema

A segurança durante uso de elevadores é de extrema importância para o cotidiano de diversas pessoas, sejam elas portadores de necessidades específicas de acessibilidade ou não. Garantir a operação segura de um

elevador ajuda a manter seu funcionamento, prevenindo acidentes e problemas inesperados.

Segundo a Revista Elevador Brasil (2025), o número de acidentes envolvendo elevadores apenas cresce nos últimos anos.

A Figura 1 retirada do site Revista Elevador Brasil e publicada em 18 de fevereiro de 2025 destaca a quantidade de acidentes relatados no Brasil em 2024 relacionado a elevadores.



Figura 1: Acidentes com Elevadores no Brasil em 2024

Fonte: Revista Elevador Brasil

Em São Paulo, dados recolhidos entre 2021 e 2022 foram comparados, encontrando um aumento de 68% na quantidade de acidentes envolvendo elevadores registrados segundo a Associação Brasileira das Empresas de Elevadores e Bombeiros. Já considerando o país inteiro, entre janeiro e o começo de agosto de 2023 foram noticiados cerca de 20 acidentes, tendo envolvido 46 pessoas e resultando em 7 mortes.

Em 2024, neste mesmo período houve um aumento de 55% na quantidade de casos noticiados, um aumento de 50% na quantidade de pessoas envolvidas e um aumento de mais do que o triplo de mortes durante esses acidentes, totalizando, assim, 31 acidentes notificados, envolvendo 69 pessoas e resultando em 22 mortes.

Ainda sobre a Revista Elevador Brasil (2025), alguns motivos são citados para esse aumento significativo, sendo dois deles: falta de fiscalização e engenheiros sem conhecimento. Ambos os motivos citados podem ter impacto direto na manutenção desses elevadores.

Sendo assim, a manutenção constante e regular, adicionalmente à supervisão adequada, é fundamental para o funcionamento e utilização do elevador. A implementação e o cumprimento das normas passam a ser indispensáveis para garantir o funcionamento confiável dos sistemas, reduzindo os riscos de incidentes e falhas mecânicas relacionados à problemas de manutenção, auxiliando a diminuir fatalidades e o comprometimento da integridade dos usuários.

Portanto, garantir que um elevador está funcionando como foi projetado para funcionar, em condições adequadas e com constante verificação ultrapassa a relação de conveniência, se tornando uma responsabilidade das organizações e profissionais envolvidos na manutenção e operação perante os usuários.

1.2. Impacto dos acidentes com elevadores

Acidentes de elevadores são acontecimentos específicos e costumam ocorrer com baixa frequência. Entretanto, no ano de 2024, o Brasil passou a registrar um número alto de casos de acidentes envolvendo elevadores que resultaram em ferimentos ou vítimas fatais. Estes casos pontuais não representam de forma alguma a incapacidade das empresas de fabricarem elevadores seguros ou de serem mantidos em estado pleno de funcionamento, mas trazem à tona um problema não muito discutido: as normas e seu cumprimento.

A forma como a ocorrência tipo de acidente tem aumentado apesar da constante modernização de tecnologias e práticas de segurança e manutenção salienta que a aplicação e verificação das normas pode estar ocorrendo de forma falha.

Segundo a empresa Elevadores Hertz (2024), cerca de 70% dos acidentes envolvendo elevadores podem estar direta ou indiretamente ligados à falta de manutenção adequada. Muitos são os problemas que podem acontecer frente à falha de manutenção.

Os componentes presentes no sistema de frenagem de elevadores, principalmente em modelos mais antigos, têm tendência a apresentar desgaste natural e deterioração em partes importantes características de uso contínuo ao longo dos anos. Este processo de deterioração, apesar de comum, pode aumentar consideravelmente a chance de ocorrência de falhas mecânicas, podendo se apresentar como: Problemas nas cabinas, portas, cabos e até mesmo no sistema de contrapeso. Comprometendo a estabilidade do elevador e, conseqüentemente, seu uso seguro. Um sistema de frenagem inadequado ou com problemas representa um grande comprometimento para o elevador, resultando em acidentes graves pois o elevador está mais propenso a quedas descontroladas e frenagem inadequada durante as paradas esperadas, tornando seu uso desaconselhado.

O sistema elétrico, por tratar de uma parte importante e mais delicada do elevador, deve receber atenção extra e manutenção constante. Problemas elétricos, como pequenos curtos-circuitos, algum tipo de dano na fiação ou mau funcionamento, podem ser ignorados ou passar despercebidos para olhares pouco treinados, mas são capazes de causar falhas operacionais preocupantes nos elevadores. Por ser responsável pelos controles elétricos, falhas relacionadas ao sistema elétrico podem resultar em problemas de movimento do elevador, causando movimentos imprevisíveis como aceleração e desacelerações muito rápidas ou bruscas e paradas que não deveriam acontecer.

A manutenção, então, se torna a principal ferramenta para garantir o funcionamento e a segurança do elevador e de seus usuários. A verificação constante proposta no entendimento da manutenção preditiva e preventiva auxiliam na identificação de desgaste incomuns, ou até mesmo os esperados, em itens antes que algo possa acontecer. A detecção deste tipo de desgaste é essencial para que a correção seja feita de forma adequada e prevenindo

acidentes e falhas, garantindo a segurança dos passageiros e dos próprios funcionários de manutenção responsáveis.

Organizações como o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) e a Associação Brasileira de Elevadores (Abel) destacam a importância da manutenção preventiva e das inspeções regulares para evitar incidentes.

O aumento dos casos de acidentes e fatalidades envolvendo elevadores em 2024, não pode ser considerado como uma questão pontual, e sim deve ser considerado como um sinal de atenção quanto a questões de regulamentação e implementação de normas de segurança, ajudando a aplicá-las e reforçá-las quando necessário.

1.3. Objetivos e estrutura do trabalho

A busca de informação e dados do uso de elevadores, bem como os problemas relacionados são objetivos deste trabalho. Ou seja, verificar separadamente a confiabilidade dos elevadores pelo estudo de acidentes e utilizando banco de dados para avaliar estes tipos de falhas.

Ademais, através de uma análise comparativa feita a partir das normas ISO 45.001 (ABNT, 2018) e da OHSAS 18.001 (BSI, 2007) e de estudos de casos em que tenha ocorrido algum tipo de falha, este estudo busca entender como as normas e as leis de segurança foram tratadas e ajudar a aumentar o entendimento e a segurança quanto à manutenção de elevadores.

O início do estudo se deu com a obtenção e estudo das normas OHSAS 18.001 (BSI, 2007) e da ISO 45.001 (ABNT, 2018), procurando entender suas formas de atuação e diferenças, além de entender como cada uma trata o tópico de manutenção, apontando seus pontos fortes e o que poderia ser melhorado.

Tendo em vista essa breve análise, foi conduzido um estudo mais aprofundado, com o objetivo de identificar padrões e práticas corretas no uso da

norma aplicável, a fim de verificar de que maneira a manutenção adequada poderia ter sido aplicada em cada caso específico.

Em seguida, o estudo focou, em encontrar acidentes de elevadores e entender a forma como se deram, buscando verificar, posteriormente, se estas situações poderiam ter sido causadas por falhas na manutenção, como a execução inadequada dos procedimentos. Foram escolhidos acidentes com elevadores onde, mesmo sem a obtenção de laudos oficiais, foram acessadas informações específicas e detalhadas sobre os motivos que levaram a cada uma das falhas.

Com a verificação de reportagens e partes de relatórios dos acidentes e a identificação de motivos relacionados à manutenção foi necessário, então, aprofundar o estudo nas formas como a manutenção poderia ter evitado o acidente ou, ao menos, ter reduzido o impacto. Com esta parte do estudo pronta foi iniciada uma comparação entre os resultados obtidos, buscando um padrão entre os acidentes.

Com a realização de um levantamento relacionado às condições de manutenção destes elevadores foram verificadas as práticas de manutenção adotadas. Com esta análise foi possível estabelecer uma correlação entre as possíveis falhas de execução da manutenção e o impacto dos acidentes, permitindo que fosse observado como a inadequação da manutenção afetou esses elevadores e como poderia ter sido feita para se tornar eficaz.

Neste sentido, este estudo busca entender como a transição entre as normas OHSAS 18.001 (BSI, 2007) e a ISO 45.001 (ABNT, 2018) se deu e se as mudanças foram, de fato, eficientes quanto à execução e planejamento de ações afirmativas de saúde e segurança no trabalho, buscando ainda verificar suas aplicações no cotidiano e se estão se alinhando às necessidades das organizações que buscam melhorar constantemente a segurança e a forma como se dá a prevenção de acidente dentro de suas empresas e entre os profissionais deste ramo.

Por fim, a análise se deu com o uso de um banco de dados obtidos envolvendo a análise de um elevador em operação durante período de um mês contemplando uma gama de sensores, aliado a um código do MatLab.

A análise contou com 23 gráficos relatando diversas verificações como corrente utilizada e vibração para a constatação de funcionamento e detecção de falhas pequenas antes que ocorresse o evento catastrófico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso de normas para consulta de ações de manutenção e segurança foram de extrema importância para o entendimento geral. As normas OHSAS 18.001(BSI, 2007) e ISSO 45.001 proveram uma fonte relevante de estudo de ações.

2.1. Normas ISO 45.001 e OHSAS 18.001

A norma OHSAS 18001(BSI, 2007), cuja última atualização foi feita em 2007, foi oficialmente substituída pela ISO 45001(ABNT, 2018) em março de 2021, sendo descontinuada permanentemente nesse mesmo ano. Essa mudança trouxe uma abordagem mais moderna e integrada para os sistemas de gestão de saúde e segurança ocupacional (SSO), buscando maior alinhamento com outras normas internacionais de gestão.

Criada como uma norma internacional para orientar empresas na implementação de sistemas de gestão de SSO, a OHSAS 18001(BSI, 2007), desde sua primeira publicação em 1999, ajudou organizações a identificar, controlar e minimizar riscos no ambiente de trabalho, fornecendo um modelo para proteger a saúde e a segurança de colaboradores e parceiros. A norma era aplicável a empresas de todos os setores e tamanhos até sua descontinuação.

O objetivo central da OHSAS 18001(BSI, 2007) era promover um ambiente de trabalho seguro e saudável, reduzindo o risco de acidentes e doenças ocupacionais. Para isso, orientava as empresas a adotarem o ciclo PDCA (Planejar-Fazer-Verificar-Agir), um processo contínuo de melhorias que assegurava que o sistema de SSO estivesse sempre evoluindo.

O planejamento era uma etapa essencial, onde a empresa analisava e avaliava detalhadamente os riscos que poderiam prejudicar a saúde e a segurança dos trabalhadores e o funcionamento das operações. No caso da manutenção de elevadores, esse planejamento incluía a análise de riscos específicos, como quedas, falhas de sistema e manuseio incorreto de equipamentos. Para mitigar esses perigos, era fundamental desenvolver

estratégias como treinamentos específicos sobre o uso de componentes e tecnologias de elevadores. Esse planejamento também envolvia a alocação de recursos necessários, como trabalhadores qualificados e equipamentos de proteção, garantindo que as atividades fossem realizadas com segurança.

A fase de implementação envolvia colocar em prática os processos que atendiam aos requisitos de segurança estabelecidos. Para a manutenção de elevadores, isso significava controlar rigorosamente os riscos, com procedimentos como bloqueio de energia elétrica e sinalização de áreas restritas. A gestão de mudanças também era importante, pois garantia que as modificações nos processos de manutenção não aumentassem os riscos para os trabalhadores.

Monitorar e verificar eram passos cruciais para avaliar a eficácia do sistema de gestão de SSO. A norma enfatizava a necessidade de auditorias internas e revisões da gestão para analisar o desempenho do sistema. No caso de manutenção de elevadores, essas revisões permitiam identificar e corrigir falhas nas práticas de segurança, ajustando o sistema para evitar incidentes.

As ações corretivas e preventivas eram vitais para manter o sistema de SSO em melhoria contínua. Na manutenção de elevadores, isso podia incluir atualizar procedimentos, revisar práticas e aprimorar equipamentos de segurança. A norma incentivava as empresas a fazerem essas melhorias de forma sistemática, promovendo um ambiente de trabalho mais seguro.

Embora a OHSAS 18001(BSI, 2007) não tratasse diretamente da manutenção de elevadores, seus princípios eram amplamente aplicáveis. A análise dos riscos específicos dessa área ajudava a lidar com perigos elétricos e mecânicos.

Além disso, a norma exigia que os trabalhadores fossem devidamente treinados e qualificados. Na manutenção de elevadores, isso significava garantir que soubessem manusear equipamentos de forma segura e identificar riscos. A norma também requeria o desenvolvimento de procedimentos para garantir a segurança; isso incluía planejar manutenções preventivas e corretivas para evitar falhas que pudessem comprometer a segurança. Inspeções e auditorias regulares ajudavam a assegurar que os procedimentos de segurança

estivessem sendo seguidos, e a revisão periódica das práticas permitia incorporar novas oportunidades de segurança e reduzir riscos continuamente.

Essas diretrizes refletem como a transição da OHSAS 18001(BSI, 2007) para a ISO 45001(ABNT, 2018) impactou a gestão de saúde e segurança no trabalho, mantendo o foco em um ambiente progressivamente mais seguro.

A norma OHSAS 18001(BSI, 2007) estabelece diretrizes para um sistema de gestão de saúde e segurança no trabalho (SST) baseado em melhoria contínua.

A Figura 2 trata da atuação geral da OHSAS 18.001(BSI, 2007). Entender a forma como a norma OHSAS18.001(BSI, 2007) lida com as falhas e correções ajudou a compreender o cenário da segurança na época em que ela foi lançada e como o ambiente de trabalho se dava.

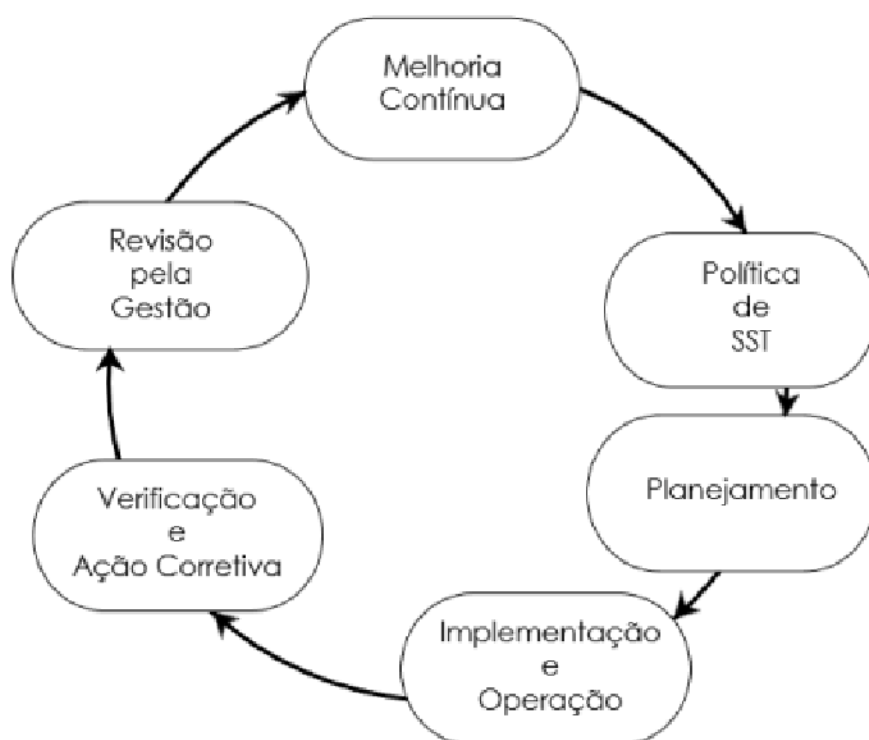


Figura 2: Diagrama do Plano de Planejamento, Atuação, Checagem e Correção modificado da OHSAS 18.001

Fonte: Modificado de OHSAS 18001(BSI,2007)

O processo começa com a definição de uma Política de SST, que representa o compromisso da organização com a segurança dos colaboradores. Essa política define os princípios de segurança, como a prevenção de acidentes

e a promoção de um ambiente seguro, e deve ser amplamente comunicada para orientar as ações de SST.

Em seguida, ocorre o Planejamento, etapa em que a organização identifica os perigos e avalia os riscos de SST, estabelecendo objetivos e metas para mitigar esses riscos. Essa fase envolve o desenvolvimento de planos de ação e a alocação dos recursos necessários para garantir a segurança dos colaboradores. Após o planejamento, é feita a Implementação e Operação, onde a organização pode colocar em prática os planos, realizar treinamentos, distribuir equipamentos de proteção e assegurar que todos os procedimentos de segurança sejam seguidos.

O desempenho do sistema de SST é então monitorado na fase de Verificação e Ação Corretiva, que envolve auditorias e inspeções para garantir a conformidade com os procedimentos. Quando não conformidades são detectadas, ações corretivas são implementadas para resolver os problemas e prevenir recorrências. Periodicamente, a alta administração realiza a Revisão pela Gestão para avaliar a eficácia do sistema, levando em consideração os resultados de auditorias e outros indicadores de SST, e decide sobre possíveis melhorias necessárias.

Por fim, o ciclo promove a Melhoria Contínua ao buscar constantemente o aprimoramento das práticas de SST. Essa etapa finaliza o ciclo, incentivando a organização a atualizar procedimentos e adotar novas estratégias para manter o ambiente de trabalho seguro. Com esse sistema, a organização mantém um compromisso contínuo com a saúde e segurança dos colaboradores, criando uma cultura de prevenção de riscos e acidentes.

A norma ISO 45.001(ABNT, 2018) é uma norma internacional que estabelece regras e requisitos para um sistema de saúde e segurança ocupacional (SSO). Ela foi publicada oficialmente em 12 de março de 2018. A ISO 45.001(ABNT, 2018) segue a estrutura de alto nível (HLS).

A ISO 45.001(ABNT, 2018) tem como objetivo principal proporcionar um ambiente de trabalho saudável e segurando, buscando formas de evitar acidentes e doenças através de reforços de seguranças, ao mesmo tempo em

que procura reduzir a gravidade de doenças já existentes conforme progridem, proporcionando uma melhor qualidade de vida para os funcionários. A norma, apesar do que é comum, pode ser aplicado em todo e qualquer tipo de organização, pois suas especificações são amplas.

A Figura 3 trata da atuação geral da ISO 45.001(ABNT, 2018). Compreender a forma de atuação da norma ISO 45.001(ABNT, 2018) ajudou a verificar a evolução do cenário da saúde e segurança ocupacional no ambiente de trabalho, mostrando como a segurança passou a ser considerada primeiro e como deve ser levada em cenários de manutenção.

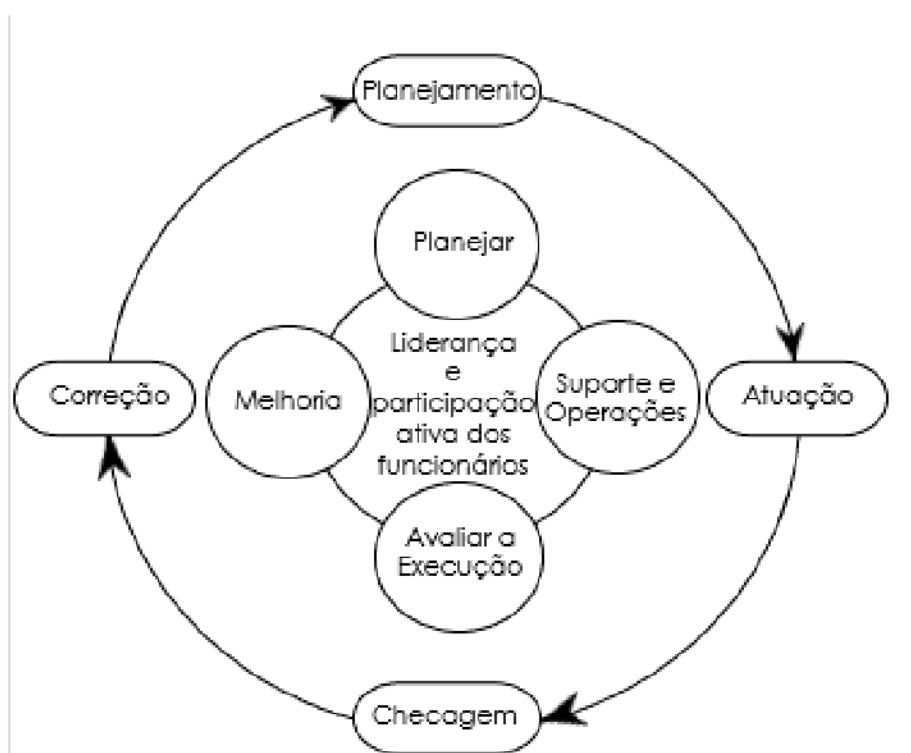


Figura 3: Diagrama do Plano de Planejamento, Atuação, Checagem e Correção modificado da ISO 45.001

Fonte: Modificado de ISO 45001 (ABNT,2018)

O planejamento é uma etapa fundamental no sistema de gestão de saúde e segurança ocupacional (SSO). Sua principal função é a identificação de risco e de oportunidades que possam impactar, de alguma forma, o ambiente de trabalho, buscando riscos ativos e possíveis. Desta forma, o planejamento busca definir objetivos de saúde e segurança ocupacional, especificando como estes riscos podem afetar o ambiente, buscando ainda a elaboração de um “plano de ataque” para que estes objetivos sejam alcançados. Neste ponto, os recursos da

organização devem ser utilizados de forma constante e consciente de acordo com os objetivos estabelecidos e os riscos encontrados para que haja uma melhor organização, partindo desde a adequação ou substituição de equipamentos até a realocação de trabalhadores para evitar determinadas áreas e funções.

Além disso, o planejamento é feito através da participação ativa de todos os trabalhadores, funcionários e participantes, buscando utilizar o engajamento e as opiniões e constatações das pessoas que estão constantemente envolvidas nos riscos para dar início à elaboração dos objetivos. Este ponto da norma ressalta a importância da participação ativa de todos os colaboradores, registrando as informações importantes e seus relatos, além de deixá-los cientes de suas responsabilidades e conhecimentos sobre a SSO.

A fase da atuação busca colocar em práticas as medidas necessárias para alcançar os objetivos de segurança e saúde ocupacionais propostos no planejamento. Neste ponto há a necessidade de controlar os riscos encontrados ou, em alguns casos, propor mudanças completas para tornar o ambiente mais seguro e de acordo com as normas de segurança. As mudanças propostas devem sempre ser examinadas minuciosamente, garantindo que não afetem de forma alguma a segurança e saúde de outros funcionários.

A checagem busca monitorar e verificar de forma contínua a forma como as mudanças afetaram o ambiente de trabalho, em primeiro momento, e como continuam a afetar, verificando se foram as escolhas certas para cada caso. Esta fase propõe, mas não somente se limita, a verificações constantes de auditores da própria organização. Os funcionários de cargos superiores também devem estar presentes e ativos durante esta fase, verificando a adequação das políticas e práticas propostas de segurança e saúde no trabalho, garantindo que tudo esteja alinhado com os objetivos de segurança da organização.

Por fim, a fase de correção se propõe a corrigir o que foi encontrado de não conformidade durante a fase de checagem, sugerindo novas adaptações nestes casos específicos, e garantindo que as melhorias continuem sendo propostas e executadas, tendo certeza de que a organização continue tentando e melhorando a segurança de seus funcionários. Toda e qualquer ação, preventiva

ou corretiva, proposta neste ponto busca alcançar os objetivos delimitados na fase de planejamento.

2.2. Segurança em elevadores e manutenção preventiva

A OHSAS 18.001(BSI, 2007) assim como a ISO 45.001(ABNT, 2018) não menciona diretamente a manutenção de elevadores, entretanto, é possível citar algumas seções que são aplicáveis a esta área.

A respeito da OHSAS 18.001(BSI, 2007), pode-se mencionar as seguintes seções relacionadas à elevadores:

A Seção 4.2 - “Política de SST” prevê compromisso com a segurança dos colaboradores e usuários dos elevadores, promovendo um ambiente seguro tanto para trabalhadores envolvidos quanto para usuários. Essa política inclui diretrizes específicas para a manutenção e operação segura de elevadores.

A Seção 4.3.1 - “Identificação de Perigos, Avaliação de Riscos e Determinação de Medidas Controles” exige que a organização identifique os perigos específicos associados à operação, instalação e manutenção de elevadores. Deve-se avaliar riscos como quedas, esmagamentos e choque elétrico, estabelecendo controles adequados para cada um deles.

A Seção 4.3.2 - “Requisitos Legais e Outros Requisitos” orienta as empresas envolvidas a atenderem às regulamentações locais sobre segurança em elevadores, como por exemplo as normas técnicas da ABNT (NBR NM 207 e NBR NM 267) e legislações de segurança locais que regulamentam a operação e manutenção de elevadores.

A Seção 4.3.3 - “Objetivos e Programas de SST” define objetivos específicos de segurança para o setor de elevadores, como a redução de incidentes durante a manutenção, a minimização de falhas em sistemas críticos e a implementação de programas de treinamento para técnicos e funcionários.

A Seção 4.4.6 - “Controle Operacional” exige que sejam estabelecidos procedimentos para operações seguras e específicas, como o trabalho em

altura, a realização de manutenção em elevadores e o isolamento de energia durante reparos. O controle operacional inclui, não limitado ao, uso de EPI adequado e a verificação regular dos equipamentos.

A Seção 4.4.7 - “Preparação e Resposta a Emergências”. É fundamental preparar-se para emergências que deixem usuários presos na cabine, acidentes de técnicos durante a manutenção, ou incêndios em locais onde há elevadores.

A respeito da ISO 45.001(ABNT, 2018), pode-se citar as seguintes seções relacionadas à elevadores:

A Seção 6.1.2 - “Ações Para Abordar Riscos e Oportunidades” auxilia a organização a identificarem riscos e possíveis formas de precauções a serem tomadas de acordo com o uso e manutenção de elevadores, além de ajudar na avaliação dos riscos para os funcionários que estão ou não diretamente envolvidos no processo de manutenção, garantindo a maior segurança de todos.

A Seção 6.1.4 - “Identificação de Perigos e Avaliação de Risco” ou “Plano de Ação” ajuda na tomada de decisões. Cada decisão considerada busca reduzir ou eliminar, nos casos possíveis, os riscos aos funcionários encontrados, procurando garantir práticas seguras e que seguem os regulamentos e normas adequadas quanto à manutenção de elevadores como um todo.

A Seção 7.2 - “Competência” compreende as habilidades e competências dos funcionários. Em referência a manutenção de elevadores, foco deste estudo, esta seção garante que todos os funcionários envolvidos neste processo tenham recebido o devido treinamento para exercerem esta função, desde o funcionamento de suas funções perante a organização até as formas de segurança e utilização de normas e regulamentos, deixando claro para os funcionários todos os riscos de sua função e as formas como podem ser contornados de forma adequada.

A Seção 8 - “Operação” demanda a aplicação de todos os processos que podem levar ao pleno planejamento das atividades, funcionamento da organização e segurança de todos os funcionários e de todas as etapas do processo de operação da organização. No que refere a manutenção de elevador,

apesar de não estar propriamente mencionado, pode ser interpretado quanto à garantia de adequada manutenção programada e corretivo de elevadores.

A Seção 9.1 - “Monitoramento, Medição, Análise e Avaliação De Desempenho” busca garantir o monitoramento e checagem das aplicações e eficácia das ações propostas dentro da organização, com, como já mencionado anteriormente, auditorias internas e constantes.

A Seção 10 - “Melhoria” tem como foco o último ponto da ISO 45.001(ABNT, 2018), a correção e melhoria contínua. A melhoria deve incluir a revisitação e correção de práticas comuns, buscando a adaptação, quando possível, a fim de chegar ao máximo nível possível de segurança e saúde para os funcionários.

2.3. Tipos de elevadores e características

Existem diversos tipos de elevador, cada um deles voltado para funções específicas. Dentre eles destacam-se:

- Elevadores Hidráulicos: tem seu movimento executado por cilindros hidráulicos. Comum em locais com até cinco andares.
- Elevadores com máquina de tração: utilizam movimentação gerada por motor elétrico, mais comum. Consome menos energia e são mais rápidos.
- Elevadores sem casa de máquinas: não possuem sala separada onde ficam armazenados os componentes mecânicos e sistemas de controle. Mais fácil de instalar e ocupa menos espaço.

Ainda há a diferenciação dos modelos de elevador, entre eles:

- Elevadores residenciais: comumente usado para passageiros, usados em locais com mais de 2 andares.
- Elevadores de carga: projetados como o intuito de transportar materiais de construção e cargas mais pesadas.
- Elevadores panorâmicos: utilizados em locais turísticos para acompanhar a vista panorâmica oferecida.

- Elevadores comerciais: semelhante ao uso dos residenciais, transporta passageiros em locais comerciais e suporta maior carga.

Entretanto, é importante conhecer os parâmetros de operação comum do elevador residencial, também referenciado como elevador de passageiros, para saber suas limitações e indicações.

A Tabela 1 mostra as combinações mais comuns e econômicas de velocidade e capacidade de pessoas a serem transportadas por elevadores de passageiros de acordo com a Atlas Schindler em seu Manual de Transporte Vertical em Edifícios.

Tabela 1 - Combinações mais comuns e econômicas de velocidade e capacidade para elevadores de passageiros.

Velocidade m/s (m/min)	Capacidade da cabina (pessoas)																			
	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0,60 (36)																				
0,75 (45)																				
1,00 (60)																				
1,25 (75)																				
1,50 (90)																				
1,75 (105)																				
2,00 (120)																				
2,50 (150)																				
3,00 (180)																				
3,50 (210)																				
4,00 (240)																				
5,00 (300)																				
6,00 (360)																				
7,00 (420)																				
8,00 (480)																				

Fonte: Dados adaptados do Manual de Transporte Vertical em Edifícios (Atlas Schindler)

Os dados obtidos e exibidos na Tabela 1 foram feitos através da Equação do Cálculo de Tráfego. A maior parte dos elevadores residenciais atende a demanda de seus respectivos edifícios utilizando uma velocidade de 1,00 m/s e capacidade de 6 a 9 pessoas por viagem.

2.4. Componentes de um elevador

O primeiro passo para entender o que pode ter causado os acidentes nos estudos de caso escolhidos foi dar início a um estudo preliminar detalhado sobre os componentes presentes em um elevador comum.

Para isso, foi consultada a Figura 4 retirada do site da renomada empresa de elevadores Otis, que também disponibiliza, em seu catálogo, sobre os componentes e a disposição dos mesmos relevantes para o elevador GEN2 MOD.

A Figura 4 é simples e desprovida de marcações para especificar seus componentes, entretanto, proporciona uma visão mais clara e abrangente das partes que compõem um elevador.

Através desta observação inicial foi determinada a necessidade de uma imagem que pudesse representar de forma mais detalhada os componentes a serem entendidos.

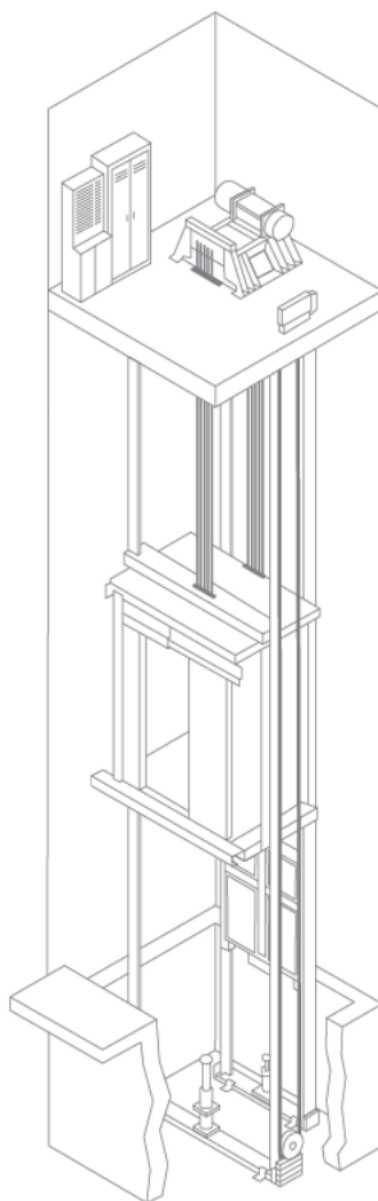


Figura 4: Diagrama do Elevador GEN2 MOD

Fonte: Otis Elevadores

A Figura 5 foi retirada do Manual de Transporte Vertical em Edifícios da empresa de elevadores Atlas Schindler, e mostra com maior clareza alguns dos componentes comuns de um elevador de elétrico.

Através da Figura 5 foi possível estabelecer uma conexão entre os componentes, até então apenas conhecidos por nomes, e seus respectivos posicionamentos e funções dentro da estrutura em questão.

Posicionamento dos componentes do elevador para projetos de edifícios com casa de máquinas

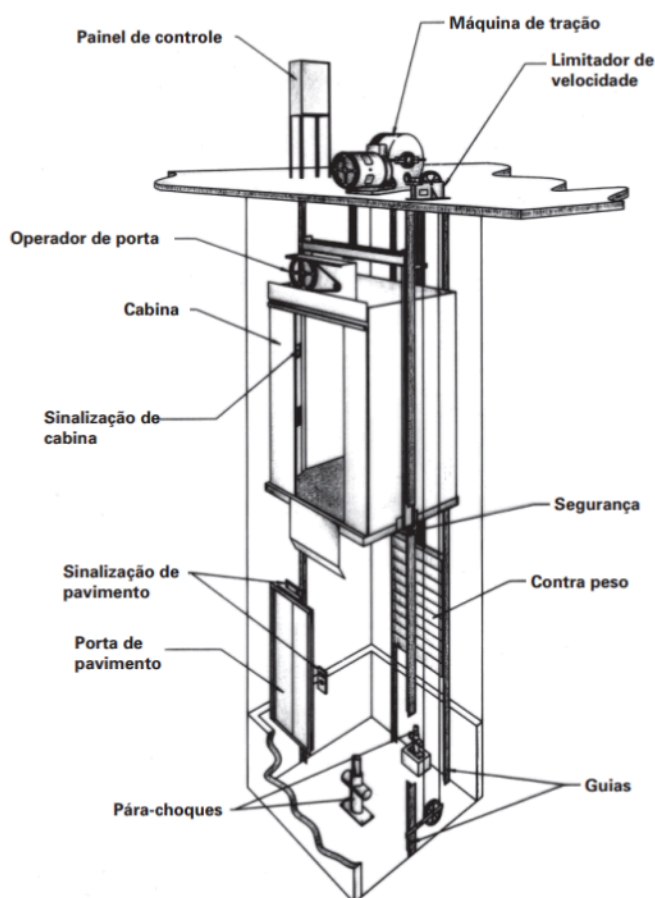


Figura 5: Elevador Elétrico

Fonte: Atlas Schindler

Segundo o Manual de Transporte Vertical em Edifícios (ATLAS SCHINDLER, 2021)

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 corrediças. 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 desse freio normal, 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.

As normas de elevador consideradas pela Atlas Schindler na execução de seus elevadores no Manual de Transporte Vertical em Edifícios (ATLAS SCHINDLER, 2021) Normas Mercosul NBR NM-195 e NBR NM-207, em substituição às Normas Brasileiras NBR-8900 e NBR-7192.

Os componentes e suas funções e características podem ser explicados de forma mais detalhada e direta.

A Casa de Máquina, local onde é instalado o motor, as polias, os sistemas de controlas e os demais equipamentos imprescindíveis para o funcionamento do elevador é colocada, comumente, no topo do poço do elevador, acima do último nível do edifício onde foi instalado. Contém todos os componentes mecânicos e elétricos que possibilitam o movimento da cabina, o controle de direção e velocidade, além de sistemas de segurança como o Limitador de Velocidade.

A Cabina é o local onde os passageiros ficam contidos durante o movimento do elevador, sendo suspensa e movimentada constantemente, assim, sua composição deve ser sólida para suportar as cargas a que será submetida. Pode ser personalizada pelas empresas responsáveis por sua construção, mas são comumente equipadas com botões de controle, iluminações, portas internas, espelhos, garantindo tanto a segurança quanto o conforto do usuário.

O Contrapeso tem como função equilibrar o peso resultante da carga sofrida na cabina do elevador, auxiliando o motor a funcionar, reduzindo seu esforço, sendo necessário se sobrepor apenas à diferença entre a cabina e o

contrapeso, economizando energia e tornando o sistema mais eficiente. É costumeiro que o contrapeso seja um bloco de metal de aço ou de ferro, movimentando-se no sentido oposto ao da cabina.

O Contrapeso é fundamental no funcionamento do elevador, ajudando a equilibrar o peso da cabine e reduzindo o esforço necessário do motor. Movendo-se no sentido oposto ao da cabine, ele permite que o motor vença apenas a diferença entre o peso da carga e o contrapeso, tornando o sistema mais eficiente e menos desgastante para os componentes mecânicos, como cordas e freios. Por outro lado, um contrapeso mal ajustado pode causar problemas graves. Se for insuficiente, aumenta o esforço do motor e acelera o desgaste; se for excessivo, compromete o sistema de frenagem e a segurança. Para evitar falhas, é essencial que o contrapeso seja dimensionado corretamente e receba manutenção regular.

Considerando dados arbitrários é possível fazer um estudo simplificado da forma como o contrapeso pode auxiliar no funcionamento do motor.

Um exemplo hipotético de dados para dimensionar o contrapeso:

- O peso da cabine representado por $m_{cabine} = 800 \text{ kg}$
- A carga máxima representada por $m_{carga} = 600 \text{ kg}$
- O contrapeso representado por $m_{contrapeso} = 700 \text{ kg}$
- A aceleração gravitacional representada por $g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

O esforço residual no motor (F_{motor}) é dado pela Equação 1:

$$F_{motor} = g \times (m_{cabine} + m_{carga} - m_{contrapeso})$$

Equação 1

$$F_{motor} = 9,8 \times (800 + 600 - 700)$$

$$F_{motor} = 9,8 \times 700$$

$$F_{motor} = 6860\text{N}$$

A partir destes dados, é possível verificar que, de fato, com um contrapeso adequado o motor deste elevador precisaria trabalhar apenas contra um peso

residual de 700 kg ao invés de 800 kg, otimizando seu desempenho e a eficiência energética.

A Caixa de Corrida é a estrutura metálica que abriga a cabina e o contrapeso, permitindo que ambos tenham um espaço seguro para que possam se movimentar verticalmente no poço do elevador. Ela possui guias e comporta os dispositivos que asseguram que o sistema esteja se movimentando de forma estável e sem se desviar do curso pré-estabelecido.

O Pavimento, apesar de não ser um componente propriamente dito, faz parte da composição do sistema do elevador. Trata-se da área no topo do poço de um elevador ou acima de cada andar onde este elevador faça uma parada, onde a cabina se posiciona para permitir que os passageiros embarquem ou desembarquem do elevador. É comumente formado por plataformas dos andares do edifício, podendo conter sistemas de segurança para melhor funcionamento.

O Poço é composto pelo espaço vertical reservado para a movimentação da cabina e do contrapeso, comumente formado pelas paredes do edifício e pode ter a mesma altura do edifício. Dentro do poço, além da cabina e do contrapeso, o espaço deve ser proporcionalmente dimensionado para comportar os cabos de tração, os amortecedores e os sistemas de guia. Os amortecedores, tratados propriamente adiante, ficam posicionados no fundo do poço para absorver o impacto no caso de alguma falha ou caso o contrapeso ou a cabina cheguem ao limite de movimento.

A Campainha trata-se de um dispositivo sonoro mais utilizado para sinalizar a chegada do elevador ao andar desejada, mas também pode ser utilizada para alertar sobre possíveis perigos à segurança.

Os Sistemas de Controle são responsáveis por gerenciar o funcionamento do elevador, delimitando os movimentos, o momento de abertura e fechamento das portas e as paradas em andares determinados. Entre os Sistemas de Segurança se destacam: o Pannel de Controle que está localizado na cabina do elevador, permitindo que o passageiro selecione o andar ao qual deseja se locomover, os Botões de Chamada que estão localizados nos andares,

permitindo a chamada do elevador para os demais andares e o quadro de comando, tratado mais detalhadamente a seguir.

O Quadro de Comando se destaca entre os Sistemas de Segurança mencionados. Trata-se da central elétrica do elevador, responsável por controlar a operação do motor, as funções de controle da cabina, a abertura e o fechamento de portas e os demais Sistemas de Segurança. Ele contém os circuitos, relés e demais partes eletrônicas que fazem com que o elevador funcione como foi projetado para funcionar, além de ser responsável pelo controle de emergência e pela gestão dos sensores do elevador. Sua localização pode variar, indo da casa de máquinas a um local específico do edifício determinado durante sua instalação.

O Sistema de Tração é responsável pela movimentação da cabina os elevadores de tração, envolvendo um motor que aciona uma polia, que, por sua vez, movimenta os cabos de aço conectados à cabina e ao contrapeso. Seus principais componentes são: o Motor de Tração que faz a rotação da polia movimentar a cabina, a Polia que se trata de uma “roda” sobre a qual o cabo de tração faz suas rotações, os Cabos de Aço ou Cabo de Tração tratado a seguir e o Contrapeso, cuja função e descrição já foram tratadas anteriormente neste estudo. A Figura 6 mostra, de forma ilustrativa, uma polia.



Figura 6: Princípio operacional MRL (elevador sem casa de máquinas)

Fonte: Atlas Schindler

A Figura 7 mostra outra parte importante do elevador, a parte responsável por gerar a força necessária ao movimento.

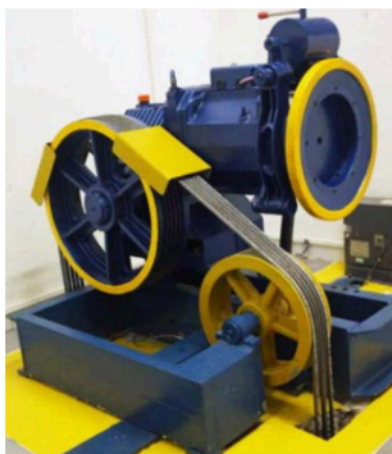


Figura 7: Conjunto de tração, cabo de aço, polia de tração e polia deslocadora

Fonte: Continental Elevadores

O Cabo de Tração é o componente que conecta a cabina ao contrapeso e permitem o movimento, a força é transmitida para o movimento da cabina e do contrapeso através de rotação pela polia. Com o acionamento do motor, o cabo começa a se mover fazendo com que a cabina suba ou desça de acordo com o esperado. Comumente é feito de aço e espera-se que suporte grandes cargas e seja resistente. A Figura 8 abaixo mostra as partes que compõe um cabo de aço utilizado em elevadores.

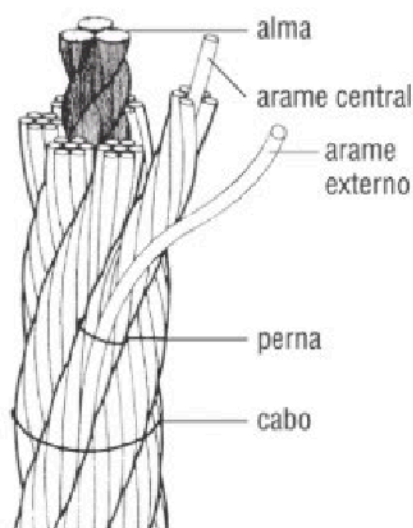


Figura 8: Partes da construção de um cabo de aço

Fonte: Continental Elevadores

Os Sistemas de Segurança foram definidos para o caso de emergências, como forma de tornar o elevador mais seguro e de alertar e auxiliar os

passageiros em caso de falhas ou problemas no geral. Entre os principais se destacam: o Sistema de Controle de Sobrecargas responsável pela detecção de excesso de peso na cabina e auxiliando no acionamento do desligamento ou do alarme de aviso, os Botões de Emergência que ficam situados na cabina e podem ser utilizados pelos passageiros para sinalizar pedidos de ajuda ou paradas não esperadas, a Iluminação de Emergência que é acionado no caso de falhas no fornecimento de energia e garante a visibilidade dentro da cabina e o Limitador de Velocidade, tratado a seguir. O Sistema de Controle de Sobrecargas é regido sob a norma ABNT NBR15597:2010, garantindo a utilização de sinais sonoros e visuais, além de manter a porta da cabina aberta, quando o peso máximo é excedido, o elevador somente é liberado com a retirada do peso em excesso.

Limitador de Velocidade se destaca entre os Sistemas de Segurança. Este componente é um dispositivo de segurança que impede que a cabina do elevador atinja velocidades excepcionalmente altas, acionando os freios no caso de a detecção ser positiva. Costuma ser composto por um mecanismo eletrônico ou mecânico que monitora a velocidade atingida, parando automaticamente o elevador quando a velocidade estiver fora da faixa de segurança, evitando riscos de acidentes.

Além dos Sistemas de Segurança já mencionados há ainda o Limitador de Viagem. O Limitador de Viagem é projetado para interromper o movimento do elevador quando a cabine atinge a posição máxima ou mínima prevista, ou seja, o ponto mais alto ou mais baixo que a cabine pode alcançar. Comumente, o Limitador usa informações do número máximo de andares ou da altura máxima a qual deve subir ou descer para poder fazer a parada adequada antes de uma colisão.

O Limitador de Viagem geralmente utiliza-se de sensores de posição colocados nos trilhos ou nas extremidades superiores e inferiores do caminho onde a cabina irá percorrer, detectando quando a cabina se aproxima de uma das extremidades de sua trajetória. O acionamento deste mecanismo, que pode utilizar sensores mecânicos ou eletrônicos, pode agir interrompendo a alimentação do motor ou ativando o sistema de freios, impedindo que o movimento continue a partir do ponto indicado.

Juntamente ao Limitador de Viagem, pode haver a presença de um Sensor de Proximidade. Diferentes dos sensores mecânicos, o Sensor de Proximidade é operado eletronicamente, acionado pela aproximação da cabina com o fim do percurso, o último andar ou o pavimento do andar térreo. Além de detectar a aproximação do andar, ainda possibilita a detecção de objetos, estruturas ou pessoas, sem que haja a necessidade de contato físico.

O Sensor de Proximidade funciona através da detecção de mudanças no campo elétrico, magnético ou ultrassônico ao redor de sua posição. Entre os tipos mais comuns usados em elevador, destacam-se: os Indutivos, usados para detecção de objetos metálicos fazendo uso de campos eletromagnéticos, os Capacitivos, usados para detecção de materiais condutores ou não condutores fazendo uso das variações de capacitância detectadas, os Ultrassônicos, usados para detecção de obstáculos próximos fazendo uso de ondas sonoras de altas frequência que auxiliam na obtenção não somente da presença mas também da distância entre os obstáculos e o sensor, e os Infravermelhos, usados para detecção de pessoas ou objetos nas portas da cabina, evitando que a porta feche antes do que deveria.

O Sensor de Nivelamento faz uso de técnicas semelhantes ao do Sensor de Proximidade, usando sinais magnéticos, ópticos ou mecânicos para detectar se a cabina está posicionada corretamente. Entre os tipos mais comuns usados em elevador, destacam-se: os Indutivos, usados para detecção de alterações nos campos magnéticos fazendo uso de marcadores posicionados nos andares os Magnéticos, usando ímãs para detectar a posição da cabina, os Ópticos, usando feixes de luz para detectar a posição da cabina ao longo do percurso, e os Mecânicos, usando interruptores que são acionados fisicamente por um mecanismo colocado dentro da cabine ao passar ou chegar a um andar.

Os Freios garantem uma parada de forma controlada e menos brusca em caso de emergências ou falhas no sistema. São um dos Sistemas de Segurança mais importantes do elevador, trabalhando em conjunto com o Limitador de Velocidade para garantir a plena segurança. Os freios podem ser separados em dois tipos: o Freio do Motor que faz parte do sistema de controle do motor, desacelerando a cabina durante uma parada comum e o Freio de Segurança que entra em ação quando há a detecção de uma falha no sistema de tração ou

se o Limitador de Velocidade detectar uma velocidade fora do comum, ele é acionado automaticamente e bloqueia o movimento da cabina, trabalhando de forma independente nos casos de emergência para evitar subidas bruscas ou quedas incontroláveis.

A Figura 9 demonstra um sistema de freios da Empresa de Elevadores Atlas Schindler, exibindo um sistema de freios eletromagnéticos.

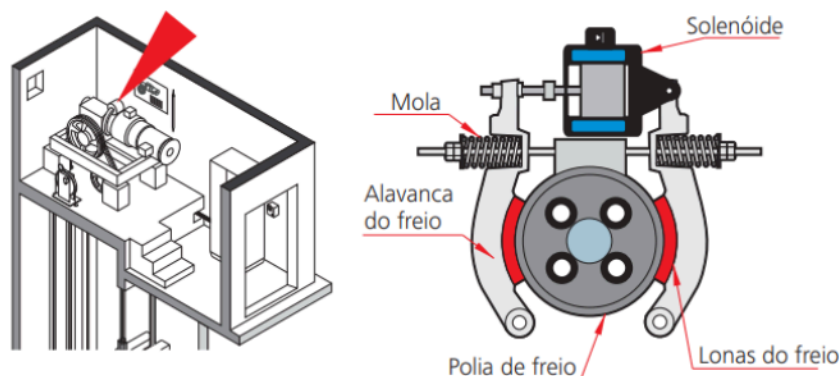


Figura 9: Sistema de Freio

Fonte: Atlas Schindler

Esse tipo específico faz uso da força eletromagnética para diminuir e controlar os movimentos da cabina. A geração de um campo magnético age como redutor de velocidade, transformando a energia elétrica em energia mecânica, o que age na frenagem. Ele pode ser fundamental em caso de falhas no sistema elétrico.

Os componentes exibidos são na Figura 9. O solenoide é responsável por controlar a ativação ou liberação do freio, acionado juntamente ao campo magnético. A mola aplica pressão nas lonas de freio nos momentos em que o solenoide não está atuando. A alavanca de freio, sendo esta uma parte mecânica responsável pela transferência da força do solenoide ou da mola para as partes que efetivamente executam a frenagem, como as lonas de freio. A polia de freio é um componente rotativo que ajuda a aplicar a pressão nas lonas de freio, agindo juntamente à alavanca. As lonas de freio garantem o atrito, sendo pressionadas contra a polia ou outro tambor de frenagem.

De acordo com o item “5.12.1 Freio eletromagnético” da norma ABNT NBR 15.597:2010: “O freio eletromecânico deve estar de acordo com 12.4.2 da ABNT

NBR NM 207, que diz que todos os componentes mecânicos do freio que tomam parte na ação de freada no tambor ou disco devem ser instalados em duplicata.”

Os freios de elevadores combinam sistemas mecânicos e elétricos para garantir segurança e precisão. O sistema mecânico utiliza molas para manter o freio engatado por padrão, enquanto o sistema elétrico, por meio de um eletroímã, libera o freio durante a operação normal do elevador. Essa redundância é crucial: se o sistema elétrico falhar, as molas entram automaticamente em ação, garantindo que o elevador permaneça imóvel. Contudo, se ambos os sistemas falharem simultaneamente, a segurança é gravemente comprometida, podendo resultar na queda descontrolada da cabine. Por isso, a manutenção regular e o monitoramento desses sistemas é indispensáveis.

Segundo a norma da ABNT NBR 15.597:2010, é recomendado a duplicidade dos Sistemas de Freios de elevadores, garantindo assim uma redundância, se um freio falhar, o freio duplicado deve estar funcionando.

Os Amortecedores são localizados no fundo no poço do elevador, como mencionado anteriormente neste estudo, ou, em alguns modelos específicos de elevador, podem ser localizados na parte inferior da cabina. Sua responsabilidade é absorver o impacto caso o pior dos casos ocorra e os sistemas de segurança falhem, levando a uma queda do elevador. Costumam ser fabricados com materiais elásticos ou hidráulicos, procurando evitar maiores danos ao elevador e aos passageiros durante o impacto.

A Figura 10 mostra, de forma ilustrativa, os chamados “para-choques” ou amortecedores em um modelo específico de elevador.

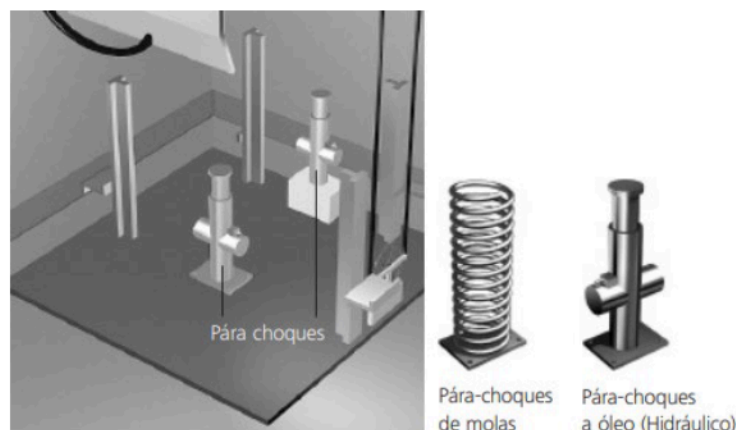


Figura 10: Para-choques do modelo Schindler 7000

Fonte: Atlas Schindler

As Guias são estruturas mais comumente feitas de metal que ajudam a manter a trajetória da cabina do elevador alinhada e estável durante todo o movimento. Tratam-se de barras verticais instaladas nas laterais do poço do elevador e na caixa de corrida, evitando que a cabina balance ou se desvie do caminho.

A Figura 11 mostra, de forma ilustrativa, uma guia e um coxim. Os coxins têm como função fazer uma interface entre a cabina e as guias, sendo instalados nas armações da cabina e do contrapeso.



Figura 11: Guia do elevador e coxim

Fonte: Atlas Schindler

O Carro é a estrutura móvel do elevador, inclui a cabina e os componentes responsáveis por sustentar a carga, incluindo objetos transportados e passageiros além da própria estrutura.

A Fonte de Alimentação fornece energia elétrica ao motor, ao sistema de controle e os demais componentes eletrônicos do elevador como por exemplo o Limitador de Velocidade. Costuma possuir como fonte primária uma rede elétrica comum e como fonte secundária, utilizada somente em casos de falha elétrica, um gerador ou sistema de backup de energia, garantindo a segurança e o funcionamento momentâneo do elevador para resgates.

A Figura 12 retirada de Schindler 5500: Manual do Proprietário (ATLAS SCHINDLER, 2020), apesar de tratar de um elevador sem casa de máquinas, auxilia a visualizar alguns dos componentes já mencionados e suas atuações.

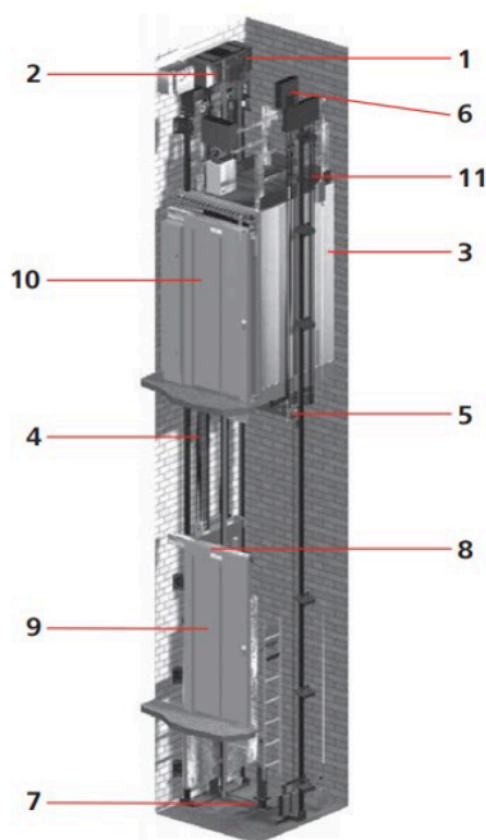


Figura 12: Princípio operacional MRL (elevador sem casa de máquinas)

Fonte: Atlas Schindler

Segundo Schindler 5500: Manual do Proprietário (ATLAS SCHINDLER, 2020)

o motor (1) conduz o eixo de tração (2), que transmite a força à cabina (3) pelos elementos de suspensão (4).

Freio de segurança (5) - freia a cabina (3) quando o limitador de velocidade (6) é acionado. Isto ocorre em casos de alterações bruscas da velocidade pré-determinada, no sentido de cima para baixo.

Freio mecânico no motor (1) - freia a cabina (3), se ela viaja para cima em velocidade excessiva. O freio mecânico é acionado pelo limitador de velocidade (6).

Limitador de velocidade (6) - monitora a velocidade da cabina (3) e aciona a engrenagem de segurança (5) ou o freio mecânico em velocidade excessiva.

Amortecedor (7) - freia a cabina (3) no caso de o percurso avançar até o poço. Sensor óptico de posição (11) - localizado acima da cabina, planeja a viagem do elevador de forma precisa, ajustando, quando necessário, o plano de viagem inicial, garantindo o término da viagem com perfeito nivelamento.

Ainda segundo Schindler 5500: Manual do Proprietário (ATLAS SCHINDLER, 2020), “o princípio operacional é o mesmo para o sistema MRL (sem casa de máquinas) e o sistema MR (com casa de máquinas), com com contrapeso na lateral ou ao fundo.”

Para um elevador com casa de máquinas, a Figura 13 exibe um modelo retirado de Schindler 3600 retirado do Schindler 3100 /3300 /5300, Schindler 3300 New Edition, Schindler 3600: Manual do Proprietário (ATLAS SCHINDLER, 2020).

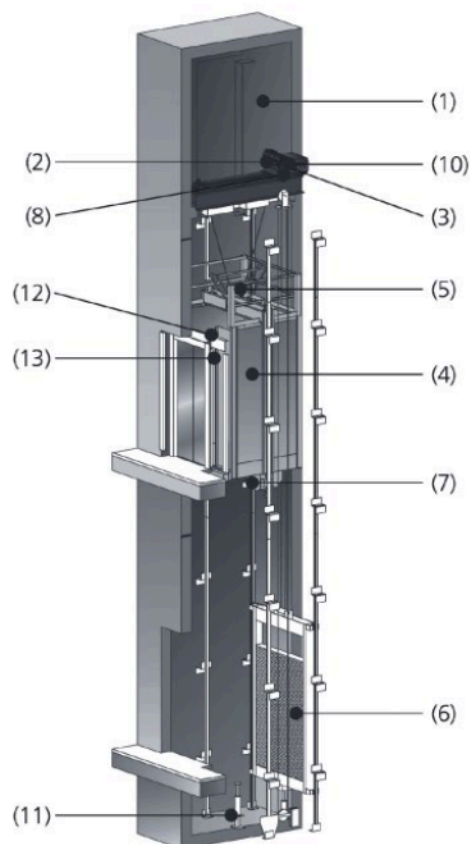


Figura 13: Schindler 3600

Fonte: Atlas Schindler

Segundo Schindler 3100 /3300 /5300, Schindler 3300 New Edition, Schindler 3600: Manual do Proprietário (ATLAS SCHINDLER, 2020)

ele é monitorado pelo controle (1) o motor (2) aciona a polia de tração (3), que transmite a força à cabina (4) pelos elementos de tração (5) e contrapeso (6).

O freio de segurança (7) do elevador para a cabina (4) se esta viajar na direção de descida com velocidade excessiva. O freio de segurança (7) é acionado pelo limitador de velocidade (8). O freio de segurança no contrapeso (9), quando aplicado, para o contrapeso na direção para baixo se o elemento de tração da cabina ficar frouxo. O freio (10) do motor para o elevador alinhado ao pavimento. Os amortecedores (11) para a cabina (4) ou o contrapeso (6) na eventualidade de excesso de velocidade rumo o poço da caixa do elevador.

O engate da porta (12) impede que as portas dos andares (13) abram durante o percurso e quando estiverem fora da zona do engate. A porta do elevador (14) protege a entrada do mesmo durante o percurso e quando fora dos andares.

3. METODOLOGIA

A metodologia tem como função expor de maneira completa o passo a passo durante todo o desenvolvimento do estudo, mostrando as conexões e rotas que foram tomadas até sua finalização.

3.1. Construção do Estudo

Diante do crescente número de acidentes envolvendo elevadores o estudo teve como motivação inicial a verificação da causalidade dos acidentes, o oferecimento de uma possível forma de auxiliar na diminuição destes números e a confirmação da confiabilidade deste meio de transporte.

Foi iniciado um estudo detalhado através do uso de manuais de empresas e fabricantes de elevadores a fim de entender o funcionamento de seus principais componentes e posterior verificação de como poderiam ter afetado os elevadores relacionados aos acidentes.

Com a obtenção das normas escolhidas, a norma OHSAS 18.001 (BSI, 2007), cancelada, e a norma ISO 45.001 (ABNT, 2018), em vigor, teve início o estudo das normas. O entendimento das normas auxiliou na forma como os acidentes foram estudados, as normas foram analisadas antes da busca por casos I a VI,

Após o estudo das normas foi iniciado uma busca ampla por acidentes envolvendo elevadores em todo o território brasileiro. Foram utilizadas informações de diversos jornais, utilizando matérias escritas e exibidas na televisão para fazer um compilado dos acidentes e posteriormente, a escolha final de 6 acidentes. A triagem para escolha final não teve como critério o local nem a gravidade do acidente, o critério foi a obtenção do maior número de informações acerca do acidente e da menção nas informações de causa do acidente. Os acidentes foram estudados e comparados para verificação das causas e possíveis padrões de acidente.

Com os dados dos acidentes finalizados, foi concluído que um estudo utilizando análise numérica e um código do MatLab poderia auxiliar no entendimento da detecção de falhas no elevador, bem como a aplicação de metodologias técnicas de tomada de decisões, como o FMEA. O código foi elaborado e com o uso do banco de dados foram obtidas 23 Figuras, sendo 22 delas gráficos relacionados aos sensores e 1 delas sendo a Matriz de Correlação dos Sensores. A análise dos gráficos foi feita de forma cuidadosa, a fim de verificar a importância de cada sensor para a detecção prévia de falhas, onde essas informações foram documentadas.

Através da análise dos gráficos, o FMEA e a Tabela de RPN foram montados para expor como a decisão de ações seria tomada de acordo com as normas aplicáveis.

3.2 Procedimentos de comparação entre normas

O objetivo da leitura das normas foi compreender o que era esperado das organizações, os requisitos feitos e estabelecidos por cada norma, analisando ainda o que foi alterada e o que foi mantido para a norma em vigor, procurando facilitar a análise da eficácia de cada norma.

A comparação extensa entre as normas foi essencial para que tópicos específicos presentes em ambas fossem escolhidos, através das semelhanças e diferenças entre estes tópicos foi analisado como foram propostos cada aspecto.

A escolha dos tópicos abrangeu alguns assuntos relevantes para este estudo, focando em termos de gestão de saúde e segurança ocupacional, ponto principal de ambas as normas, permitindo que fosse analisado de forma crítica as mudanças e evoluções propostas, assim como suas aplicações práticas dentro das organizações.

A comparação foi de suma importância ainda para o período em que foram aplicadas, verificando a forma como o cuidado e a importância da segurança e saúde ocupacional são tratados.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O estudo contou com um procedimento experimental que consistiu na busca e análise de casos de acidentes, para entender os motivos que levaram a tal, contando com a análise e comparação das normas para verificação da conformidade normativa e do impacto da manutenção nos sistemas de um elevador.

O procedimento experimental se estendeu para uma análise experimental com o uso de um código do MatLab para entendimento e verificação da forma como sensores podem auxiliar na identificação de falhas de forma antecipada.

4.1 Coleta e análise dos casos de acidente

Conhecendo os componentes presentes em um elevador foi possível começar a entender os casos de estudo. Uma busca por informações de acidentes de elevadores foi iniciada, tentando encontrar reportagens a mesmo, de forma a não tornar a busca tendenciosa. Após a obtenção dos primeiros casos de estudo foi iniciada a busca por laudo e, quando estes ainda não eram oficiais ou divulgados, a procura pelo entendimento das possíveis causas do acidente de forma independente.

Com o motivo dos acidentes encontrado foi possível buscar o entendimento de como a manutenção poderia ter sido colocada em prática para tornar o acidente evitável ou reduzir sua gravidade. Para fins de entendimento foram considerados ações de manutenção como a troca de componentes, o cumprimento da lubrificação adequada indicada nos manuais de usuários das empresas de elevador encontrados, a verificação periódica dos componentes que mais sofrem desgaste etc. Posteriormente foi proposta uma análise da forma como as normas vigentes foram aplicadas de acordo com o período em que o acidente ocorreu.

I. O primeiro caso estudado foi o acidente no Edifício Tiffany em Santos, São Paulo ocorrido em 30 de dezembro de 2019. O acidente vitimou 4 pessoas da mesma família.

Segundo o G1 (2020), apenas em São Paulo naquele ano foram mais de 500 resgates resultados de falhas em elevadores, mas nenhum com tamanha gravidade.

As Figuras 14 e 15 foram retiradas de uma reportagem exibida pelo jornal semanal televisivo Fantástico em uma reportagem feita sobre o acidente em questão.

Ambas as imagens apresentam qualidade de visualização inferior, mas seu conteúdo se apresentou relevante para o estudo de caso. As imagens contêm trechos exibidos na reportagem sobre o laudo enviado pela empresa VILLARTA Elevadores acerca das condições dos equipamentos, onde pode ser observado que eram condições boas de acordo com o técnico de manutenção apontado pela empresa.

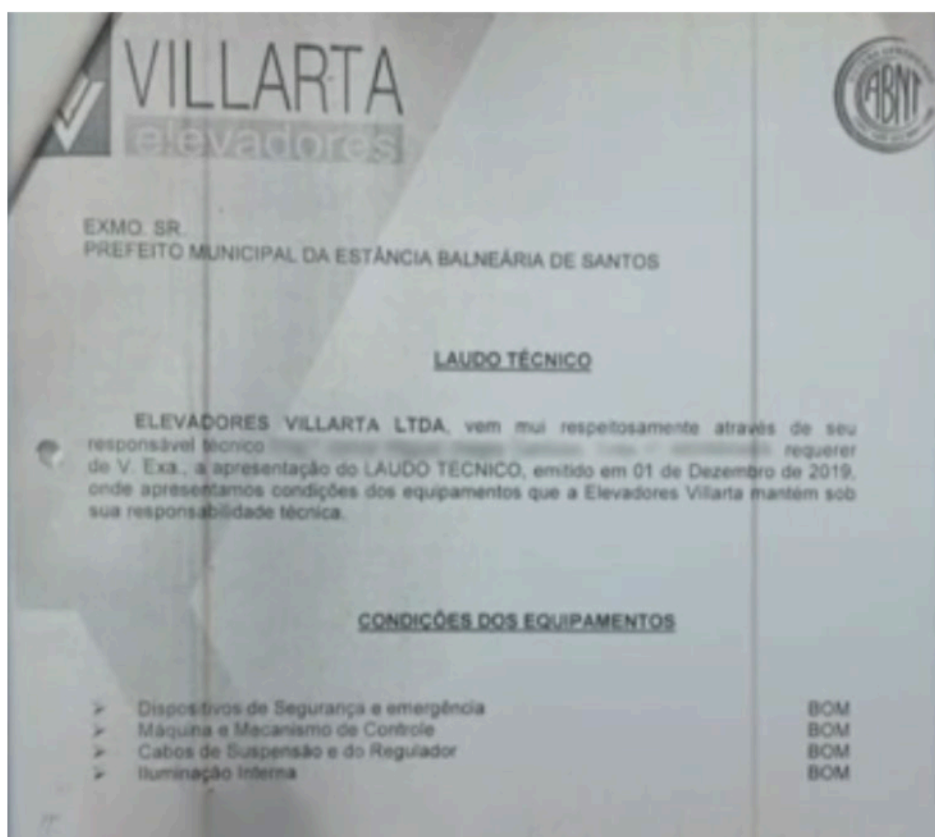


Figura 14: Parte inicial do laudo técnico fornecido pela Villarta Elevadores

Fonte: Fantástico, matéria exibida em 03/01/2020

A Elevadores Villarta, por meio de seu advogado, Pedro Beretta, vem, em atenção à consulta feita pela reportagem do programa Fantástico, da TV Globo, informar:

Em primeiro, e acima de tudo, que lamenta profundamente o trágico acidente que vitimou a quatro membros da mesma família em um edifício da Marinha do Brasil, ocorrido na noite de 30 de dezembro, na cidade de Santos, Litoral Sul de São Paulo.

Como uma empresa familiar, com mais de 40 anos de experiência e uma das pioneiras em seu ramo de atuação, nos solidarizamos com as vítimas e seus familiares, reafirmando, mais uma vez, que não mediremos esforços para esclarecer as causas do ocorrido.

Sobre as questões técnicas acerca do acidente, a empresa aguarda a elaboração do laudo pericial oficial, qual possibilitará esclarecer o que causou tal fatalidade. A empresa, aliás, encontra-se em total auxílio à perícia técnica e todas as autoridades envolvidas desde o dia 30 para a conclusão dos trabalhos periciais.

A Villarta, mais uma vez, reafirma que não é a fabricante do elevador. E, bem como atestou tanto a Prefeitura Municipal de Santos, como a própria Marinha do Brasil, sua manutenção encontrava-se em dia e em atendimento a todas as normas técnicas e legais exigidas.

Agradecemos a atenção e continuamos à disposição das autoridades para prestar os esclarecimentos necessários e colaborar com as investigações.

Figura 15: Parte do laudo técnico fornecido pela Villarta Elevadores

Fonte: Fantástico, matéria exibida em 03/01/2020

II. O segundo acidente encontrado e prontamente estudado foi em São José do Rio Preto, São Paulo no dia 04 de fevereiro de 2019, levando uma pessoa à óbito.

A vítima estava em um edifício garagem, no qual estacionava sua motocicleta diariamente. No dia da fatalidade, a plataforma não estava no térreo, levando o mesmo a cair no foço, de aproximadamente 5 metros de profundidade. As duas portas de segurança para o elevador estavam abertas, e não havia nenhuma sinalização quanto à plataforma estar em outro andar.

A Figura 16 expõe algumas conclusões obtidas com o acidente, dentre elas o motivo exato do acidente apesar das medidas de segurança.

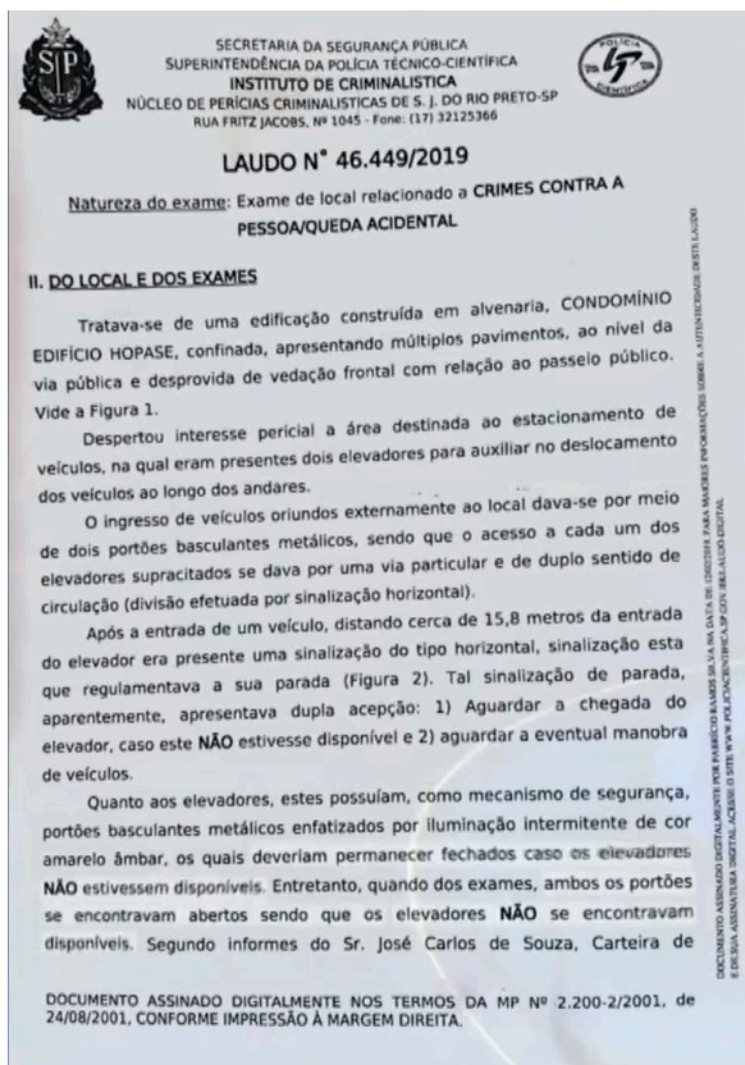


Figura 16: Laudo do acidente II

Fonte: Janaína de Paula, TV TEM através do G1

III. O terceiro acidente investigado foi em um canteiro de obras na região do Iguatemi, Bahia, que levou a morte de nove operário em 09 de agosto de 2011.

O acidente em questão foi resultado de uma queda. Segundo a manchete do dia seguinte noticiada pela Folha de São Paulo (2011), "Equipamento usado em construção cai de 80 metros, do 28º andar, e se choca ao chão a cerca de 140 km/h".

O caso se difere dos demais por se tratar de um elevador tracionado a cabo sendo usado para transporte de pessoas, diferente dos elevadores elétricos

estudados, apesar disso as normas de manutenção e segurança ainda podem ser aplicadas.

O elevador tracionado a cabos possui dois cabos de aço, funcionado com o auxílio de um controlador que opera por inversão de frequência. O sistema de segurança inclui: um freio centrífugo que usa a força gerada pela rotação da polia para parar o movimento, um limitador de velocidade, já mencionado no elevador elétrico e freios de emergência. A fonte de energia é um motor elétrico de corrente alternada. Este tipo de elevador, na época do acidente, era comumente usado para transporte de pessoas e de cargas, entretanto, passou a ser aconselhado que seu uso fosse somente para transporte de carga.

O Sistema de Freio Centrífugo, usado no elevador no Estudo de Caso III, é exibido na Figura 17.

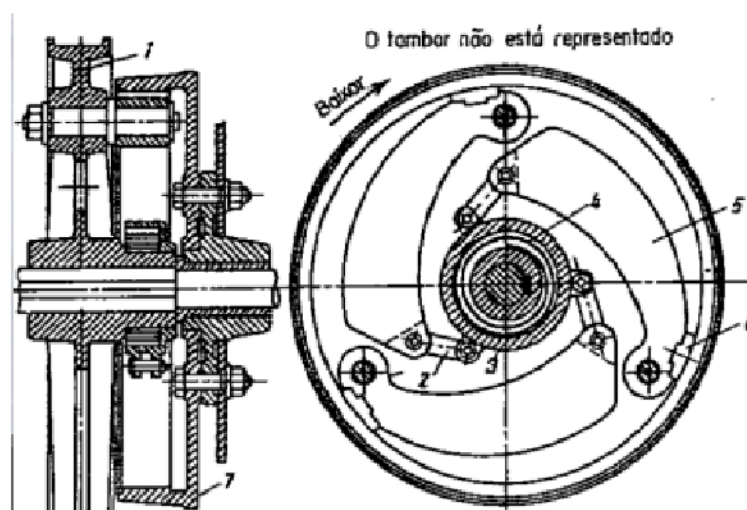


Figura 17: Sistema de Freios Centrífugos

Fonte: Máquinas De Elevação E Transporte. Aula 7 – Mecanismos De Retenção E Freios

De acordo com a Figura 17, o funcionamento se dá da seguinte forma: Na polia 1 do sistema de freio de fita de parada, fixada na árvore do mecanismo, são instalados pinos de articulação que conectam três patins contrapesados. As extremidades desses patins são ligadas às buchas de ajuste 3 através das conexões 2. A mola espiral 4 e a bucha 3 estão associadas ao cubo da polia 1. Os patins 5 são fixados às sapatas de atrito 6, e o aro fixo serve como uma segunda superfície de atrito. Quando a polia 1 atinge uma certa velocidade, a força centrífuga faz com que os patins 5 se expandam, pressionando-os contra

o aro interno, superando a força da mola 4. A mola é projetada para manter o freio desengatado em baixas velocidades.

IV. O quarto acidente estudado foi parte de uma sequência de acidentes. Ele ocorreu no Hospital Municipal Salgado Filho no Rio de Janeiro no dia 30 de junho de 2024, vitimando uma pessoa, um paciente do hospital.

Segundo o Crea-RJ (2024 a):

“A lei 5.194, de 1966, determina que os serviços técnicos precisam ter a participação de um profissional habilitado.”

Entretanto, no caso do acidente de elevador no Hospital Salgado Filho isto não foi comprovado como fica de acordo o Crea-RJ (2024 b):

“O Crea-RJ já constatou que o responsável pela manutenção do elevador que despencou no Hospital Salgado Filho não tem registro no Crea de Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), o que indica alguma irregularidade”.

O Hospital Municipal Salgado Filho encaminhou as pesquisas para a empresa de manutenção de elevadores, ELEVAT Elevadores. A empresa responsável não quis se manifestar quanto ao motivo do acidente, entretanto, pode-se inferir que a falta de um profissional adequado de manutenção pode ter levado ao acidente, como o Crea-RJ já havia apontado.

V. O quinto acidente investigado ocorreu na Secretaria de Fazenda do estado do Rio de Janeiro, na parte da manhã do dia 30 de junho de 2024. O edifício se localiza na Avenida Presidente Vargas, no Centro do Rio.

O incidente se deu devido ao elevador ultrapassar o limite programado de deslocamento vertical (20º andar) e se chocou contra o teto.

A vítima precisou ser retirada pelo Corpo de Bombeiros, através de uma passagem de emergência; ela foi encaminhada para o Hospital municipal Souza Aguiar, também no Centro.

Em nota, a Secretaria de Fazenda informou que a empresa especializada na manutenção dos elevadores realiza ações mensais. Segundo uma vistoria realizada em 21 de junho, os elevadores estavam em perfeitas condições de uso. Dois técnicos em mecânica também trabalham em regime de dedicação exclusiva para atender chamados emergenciais (Agência Brasil, 2024)

VI. Por fim, o sexto estudo de caso relata o mais recente dos acidentes estudados; localizado em Salvador, o caso no condomínio de luxo Splendor no dia 14 de novembro deixou duas vítimas fatais após despencar do sexto andar do edifício, mesmo com o equipamento possuindo manutenção atestada há apenas cinco dias.

"Este contrato garante a manutenção integral de todos os equipamentos do edifício, incluindo dois sociais e dois de serviço, conforme as diretrizes estabelecidas pela fabricante. Todos os equipamentos passam mensalmente por avaliações periódicas e por processo de manutenção preventiva, realizadas exclusivamente pela Atlas Schindler, e, segundo a empresa, estavam em perfeitas condições de operação no momento do ocorrido", acrescentou.

Apesar do laudo validar a segurança do equipamento, a observação técnica apontava o problema na correia, como consta na Figura 18 referente ao laudo do acidente.

Atlas Schindler - CNB-NIMOD&EI_BA
Al dos Umbuzeiros 408
Salvador - BA
41820-680
Tel:

Atlas Schindler

Comprovante Digital
Relatório gerado eletronicamente

Nº:10260229 / Data: 09.11.2024
Nº do cliente: :
Referência:

COND EDIF SPLENDOR RESERVA DO HORTO
R WALDEMAR FALCAO 1547
HORTO FLORESTAL
SALVADOR - BA
40295-010

Descrição do equipamento

Installation: 17011664320 /1664320
Address: SERVICO COND ED ESPLendor - BL B, AV WALDEMAR FALCAO 1547, SALVADOR - BA
BROTAS
Contract No: 35482629

Descrição do trabalho **Manutenção**

Nº da Atividade:
Nome do técnico(a):

Para garantir o correcto funcionamento do seu equipamento procedemos Visita de Manutenção e validamos que o equipamento encontra-se em segurança.

Primeira atividade data e hora	Atividade
09.11.2024 09:50:00	Manutenção

Atividades fora da cobertura do seu contrato estarão sujeitas à cobrança.

Comentário técnico:
Correa do operador de porta solta

Documento assinado durante as atividades.

Sua assinatura

Sua solicitação foi atendida de acordo com o contrato vigente. A execução das atividades listadas foi confirmada pela Assinatura eletrônica.

Página:1/1

Figura 18: Laudo do acidente VI

Fonte: BNEWS

4.2 Critérios para análise de impacto da manutenção

Foi buscado inicialmente manuais técnicos de instrução de manutenção de diversas empresas responsáveis pela fabricação de elevadores, além de laudos técnicos oficiais e preliminares de cada um dos acidentes.

Os estudos de caso I, II e III, acontecidos em 2019, 2019 e 2011, respectivamente, possuíam mais informações e laudos de acidentes mais completos, permitindo que suas análises fossem mais aprofundadas do que os acidentes IV, V e VI, que aconteceram em 2024.

Nos estudos de caso dos acidentes de 2024, para a falta de laudo oficial, foram buscadas informações de motivos para os acontecimentos, através de um longo e detalhado estudo.

Através destes dados, foi possível identificar em reportagens e em alguns laudos e relatórios encontrados que a palavra “manutenção” era frequentemente mencionada quando ligada a estes casos, sendo assim, considerada um dos principais causadores para os acidentes dos casos estudos.

4.3 Código e análise de gráficos

Um código do MatLab foi desenvolvido com o intuito de analisar dados de um elevador monitorado por diversos sensores. Sua utilização visava o entendimento da forma como um código poderia ser utilizado em um elevador comum para prever e evitar falhas mais graves.

A partir do código foram obtidos 23 gráficos e, com eles, foram feitas as análises dos sensores em diversas situações, a fim de verificar os momentos em que as falhas ocorriam e como se dava sua detecção.

Com os gráficos e a análise concluídas, foi possível executar um FMEA para verificar a forma que essas falhas se manifestaram e possíveis problemas técnicos, além de como essas falhas seriam tratadas em um momento de verificação pela equipe de manutenção adequada, juntamente às possíveis ações a serem executadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A discussão e análise de resultados é fundamental para a verificação do estudo, confirmando se a proposta teve bons resultados ou não.

5.1 Comparação entre normas e seus impactos na segurança

De forma significativa pode ser identificada a primeira e mais importante mudança entre as normas, a forma como é abordado as ações diante de acidentes.

A norma OHSAS 18.001(BSI, 2007) tem uma abordagem mais reacionária quando comparada com a ISO 45.001(ABNT, 2018). A OHSAS 18.001(BSI, 2007) tem como foco a priorização de ações corretivas após a ocorrência do acidente, procurando corrigir as falhas e inadequações apenas depois de ter acontecido. Desta forma, ela busca corrigir falhas já identificadas e evitando que estes acidentes se repitam futuramente, mas não agindo de forma proativa e buscando identificar estas falhas antes que se apresentem, de fato, como um problema.

Em contrapartida, a ISO 45.001(ABNT, 2018) tem uma abordagem proativa, buscando a prevenção dos acidentes e falhas antes que possam realmente acontecer e causar problemas dentro da organização. A norma em vigência tem maior ênfase na importância da identificação de avaliações dos riscos possíveis, buscando compreender a forma como se desenvolveriam e implementando caminhos e ações mais seguras, de forma preventiva. Ao priorizar a identificação das falhas antes que possam se desenvolver, a ISO 45.001(ABNT, 2018) busca garantir a implementação e difundindo da cultura de segurança, valorizando a antecipação de falhas e problemas e promovendo ações de segurança antecipadas.

A diferenças entre o tipo de abordagem entre as normas demonstra como a evolução da responsabilidade com a saúde e segurança ocupacional evoluiu ao longo dos anos, colocando a prevenção aos acidentes como essencial para garantir a segurança dos funcionários e a qualidade de um ambiente seguro. A

mudança para um foco proativa com a alteração para a ISO 45.001(ABNT, 2018) promoveu uma mudança considerável no ponto de vista das organizações, auxiliando na redução de incidentes, mesmo que pequenos, e, desta forma, reduzindo o custo que as organizações precisavam gastar com mudanças e ações corretivas após os acidentes.

Uma segunda diferença interessante e de grande importância entre as normas foi a forma como a participação dos funcionários para com as medidas de sua própria segurança e saúde se dava na OHSAS 18.001(BSI, 2007) e como passou a ser tratada na ISO 45.001(ABNT, 2018). A norma em vigência trata da participação e escuta ativa por parte dos funcionários com os superiores como irrevogável e necessária para garantir que todos os pontos de interesse estejam sendo ouvidos e instruídos quanto às medidas corretas, usando da participação e experiência dos funcionários para reunir todos os alertas e comentários antes que possam se desenvolver para incidentes.

A participação dos funcionários demonstrou que a inclusão no processo de identificação de riscos, no entendimento das políticas de segurança propostas e no planejamento e implementação das ações de segurança adequadas tornam o processo de reconhecimento de riscos mais eficaz e correto, reconhecendo os funcionários como uma importante fonte de informações sobre cada parte do processo, algo que funcionários com cargas superiores podem não conhecer tão intrinsecamente.

A forma como a atenção e o cuidado com a segurança passou a residir com os funcionários e colabores que se colocavam, de fato, nas atividades que possuíam os riscos para suas saúdes deu a eles o poder de opinar e serem ouvidos, levando suas preocupações de forma séria. Esta atitude ainda pode ajudar a difundir a cultura de segurança entre os funcionários, pois possuindo maior conhecimento das medidas estas seriam compartilhadas dentro de seu ambiente de trabalho, aumentando a probabilidade de serem seguidas e de seus comprometimentos com a segurança geral, tornando o ambiente de trabalho mais seguro.

Em comparação, a OHSAS 18.001(BSI, 2007) partia de um princípio diferente: seguir o que havia sido estabelecido pelos superiores. Os funcionários

e colaboradores eram instruídos a escutar e reforçar as medidas de segurança e saúde fornecidas e sugeridas a eles, sem necessariamente ter o espaço para questioná-las ou opinar quanto a isso. De forma impressionante, esta pequena mas significativa mudança evidencia como a consideração e responsabilidade com a segurança ocupacional mudou e evoluiu, dando maior ênfase à colaboração contínua de todos os níveis hierárquicos dentro da organização.

Da mesma forma como os funcionários de todos os níveis hierárquicos passaram a ter uma participação de destaque na nova norma, o comprometimento dos funcionários de níveis superiores também mudou, passando a ter um foco maior na participação das medidas. A ISO 45.001(ABNT, 2018) destacou a importância da participação destes funcionários com cargos que os colocam como líderes para garantir a aplicação das normas de segurança ocupacional, assim como a verificação de seu cumprimento.

Na nova norma, o aumento da responsabilidade destes funcionários com cargos superiores não se restringiu apenas a executar e ajudar na aplicação das medidas de segurança estabelecidas, mas se estendeu ainda a sugerir que tomassem um papel maior e mais ativo na aplicação e na criação do ambiente de trabalho seguro. Há o encorajamento da participação de forma proativa, encontrando possíveis riscos e levando-os à tona para que fossem discutidos e verificados, bem como se dá a participação dos demais funcionários.

Sendo assim, os líderes deveriam estar mais envolvidos com todo o processo de segurança dentro de suas organizações, recebendo maior responsabilidade quanto aos resultados obtidos através das medidas de segurança utilizadas.

A norma propõe ainda a constante verificação do desempenho das medidas aplicadas por parte dos líderes de suas respectivas organizações, avaliando de forma contínua sua eficácia e sugerindo e aplicando mudanças quando necessário. A conformidade com as normas é promovida nesta abordagem, ao mesmo tempo que reforça que promove a melhoria constante e contínua das medidas de segurança.

Portanto, houve um avanço significativo com a participação de colaboradores desde a OHSAS 18.001(BSI, 2007), como a ISO 45.001(ABNT,

2018) mostrou. A forma como o foco se tornou maior com o comprometimento da liderança e da participação proativa dos funcionários representou o avanço da maneira como a segurança é vista., ajudando a criar um ambiente mais seguro, com uma gestão de segurança melhor e participativa.

5.2 Análise dos casos e identificação de padrões

A análise dos estudos de casos I, II e III foram focados no entendimento dos laudos oficiais encontrados em reportagens e de informações deles.

O estudo de caso I se deu de forma mais detalhada, dado o tempo do acidente e as informações obtidas. O Laudo inicial fornecido pela prestadora de serviços de manutenção testou a boa qualidade dos seus serviços, laudo este exposto na Figura 14. Além disso, documentos apresentados junto à Prefeitura confirmaram a responsabilidade técnica de manutenção preventiva recente.

Posteriormente, foi apontado através dos laudos periciais oficiais que foram identificados indícios de possíveis equívocos quanto aos procedimentos de fabricação do elevador e falhas de manutenção, sem detalhamentos a mais sobre as circunstâncias (Santa Portal, 2021).

O motivo do acidente, como comprovado após algum tempo, foi o rompimento de uma placa metálica do sistema de amortecimento do elevador. Foi relatado em Santa Portal (2021) que houve uma primeira queda, do nono para o sétimo andar, momento este em que o sistema de segurança, mais provavelmente um dos freios de emergência acionado por um limitador de velocidade, foi acionado. Infelizmente, após a primeira queda, o elevador caiu de forma descontrolada até atingir o poço do elevador.

Técnicos que estiveram presentes no local, acionados diante do acidente, afirmaram que não houve qualquer rompimento dos cabos de aço. Fotos obtidas no local demonstraram o tamanho do impacto, o amortecedor rompeu a parte inferior da cabina, adentrando o espaço destinado aos passageiros com extrema força.

No estudo de caso I, podemos considerar como causa da falha a fadiga mecânica, um fenômeno causado por esforços repetitivos em materiais submetidos a cargas dinâmicas. Esse tipo de desgaste ocorre quando tensões cíclicas provocam microfissuras, que se expandem ao longo do tempo, comprometendo a resistência do material até levar à ruptura completa. No caso analisado, o componente afetado fazia parte do sistema de amortecimento, e a ausência de inspeções regulares foi um fator determinante para o acidente.

A aplicação de normas técnicas, como a ABNT NBR 8.800:2024, que estabelece diretrizes para projetos e ensaios em estruturas metálicas, poderia ter prevenido a falha. Inspeções periódicas, incluindo ensaios por ultrassom ou análise visual, possuem papel chave na detecção de fissuras em fases iniciais. O caso evidencia a necessidade de manutenção preditiva e alinhamento com padrões normativos, reforçando a importância de práticas preventivas na segurança de sistemas de elevadores.

O estudo de caso II necessitou de uma pesquisa mais extensa. Buscando maior credibilidade quanto aos motivos exatos dos acidentes, foram utilizados sites de empresas de elevadores e blogs das mesmas onde foram pontuadas as principais causas para determinados acidentes acontecerem (CREL Elevadores, 2024) (ESPEL Elevadores, 2024). O estudo de caso II pode ser encaixado nesta categoria de estudo como desnível da cabina com o pavimento, o que causou a queda.

Para este estudo o desnível foi entendido como a incompatibilidade de altura da cabina com o pavimento pelo fato de a localização da cabina ser diferente do andar onde as portas estavam abertas, não pela formação de um degrau ou pequeno vão como é relatado na maioria dos casos em que o problema é relacionado a falta de alinhamento entre a cabina e o pavimento.

De acordo com a NBR NM 207, o desnível máximo permitido para elevadores chega apenas a 10 mm, não sendo aplicável ao caso. Em outros casos houve detecções de desníveis superiores a 35 mm, ainda chamadas de desnível, possivelmente causados por falhas no freio e nos sensores. Neste tipo de caso, cabe a aplicação da ABNT NBR 5665 com ajustes regulares e ações afirmativas de manutenção para garantir o alinhamento e prevenir acidentes.

Entretanto a falta de efeitos sonoros e sinalização adequada vai além da manutenção, podendo ser acrescido ainda o erro humano pela falta de placas sinalizando este problema quando a manutenção ainda não havia sido realizada.

Além da falta de alinhamento, estando a cabina em um andar não relatado através das informações obtidas, as portas encontravam-se abertas, indo contra a própria forma de segurança que estipula que devem permanecer fechadas até o momento em que a cabina estiver no andar.

Segundo a DW Elevadores (2024), falhas em portas de elevadores podem ser evitados com a manutenção adequada, citando ainda que, um possível motivo para a falha seria uma “[...] das panes nos sensores que identificam as pessoas que vão entrar e sair do equipamento”. Sendo assim, este foi um agravante ligado a manutenção neste caso.

Na época do acidente, o advogado do estacionamento se pronunciou: “Temos manobristas para fazer todo o trajeto, no elevador, até o estacionamento do veículo. A orientação é parar o veículo, há um pare com antecedência no elevador. Mas a orientação é aguardar o manobrista, e vamos analisar as respectivas responsabilidades”.

Com a declaração apresentada um novo ponto de estudo sugere que a sinalização, apesar de presente, não foi suficientemente adequada para impedir que tal acidente ocorresse.

O estudo de caso III teve as informações oficiais obtidas através do Portal De Notícias Do Estado Da Bahia e do Sindicato Nacional Dos Auditores Fiscais do Trabalho.

Segundo ambas as fontes, o motivo do acidente foi falta de manutenção preventiva e falta de qualificação técnico por parte das pessoas responsáveis pela manutenção do elevador.

Segundo o site SINAIT (2011), “Os Auditores-Fiscais apontaram problemas de caráter operacional e organizacional.”

As informações retratadas por ambas as fontes foram obtidas de um documento elaborado pela Coordenação de Engenharia Legal do Departamento de Polícia Técnica (DPT). O documento apontou uma ausência considerável de

manutenção preventiva no guincho e no sistema de freio de emergência o que, neste caso, afetou diretamente na fatalidade. O sistema de freio de emergência é projetado para atuar em situações de queda livre ou excesso de velocidade. Ele utiliza excêntricos para pressionar os trilhos da cabina, desacelerando o movimento, e sensores que acionam o mecanismo em caso de irregularidades. No entanto, o correto funcionamento desse sistema depende de manutenção regular e inspeção de componentes críticos, como os excêntricos.

Além disso, a roldana que sustentava o cabo do elevador apresentava sinais de desgaste e corrosão. No caso do freio de emergência, o desgaste do excêntrico foi determinante para sua falha. O excêntrico, peça essencial no acionamento do sistema de frenagem, apresentou desgaste excessivo e falta de lubrificação. Isso comprometeu seu movimento preciso e agravou o atrito, acelerando a deterioração.

Segundo os Auditores do Ministério do Trabalho, uma das peças de sustentação da roldana teria se rompido, provocando a queda de aproximadamente 80 metros, enquanto o sistema de freios falhou.

Os sinais de negligência foram investigados, e o documento concluiu que os responsáveis não tinham a qualificação adequada para prestar os serviços, nem seguiam normas técnicas e de segurança da época.

Segundo a DW Elevadores (2024), a degradação das roldanas acontece de forma natural conforme o uso do elevador é cada vez mais constante, entretanto, manutenções regulares seriam as responsáveis pela verificação das condições de uso e de desgaste. A observação e cuidado constantes teriam apontado o momento mais adequado para a substituição da peça. Confirmando assim a falta de manutenção.

Para evitar falhas semelhantes no futuro, é recomendável a aplicação de ensaios não destrutivos (END) como parte das manutenções preventivas. Métodos como inspeção visual detalhada, ensaios por ultrassom ou técnicas de partículas magnéticas podem ser empregados para identificar desgastes e fissuras em componentes críticos, como roldanas, eixos e excêntricos.

Este estudo de caso, em específico, ressalta como a falta de manutenção é a causa de acidentes. A corrosão, mesmo no começo, poderia ter sido detectada a olho nu, entretanto, a falta de manutenção se deu por um tempo prolongado, afetando tanto as peças e componentes do elevador que, há altura do acidente, já estavam tomados pela corrosão, enfraquecendo esses componentes tão essenciais para a segurança. Além da corrosão, a falta de cuidados e de lubrificação agravou o desgaste natural das peças, novamente, as tornando mais frágeis.

Segundo COUTINHO (2012), na página 71, baseando-se no que foi verificado pelos auditores do MTE “foram três as causas principais que levaram a queda do elevador: a fratura do eixo do carretel do guincho, o não funcionamento do freio de emergência e deficiência de gestão de segurança.”

Ainda segundo COUTINHO (2012), páginas 71 e 72,

O fatores que contribuíram para a ocorrências desses três fatos identificados foram: a) a fratura do eixo do carretel do guincho: falta de manutenção e inspeção dos eixos do guincho. As características da superfície fraturada evidenciaram que o eixo fraturou devido à fadiga. A fadiga é um tipo de desgaste que ocorre em estruturas sujeitas a cargas dinâmicas e oscilantes, gera uma redução da capacidade de carga do componente pela ruptura lenta do material, consequência do avanço quase infinitesimal das fissuras.

b) não funcionamento do freio de emergência: desgaste do excêntrico do freio de emergência, falta de programação de manutenção preventiva; presença de graxa nos cabos de freios, não verificação da eficiência do freio de emergência.

c) deficiência na gestão de segurança do elevador: falta de livro de inspeção do elevador, falta de indicação do número máximo de passageiros e peso máximo equivalente, falta de aterramento elétrico do elevador; acesso precário à cabine do elevador; burla do dispositivo de segurança da cancela; pavimentos sem cancela que impedisse o acesso a torre do elevador; falta de vistoria diária no elevador de transporte de pessoas e falta de qualificação do operador.

O estudo de caso IV foi amparado por reportagens e relatos de pessoas que estava no local do acidente. Segundo o apontado, o acidente foi causado pela queda e posterior descarrilhamento da porta do elevador.

Denúncias anteriores de problemas com as portas do elevador em questão já haviam sido feitas mas o problema foi dito como sendo recorrente pelo presidente da Comissão de Saúde da Câmara, mencionando ainda que a reforma do prédio, já antigo, precisava ter sido feita.

Segunda a DW Elevadores (2024), falhas em portas de elevadores podem ser evitados com a manutenção adequada, como já mencionado anteriormente. Sendo assim, é possível considerar este como uma das causas do acidente.

Portas de elevadores são conhecidas apenas por permitir a passagem para o interior da cabina, entretanto, muito se falha em entender como a manutenção adequada desta parte tão fundamental em um elevador pode causar um acidente.

O estudo de caso V ainda não apresentava um laudo oficial noticiado. Entretanto, foi apontado que dos 6 elevadores presentes no prédio onde aconteceu o acidente deste estudo de caso, apenas 2 estariam em funcionamento em outubro de 2024. Dois seriam muito antigos e nunca foram trocados, o terceiro é referente ao acidente estudado e o quarto permanece parado por falta de peça compatível.

O acidente aconteceu quando o sistema do elevador ultrapassou o último andar do edifício e atingiu o teto, causando um impacto. A retirada da funcionária da cabina foi feita através de “uma abertura usada em casos em emergência” (G1, 2024).

Na data, foi anunciado pelo Crea que a empresa responsável pela manutenção estava regularizada. As reportagens citavam, também, que a última manutenção havia acontecido no mês de abril devido a um problema técnico não detalhado.

As condições do prédio em questão e do funcionamento geral dos elevadores levam a crer que uma falha de manutenção possa ter causado o acidente. Comumente, para evitar este tipo de acidentes elevadores algumas precauções são consideradas como: o uso de amortecedores colocados como mecanismos físicos no último andar para evitar maiores gravidades caso o impacto aconteça e o Sistema de Controle Eletrônico que possui sensores e comandos que monitoram e controlam ativamente o posicionamento da cabina.

Neste sistema está presente um limitador de viagem, atuando para funcionar com um “curso de viagem definido”, ou seja, com uma distância máxima preestabelecida, muitas vezes utilizando a altura do edifício ou a

quantidade de andares como limitador para a distância a ser percorrida pelo elevador. No caso do acidente em questão, este sistema teria funcionado para impedir a colisão pois teria como predeterminação o máximo que poderia ter percorrido, pouco abaixo do teto do último andar, por exemplo, durante a subida e o primeiro piso, por exemplo, durante a descida.

Foi mencionado pela Secretaria de Fazenda do Estado do Rio de Janeiro que tais precauções, não mencionadas especificamente, impediram que o acidente se desse com maior gravidade.

O estudo de caso VI foi o que mais demandou pesquisas. Por se tratar de uma queda, o estudo partiu do princípio de que não houve rompimento de cabos, já que este motivo é extremamente raro e mais comumente noticiado seguido de acidentes com aviões, como foi o caso do elevador do Empire State Building que despencou quando foi atingido por um avião em 1945.

Como observado na Figura 18, o equipamento realmente havia passado por manutenção na semana do acidente, na qual, foi identificado o que a correia do operador de porta estava solta.

No entanto, a administração do prédio afirmou que o problema encontrado não possui relação com a queda do elevador.

A correia do operador de porta é um componente presente no funcionamento do sistema de abertura e fechamento das portas da cabina ou nos andares de acesso ao elevador. Seu acionamento está diretamente ligado ao motor. Ela é o ligamento entre o motor e as portas, fazendo a transmissão do movimento rotacional do motor até as portas para que as portas possam abrir e fechar de forma automática em cada andar.

Feita de borracha ou poliéster, a correia geralmente é ajustada de acordo com a tensão necessária, garantindo que não esteja frouxa demais, o que poderia causar algum desligamento e, portanto, falha na abertura das portas, ou apertada demais, o que causaria um desgaste excessivo e prematura necessidade de troca.

Nos casos analisados, vemos que a manutenção regular, apesar de ser realizada de forma contínua, não foi suficiente para evitar falhas específicas em

alguns equipamentos como observados nos Casos I e VI. Tal fato mostra que, ao identificar qualquer tipo de falha, é crucial agir rapidamente para corrigi-la.

Outro ponto importante é o impacto das falhas técnicas e materiais (Casos I, III e IV). Quando componentes essenciais, como placas metálicas ou eixos, se rompem, isso pode gerar consequências sérias, como vimos nos acidentes. Por isso, é fundamental que as manutenções não se limitem apenas à verificação superficial. Deve-se fazer uma análise mais profunda das condições estruturais e dos materiais, especialmente em peças que estão constantemente sujeitas ao desgaste.

A negligência operacional e a falha na gestão de segurança foram identificadas como causas comuns nos Casos II e III. A ausência de sinalização adequada, a falta de qualificação técnica dos operadores e a deficiência nas práticas de segurança foram fatores que contribuíram diretamente para os acidentes. Isso deixa claro que, além da manutenção, é essencial garantir treinamentos contínuos e que as normas de segurança sejam seguidas à risca.

Falhas humanas e problemas com os sistemas de controle também foram observados nos casos II, V e VI. Em algumas situações, erros na operação ou falhas nos sistemas, como desníveis na cabina e sensores defeituosos, aumentaram o risco de acidentes. Isso nos mostra que os sistemas automatizados devem ser projetados para garantir redundâncias, a fim de minimizar os impactos de falhas humanas ou operacionais.

Além disso, em alguns casos, a decisão de não substituir componentes críticos, como roldanas ou correias desgastadas, foi fator determinante para a falha nos casos III e VI. Portanto, quando houver sinais de desgaste em peças essenciais, a substituição deve ser feita de imediato, visando garantir a segurança do sistema.

Por fim, as conclusões extraídas desses seis casos nos mostram que a manutenção preventiva, sozinha, não é suficiente para garantir a segurança dos elevadores. É fundamental corrigir as falhas assim que forem identificadas, fazer a substituição preventiva de componentes críticos, oferecer treinamentos adequados e garantir uma gestão de segurança eficiente. Além disso, sistemas de controle precisam ser bem projetados e ter redundâncias para evitar falhas

operacionais. Qualquer negligência em qualquer uma dessas áreas pode resultar em acidentes graves, como os que foram analisados.

5.3 Análise de falhas e ferramentas de manutenção

No contexto da engenharia voltada para manutenção, analisar dados de operação tornou-se com o passar do tempo uma ferramenta essencial para detecção antecipada de falhas e otimização da confiabilidade de sistemas como um todo. Neste estudo, foi buscado a incorporação de análises de dados reais provenientes de sensores acoplados a um sistema de elevador, buscando o reforço da abordagem técnica e oferecendo uma análise quantitativa quanto à avaliação de falhas.

Os gráficos obtidos com o uso do código do MatLab estão representados nas Figuras 19 a 40, cada um teve como base diferentes variáveis.

O Tempo exibe de forma constante o momento exato da leitura dos sensores.

A Temperatura, tratada em Graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), refere-se à temperatura interna do motor, do quadro de comando, ou de componentes internos e mecânica do elevador.

A Umidade, tratada em porcentagem (%), refere-se à umidade relativa do ambiente onde o motor e o quadro de comando estão em operação.

A RPM, ou rotações por minutos, refere-se à velocidade de rotação do motor ou do conjunto mecânico conectado ao movimento do elevador.

As Vibrações, tratadas por unidade arbitrária (m/s^2 ou valor normalizado), refere-se à vibração dos componentes do elevador, como eixo do motor, polias, guias ou cabos.

E a Pressão, tratada em unidade arbitrária, como bar ou psi, refere-se à pressão nos sistemas hidráulicos ou pressão que se acumula em freios ou sistemas pneumáticos auxiliares.

Cada sensor ficou responsável por monitorar uma variável dentro do elevador.

- O sensor 1 foi responsável pelo monitoramento da corrente utilizada pelo motor, verificando esforço excessivo ou inferior ao esperado.
- O sensor 2 foi responsável pelo monitoramento do torque aplicado ao eixo de tração.
- O sensor 3 foi responsável pelo monitoramento da aceleração lateral, ou seja, dos movimentos de oscilações do elevador, muitas vezes causados por desalinhamentos.
- O sensor 4 foi responsável pelo monitoramento do posicionamento ou velocidade instantânea da cabina, ou carro, do elevador.
- O sensor 5 foi responsável pelo monitoramento da vibração vertical, resultantes em pulsos ao transpor emendas ou desníveis nas guias do elevador.
- O sensor 6 foi responsável pelo monitoramento da tensão proveniente da rede de alimentação.

Para as Figuras 19 a 40, cujos gráficos analisam a Comparação Direta Normal vs Problema, a Frequência normalizada exibida e compreendida se dá como a proporção de amostras daquele sensor específico, não a contagem absoluta, desta forma, mesmo os grupos de estudo com menos dados podem ser estudados e comparados de forma justa.

Cada um destes sensores foi utilizado para compreender como as falhas decorrem e como seu monitoramento e detecção podem ser antecipados à falha.

Na Figura 19 referente à análise direta da umidade relativa foi observado que a operação se manteve, em grande maioria, entre valores de umidade de percentil 60 a 80% de umidade relativa, na qual, os pontos problemáticos se resumem a uma umidade de 65%, e pontos de problemas esporádicos e incomuns entre 70 e 80%.

Não é possível concluir que esse valor de umidade seja crítico por si só, mas pode-se inferir que não houve números significativos de problemas com valores superiores nem inferiores de umidade.

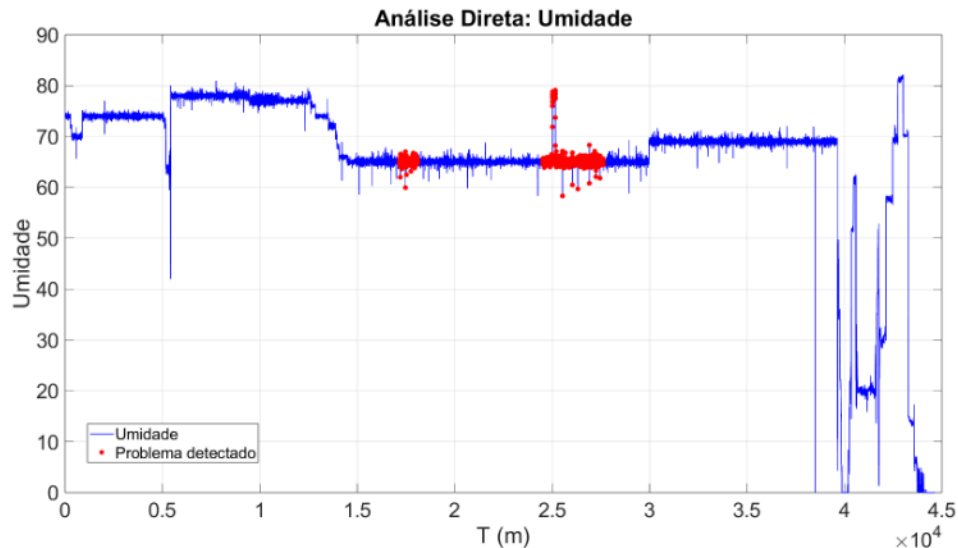


Figura 19: Gráfico de Análise Direta da Umidade

Fonte: Autores

Na Figura 20 referente à análise direta da pressão foi observado que os valores de pressão oscilaram entre 70 e 80 (valor arbitrário), e não houve mudanças significativas na pressão nas regiões de falha, apenas leves alterações na região imediatamente antes dela.

Um comportamento anormal nos últimos 5000 pontos de operação (também percebido nas curvas de umidade) foi observado, porém não, por si só, não foi possível concluir que seja a causa da falha.

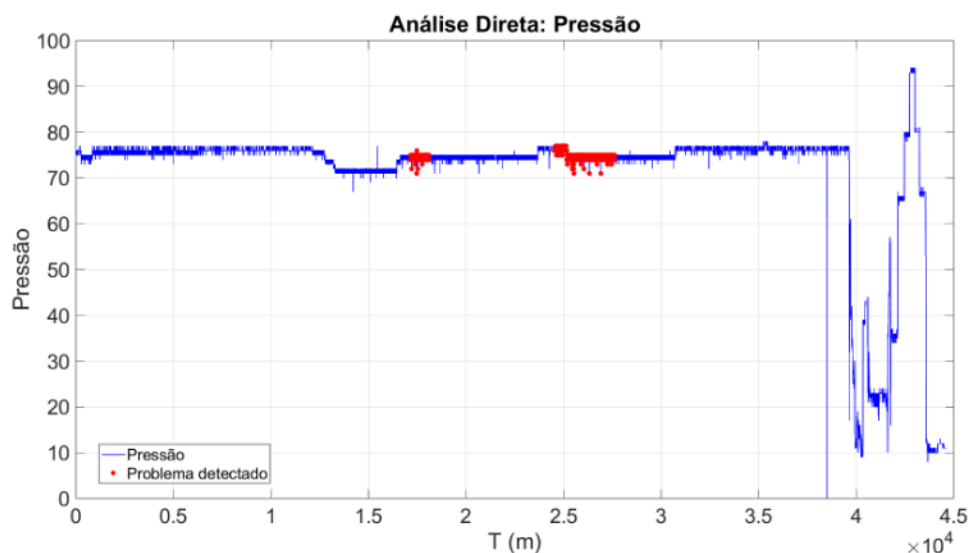


Figura 20: Gráfico de Análise Direta da Pressão

Fonte: Autores

Na Figura 21 referente à análise direta das rotações por minuto foi observado de maneira imediata que as regiões problemáticas caracterizam valores em queda em relação à rotação do motor.

Entretanto, não é correto afirmar que a queda de RPM ocasionou o problema por si só. Fica entendido que, na verdade, quando o Sistema falha, a rotação diminui ou se torna nula, ou imperceptível perante o sensor, como consequência dela, ou seja, o motor pode ter parado seu funcionamento em virtude da falha.

Existe um pequeno intervalo no qual se encontrou falha com valores máximos de RPM. Esse ponto em questão deve ser analisado para buscar correlação com outros parâmetros.

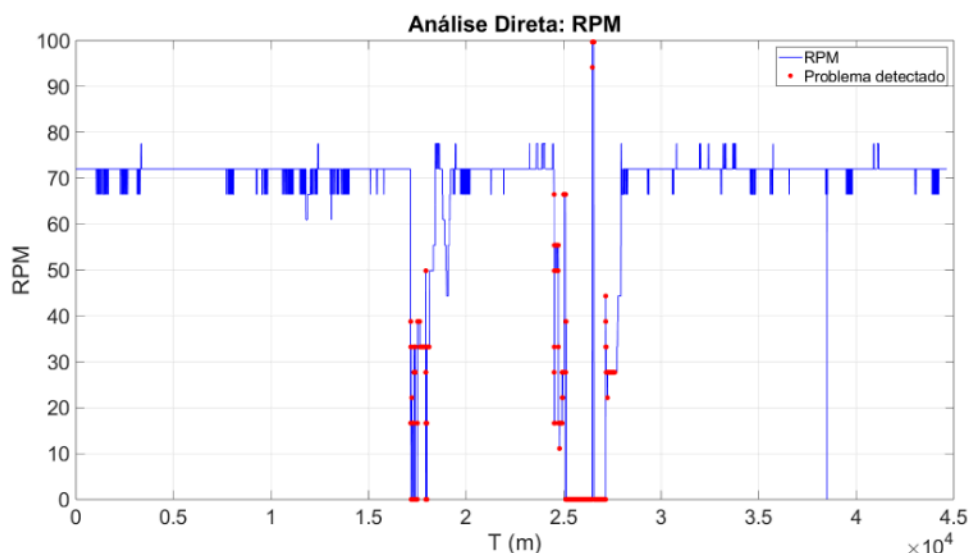


Figura 21: Gráfico de Análise Direta de RPM

Fonte: Autores

Na Figura 22, referente à análise direta da temperatura, foi observado que a ocorrência de problemas se deu em temperaturas extremamente baixas, em sua maioria, e, pontualmente, em pontos de temperatura baixa, estes problemas se destacam por serem característicos do uso com temperaturas incorretas de trabalho.

Habitualmente, a temperatura de trabalho do elevador em ambiente comum fica em torno de 33°C, podendo trabalhar em outras circunstâncias mediante

ajuste de trabalho, como escolha de lubrificantes e materiais condizentes com a temperatura baixa ou alta demais.

No caso do gráfico os problemas foram encontrados majoritariamente nos momentos de temperaturas muito baixas, além de casos pontuais entre 5°C e 25°C, tais problemas podem ser oriundos de contrações de material ou possível congelamento de lubrificantes, assim como falhas nos sensores ou na ventilação.

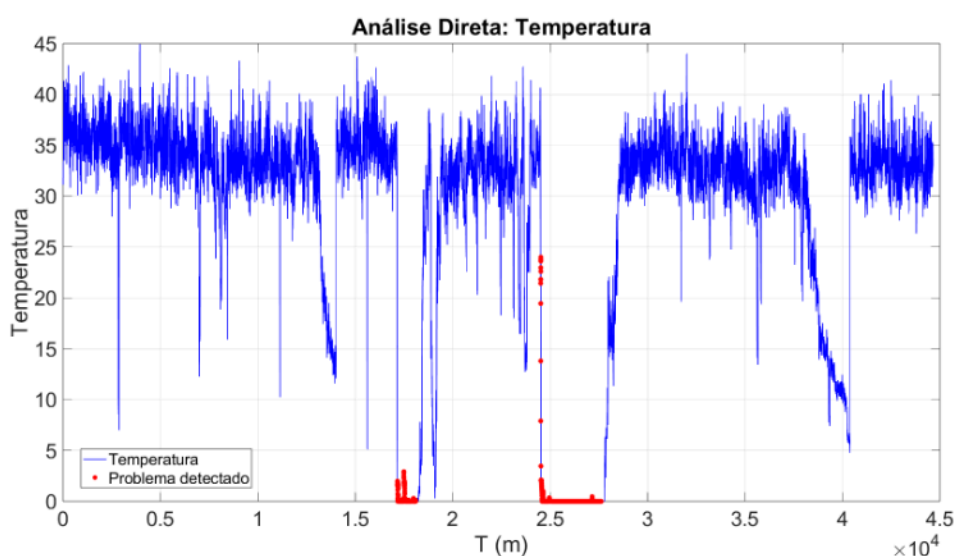


Figura 22: Gráfico de Análise Direta da Temperatura

Fonte: Autores

Na Figura 23 referente à análise direta da vibração foi observado que há a indicação de pontos de problema onde as vibrações foram baixas ou nulas. As vibrações são comuns e esperadas no uso de elevadores, portanto sua ausência pode indicar problemas.

O decréscimo abrupto das vibrações, como visto no gráfico, pode indicar falhas ou desgastes em componentes como roletes, causando absorção de vibrações por componentes não preparados para isso.

O problema, apesar de explicável por conta própria, pode estar correlacionado com outras causas a serem investigadas.

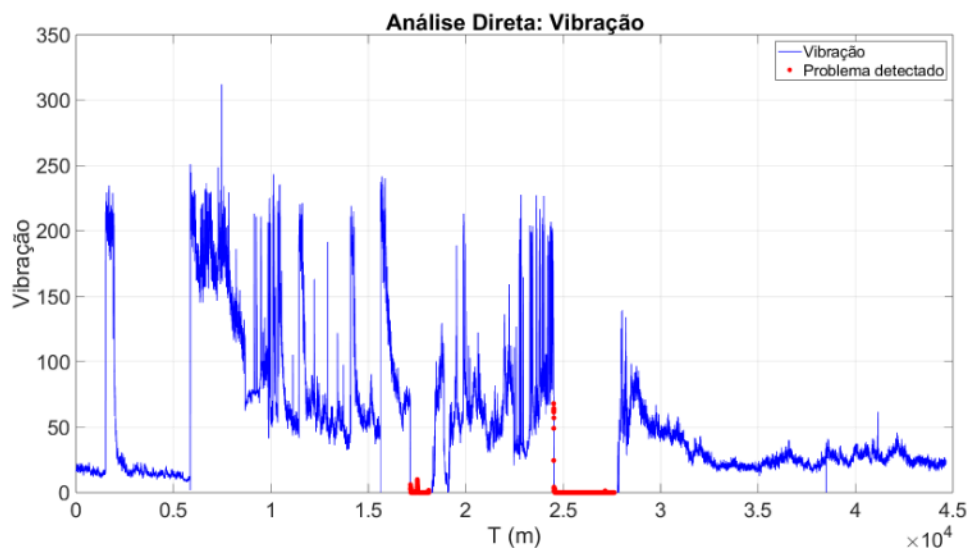


Figura 23: Gráfico de Análise Direta da Vibração

Fonte: Autores

Na Figura 24 referente à análise direta do sensor 1 foi observado que nas regiões críticas de falha, ou seja nos pontos vermelhos, os valores de corrente caem abruptamente para quase zero. Isso pode sugerir que, como foi visto anteriormente, nestes momentos o motor deixou de consumir energia, o que provavelmente ocorreu após a falha.

Entretanto, na região imediatamente antes da segunda zona de falha, foi observado que as medições de corrente oscilam de maneira violenta, o que pode significar esforço excessivo do sistema.

Desta forma, o monitoramento deste sensor pode ser utilizado como preditivo de falha, pois pode ser um indicador de iminência de falha, caso o sensor registre amplitudes muito elevadas em um curto espaço de tempo.

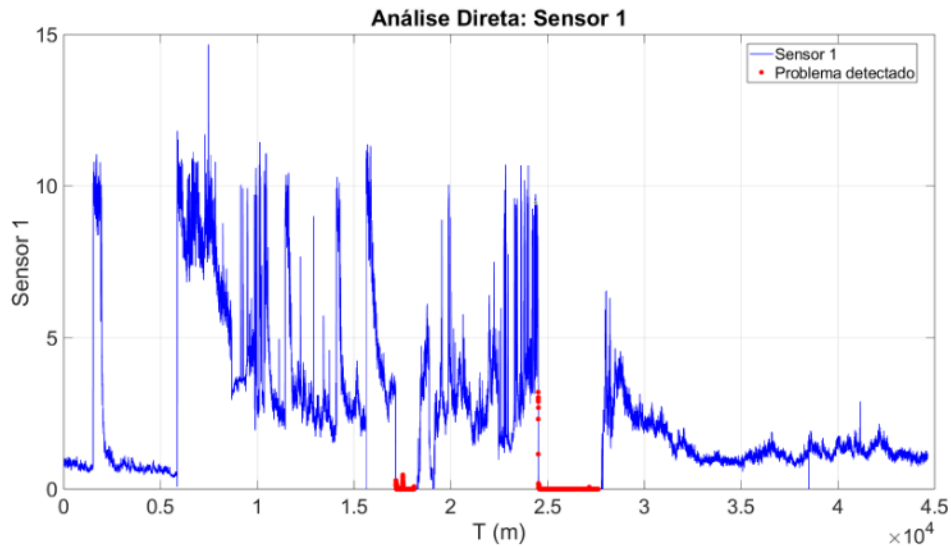


Figura 24: Gráfico de Análise Direta do Sensor 1

Fonte: Autores

Na Figura 25 referente à análise direta do sensor 2 foi observado que, como visto em gráficos anteriores, as medições apresentaram inconstância nos últimos 5 mil pontos de análise.

Porém, nas duas faixas de falhas, esse sensor parou de registrar pontos. Esta ocorrência impossibilita a tirada de conclusões úteis e concretas sobre o modo de falha e como esta se deu, visto que, sem todos os dados pertinentes para o estudo, qualquer conclusão pode ser precipitada. Fora das regiões de falha, os pontos operacionais estão dentro do esperado, havendo apenas pequenas flutuações nas regiões antecedentes às falhas.

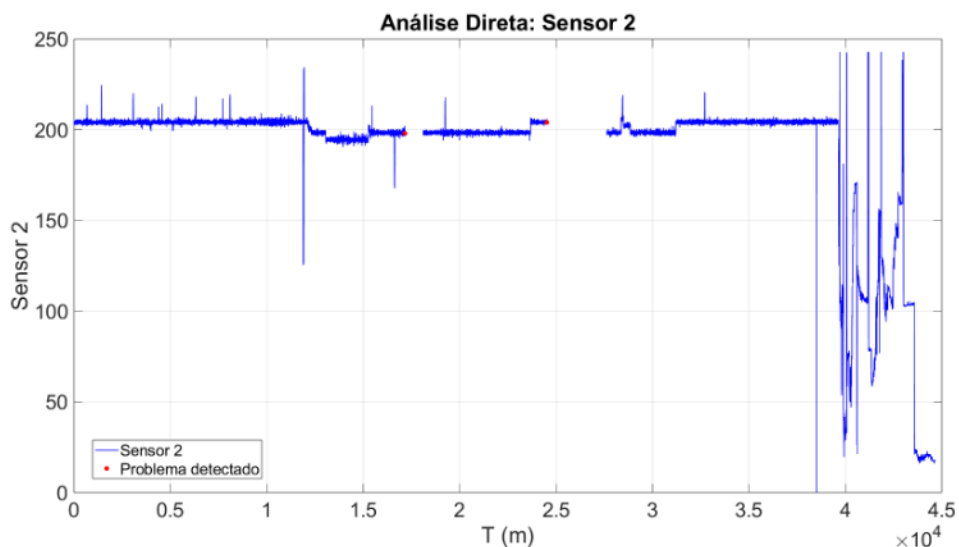


Figura 25: Gráfico de Análise Direta do Sensor 2

Fonte: Autores

Na Figura 26 referente à análise direta do sensor 3 foi observado que o comportamento foi estável na maior parte da operação, com valores entre 0,2 e 1,0, com uma certa uniformidade nas amplitudes.

Entretanto, antes dos dois intervalos críticos, nota-se um pico agudo de aceleração lateral, seguido de uma queda sustentada. Isso sugere que o sistema sofreu algum evento de instabilidade lateral significativa, que pode ter gerado estresse estrutural ou desalinhamento no carro do elevador.

A análise em conjunto com o Sensor 5, de vibração vertical, reforça a possibilidade de falha mecânica estrutural progressiva.

Sendo assim, o sensor 3 possui potencial preditivo, sendo um excelente candidato a ser monitorado continuamente para antecipar desalinhamentos ou desgaste nas guias.

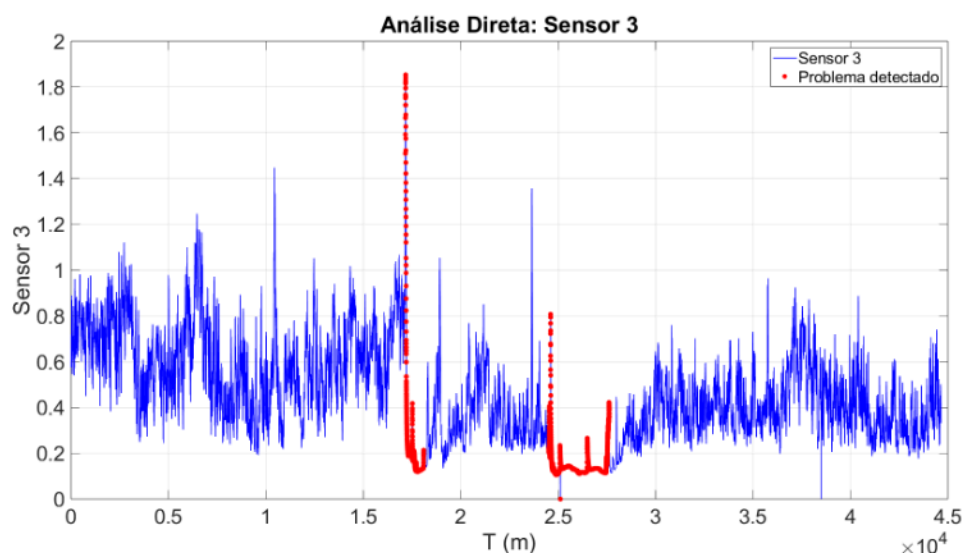


Figura 26: Gráfico de Análise Direta do Sensor 3

Fonte: Autores

Na Figura 27 referente à análise direta do sensor 4 foi observado que diferente da hipótese anterior na qual observava-se queda acentuada de movimento, o gráfico do Sensor 4 mostra que nas regiões críticas, os valores não zeram ou sofrem oscilações significativas, mas se mantêm constantes, seguindo o padrão de fora das zonas de falhas, sugerindo que o carro esteja em uma posição fixa. Ou seja: o elevador não perdeu leitura, mas ficou estático nesses pontos.

Observa-se que não houve erro no sensor, e que o carro manteve uma movimentação comum durante as falhas.

Essa estabilização vem de encontro com o colapso registrado nos sensores de RPM, corrente e torque, indicando que o motor parou e por consequência o carro ficou parado, como esperado.

Isso mostra que o Sensor 4 confirma a falha, mas não a antecipa, podendo agir como indicador pós-evento ou para análises de sequência de operação.

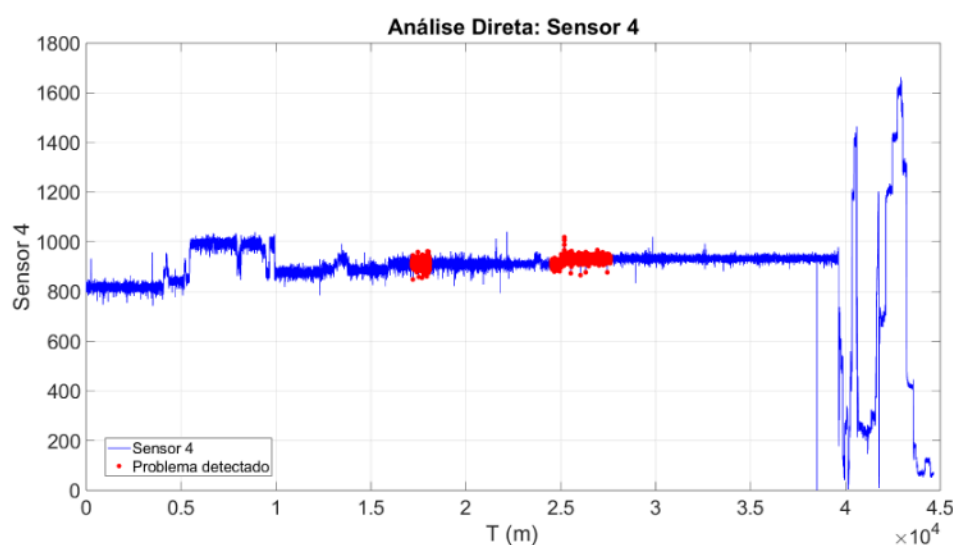


Figura 27: Gráfico de Análise Direta do Sensor 4

Fonte: Autores

Na Figura 28 referente à análise direta do sensor 5 foi observado a vibração ocorre praticamente de forma constante e elevada, mas com quedas abruptas e até zonas de zero ou nulas em suas regiões críticas.

Em primeira análise, tal fato é contraintuitivo, pois espera-se que a vibração aumente em caso de falhas, porém, no modelo estudado, ela desaparece. Isso pode indicar que o sensor perdeu contato físico com o sistema, que o carro parou por completo (pois se não há vibração, não há movimento) ou que ocorreu um desligamento forçado.

Comparando com o Sensor 3, percebe-se que ambos registram eventos abruptos imediatamente antes da falha, sugerindo desgaste mecânico ou problemas físicos na estrutura (guias, trilhos, buchas).

Portanto, o Sensor 5 também tem potencial preditivo, especialmente quando combinado com o sensor de aceleração lateral.

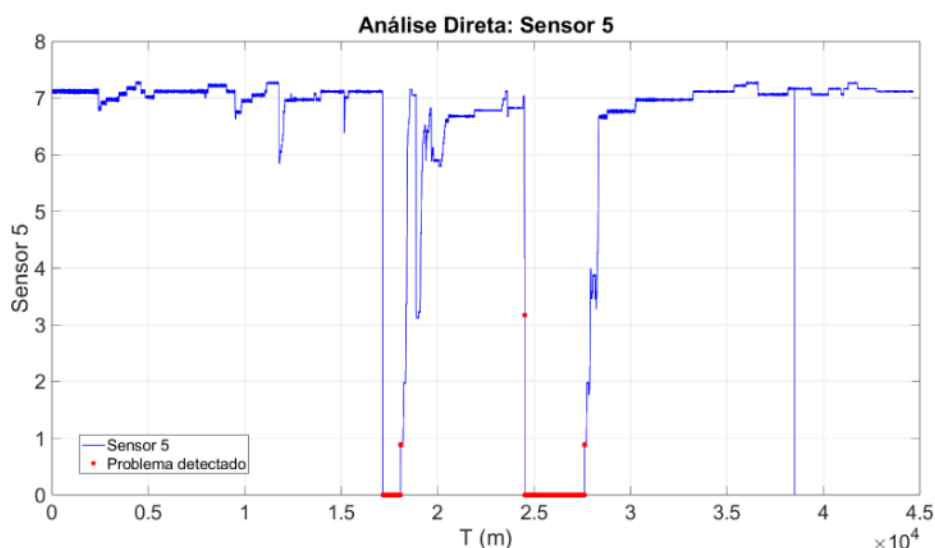


Figura 28: Gráfico de Análise Direta do Sensor 5

Fonte: Autores

Na Figura 29 referente à análise direta do sensor 6 foi observado as falhas foram majoritariamente precedidas por grandes quedas ou picos na tensão da rede de alimentação. Comumente quedas ou picos na alimentação podem sugerir problemas elétricos que causam problemas graves como falhas totais, necessitando atenção dobrada.

A indicação de problemas pode ser relacionada a baixa tensão fornecida pela rede externa, algo não relacionado ao funcionamento elevador, ou estar intrinsecamente conectado a outros problemas.

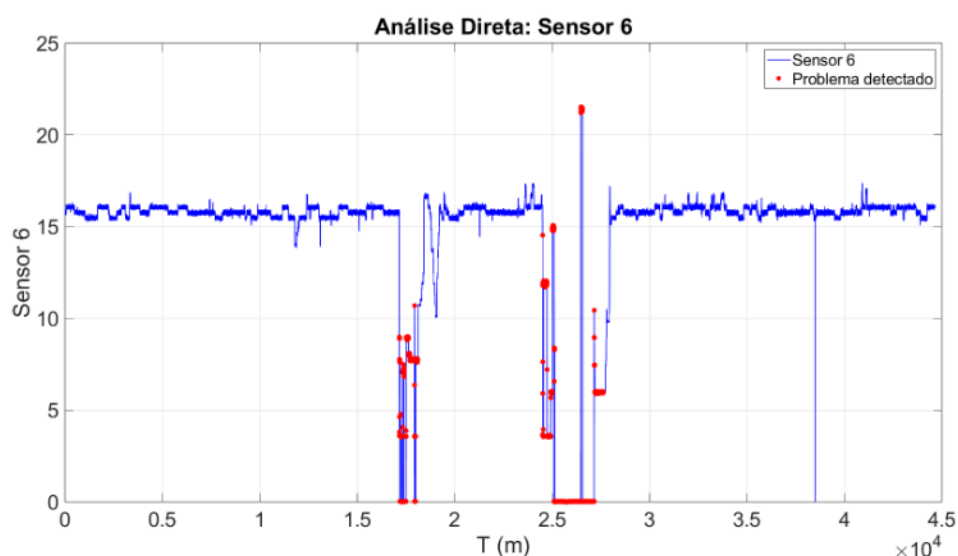


Figura 29: Gráfico de Análise Direta do Sensor 6

Fonte: Autores

Problemas como o excesso de umidade podem ser comuns no uso de elevador em países tropicais e subtropicais, controlar esta umidade é fundamental. Na Figura 30 referente à análise de Comparação Normal vs Problema da umidade foi observado a indicação de claros problemas em relação a umidades excessivas na faixa entre 60% e 70% de umidade, apresentando ainda problemas com a umidade dentro da faixa esperada.

A umidade excessiva pode causar graves problemas de corrosão em componentes metálicos, por causa disso o elevador opera em faixas específicas de umidade.

A indicação de problemas no gráfico em faixas seguras de umidade e do índice de frequência normalizada podem indicar a correlação com outros problemas detectados.

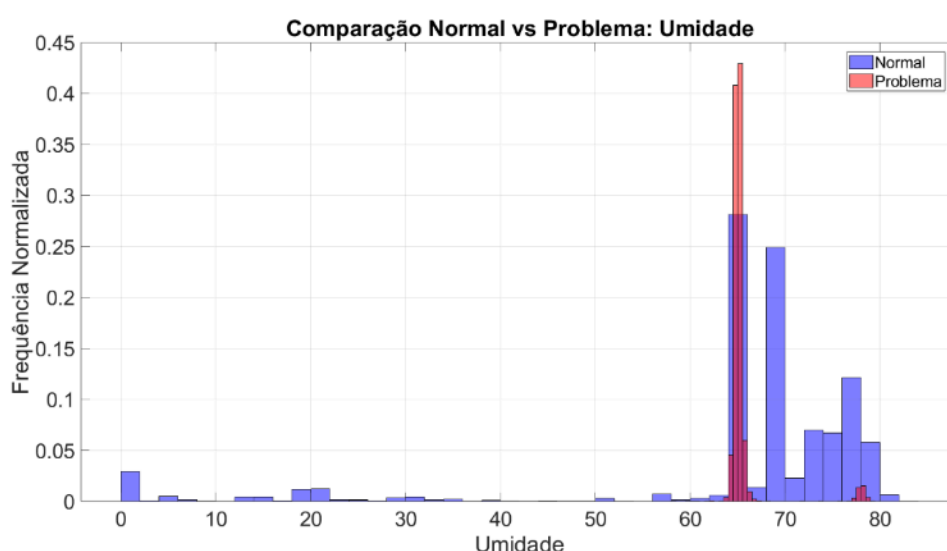


Figura 30: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Umidade

Fonte: Autores

Na Figura 31 referente à análise de Comparação Normal vs Problema da pressão foi observado que a faixa azul indica os pontos onde há uso seguro. Em determinado ponto há a indicação de anomalia com um índice de frequência normalizada muito alto, acima de todos os demais, o que pode indicar uma maior ocorrência neste ponto específico, mesmo que na faixa de uso seguro. Isso pode indicar um problema relacionado a vazamentos ou falhas de válvulas.

Nos pontos onde há a detecção de problemas em faixas de uso comum de pressão e frequência normalizada, os problemas podem estar correlacionados

com outros, não podendo inferir que o problema detectado é causado somente pela pressão.

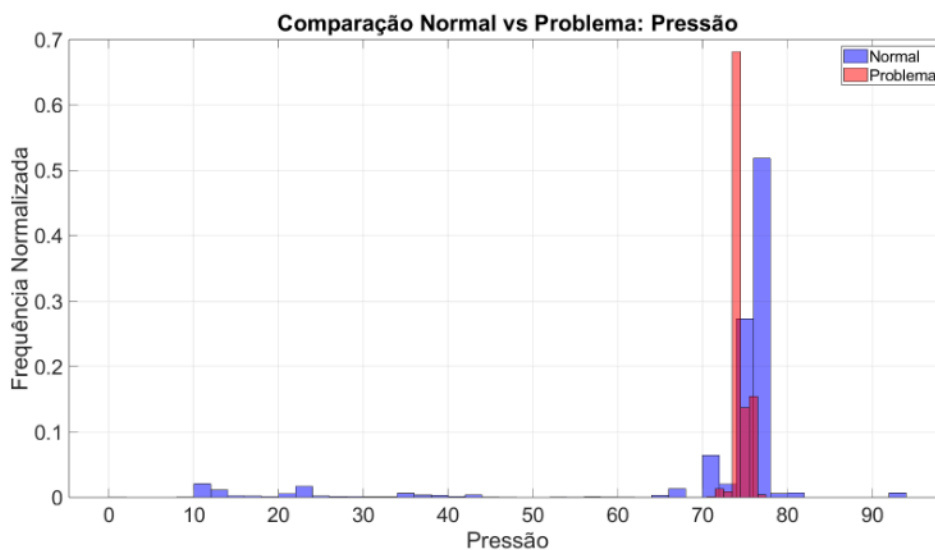


Figura 31: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Pressão

Fonte: Autores

Na Figura 32 referente à análise de Comparação Normal vs Problema da RPM foi observado que há poucas áreas de segurança de frequência e RPM, sendo a mais notável dentre elas de 72 RPMs e índice de frequência normalizada entre 0,9 e 1, maior ocorrência de problemas nesta faixa.

As demais faixas de RPM apresentam problemas, principalmente durante a condição de RPM baixo, é possível ainda notar que a partir da faixa de 72 RPMs a detecção de problemas se tornou menor e, possivelmente, mais espaçada, visto a finidade dos dados.

O gráfico evidencia que baixos RPMs podem causar problemas, causando a detecção de problemas maiores conforme a RPM é menor. A coincidência de faixas de uso de RPM com problemas pode indicar o uso incorreto do RPM no caso ou de correlação com outros problemas.

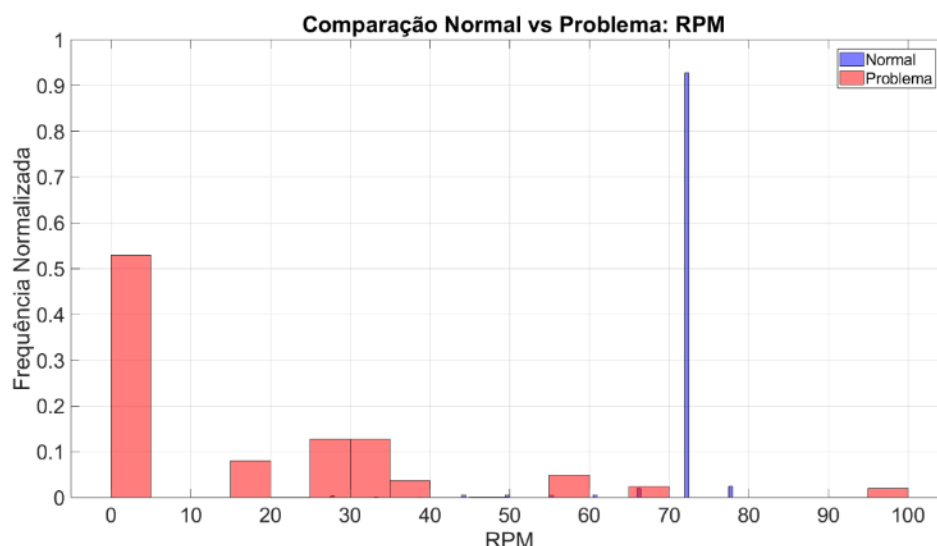


Figura 32: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: RPM

Fonte: Autores

Na Figura 33 referente à análise de Comparação Normal vs Problema da temperatura foi observado é possível verificar que o problema é detectado de forma clara quando há uma queda abrupta da temperatura, não ativando o detector de falhas tão notoriamente em outros pontos.

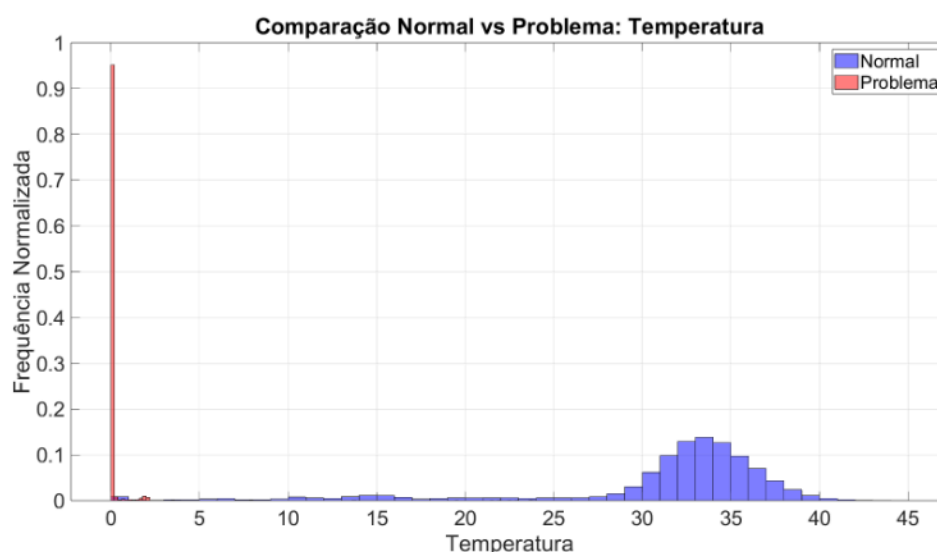


Figura 33: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Temperatura

Fonte: Autores

Na Figura 34 referente à análise de Comparação Normal vs Problema da vibração foi observado que o problema é detectado de forma clara quando há uma queda abrupta de vibrações, indicando um problema. Nos demais pontos não há detecção evidente fora do normal.

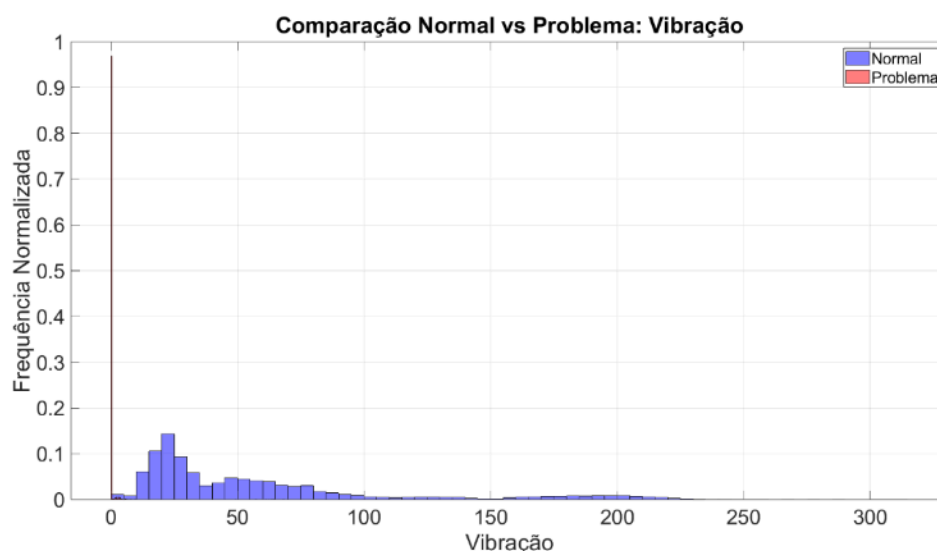


Figura 34: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Vibração

Fonte: Autores

Na Figura 35 referente à análise de Comparação Normal vs Problema do Sensor 1 foi observado que há detecção de falha somente no início, mostrando ainda um índice de frequência normalizada muito incomum e fora da faixa usada no uso comum, se aproximando de 1 enquanto o uso comum máximo é de menos de 0,2, indicando maior ocorrência de falhas naquela faixa de uso.

O sensor 1 lida com a corrente consumida pelo motor, neste caso, pode-se dizer que o problema de baixa corrente elétrica pode ter ativado a detecção do problema, podendo ainda ter maior correlação com outros problemas.

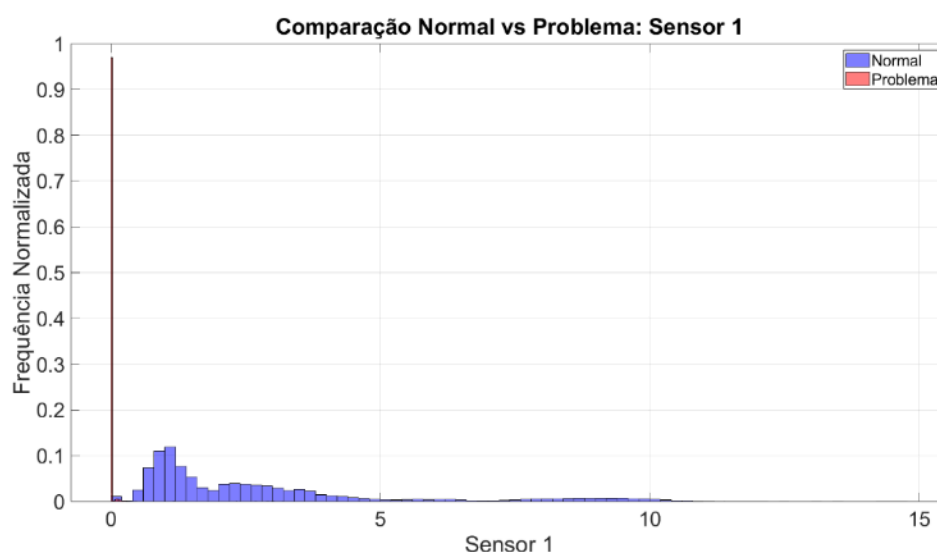


Figura 35: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Sensor 1

Fonte: Autores

Na Figura 36 referente à análise de Comparação Normal vs Problema do Sensor 2 foi observado que não foram detectadas faixas de problemas, indicando que o problema não foi, de fato, detectado ou que foi inferior ao nível de perigo esperado.

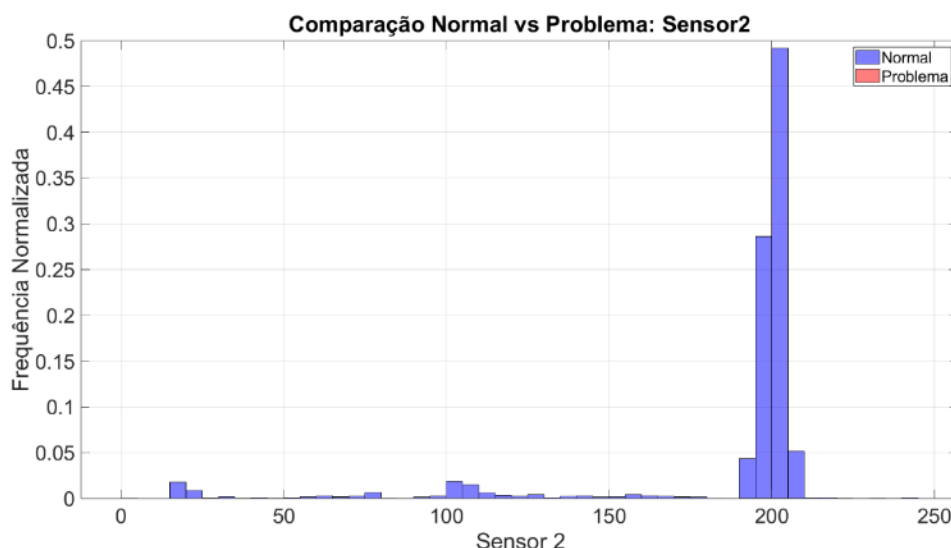


Figura 36: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Sensor 2

Fonte: Autores

Na Figura 37 referente à análise de Comparação Normal vs Problema do Sensor 3 foi observado que os problemas foram detectados no início da faixa de uso comum, exibindo frequências normalizadas muito altas, um indicativo de ocorrência alta e constante de falhas naquele ponto.

O problema continua sendo detectado nos pontos fora do comum até determinado ponto.

Após a detecção de problemas dentro da faixa de uso comum pode indicar correlação e ocorrência junto a outros problemas.

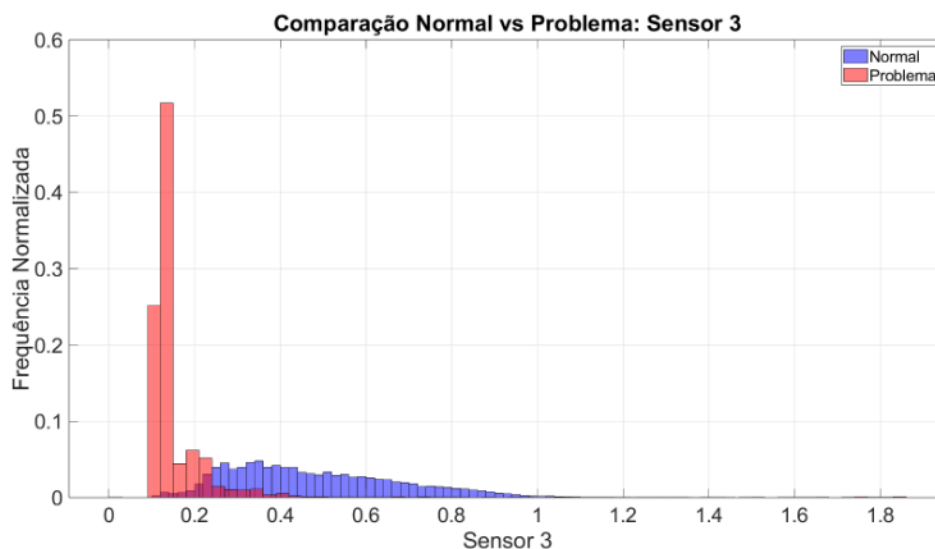


Figura 37: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Sensor 3

Fonte: Autores

Na Figura 38 referente à análise de Comparação Normal vs Problema do Sensor 4 foi observado que a indicação dos problemas neste gráfico se deu inteiramente na faixa de uso comum, sugerindo uma correlação com outros problemas que afetaram nesta falha.

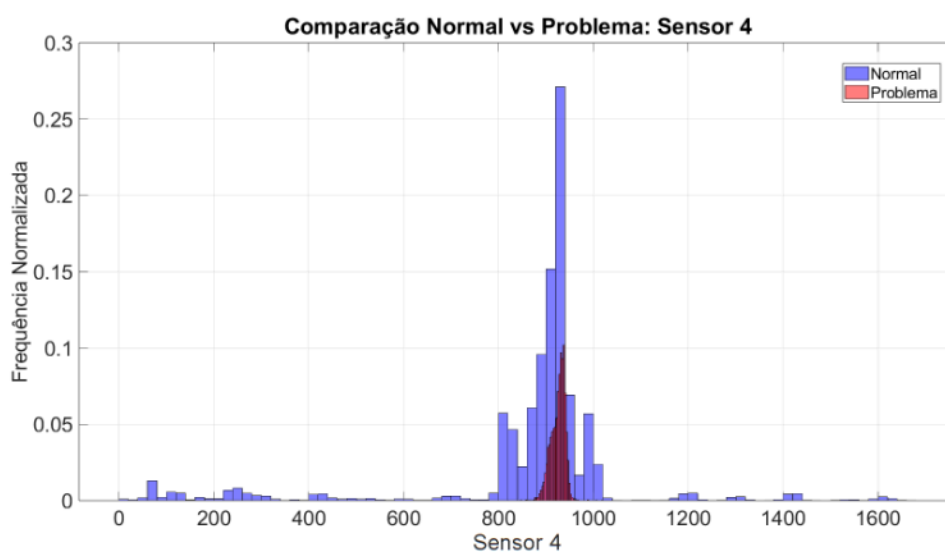


Figura 38: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Sensor 4

Fonte: Autores

Na Figura 39 referente à análise de Comparação Normal vs Problema do Sensor 5 foi observado que todos os problemas registrados são quando os valores estão zerados ou muito próximos de zero, ressaltando que uma ausência de vibração não significa uma operação segura necessariamente. É importante

controlá-la e entender quais são os intervalos aceitáveis, porém a falta dela pode indicar problemas, como mencionado anteriormente.

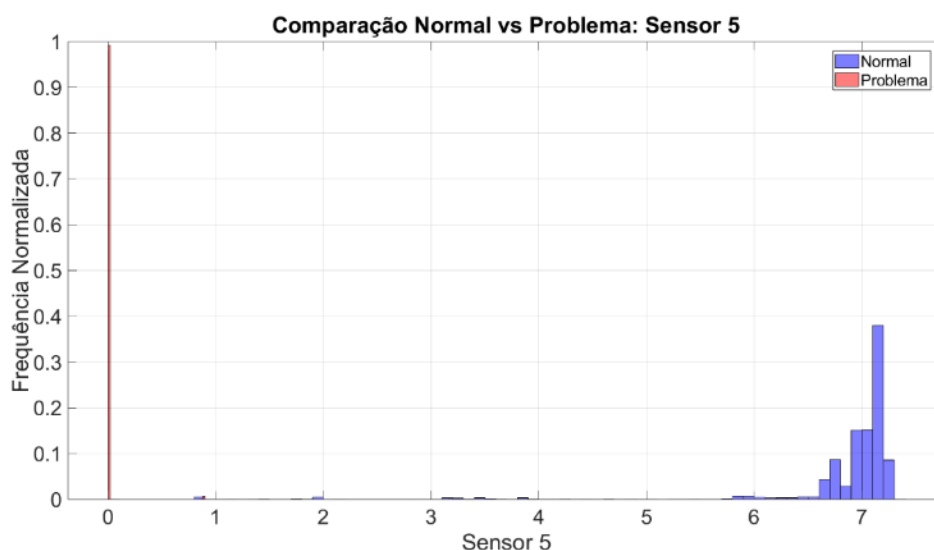


Figura 39: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Sensor 5

Fonte: Autores

Na Figura 40 referente à análise de Comparação Normal vs Problema do Sensor 6 foi observado que não existe uma faixa de valores de corrente que são problemáticas, e sim, que existe uma faixa de operação segura. Portanto, é importante garantir que os valores fiquem dentro da faixa, sem grandes oscilações. Qualquer instabilidade nos valores registrados pelo sensor deve imediatamente alarmada pois está diretamente ligada à falha.

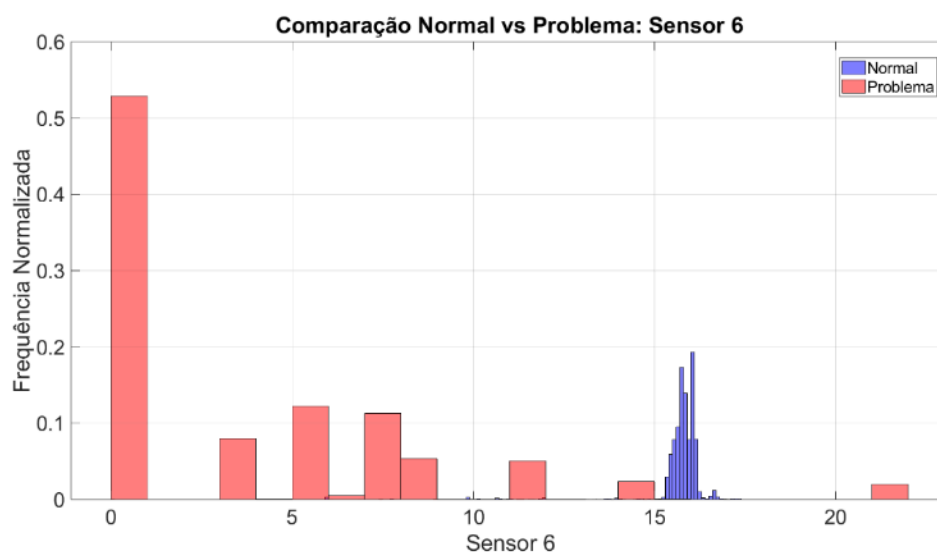


Figura 40: Gráfico de Comparação Normal vs Problema: Sensor 6

Fonte: Autores

A Figura 41 exibe a matriz de correlação entre todas as variáveis utilizadas para a análise de falhas.

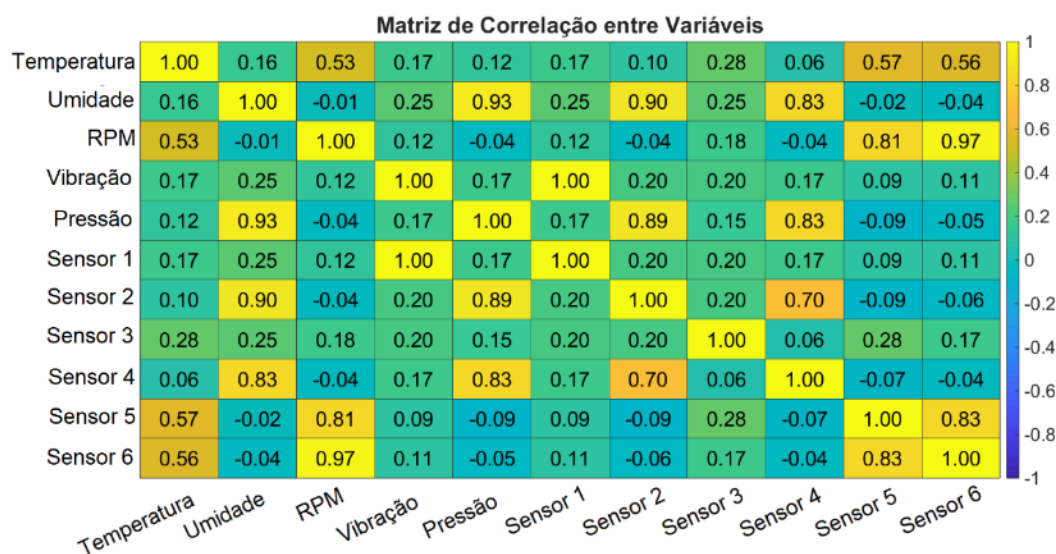


Figura 41: Matriz de Correlação entre Variáveis

Fonte: Autores

Os números variando de -1 até +1 representam o nível de correlação que cada variável teve entre si.

Para números como +1, a correlação se dá de forma linear positiva perfeita, ou seja, lidam com variáveis iguais.

Números que variam entre aproximadamente +0,7 a +0,9 indicam forte correlação positiva entre sensores, podendo indicar que reagem de maneira muito semelhante a um mesmo acontecimento e, ainda, indicar redundância entre sensores.

Números que variam entre aproximadamente +0,4 a +0,6 indicam moderada correlação positiva, podendo indicar que dois sensores respondem de maneira semelhante mas não idêntica a um mesmo acontecimento.

Números próximos de 0 indicam que pode não haver nenhuma correlação linear.

Números que variam entre aproximadamente -0,4 a -0,6 indicam moderada correlação negativa, podendo indicar que dois sensores respondem de maneira diferente a um mesmo acontecimento.

Números que variam entre aproximadamente -0,7 a -0,9 indicam forte correlação negativa.

Para números como -1, a correlação se dá de forma linear negativa perfeita.

As cores são ainda detectores de correlações, onde cores azuladas representam correlações negativas, ou seja, uma variável apresenta queda e a outra um aumento, cores amareladas e alaranjadas indicam correlações positivas, ou seja, ambas as variáveis apresentam queda ou aumento.

A matriz de correlação mostra que o Sensor 5 (vibração vertical) apresenta forte correlação com Sensor 6 (0.83) e com RPM (0.81). Essa relação sugere que, quando ocorrem variações abruptas de rotação, há impacto direto tanto na vibração quanto na tensão de controle do sistema. Esse trio configura-se como um grupo interligado, sendo útil para monitoramento de falhas com origem eletromecânica.

O Sensor 4 (posição ou velocidade instantânea) apresenta correlação com a umidade e pressão (0.83), o que pode indicar influência ambiental no comportamento de parada ou movimentação do carro, sugerindo que a umidade influencia o sistema de controle.

Ainda sobre RPM e Sensor 6, percebe-se que a tensão de alimentação influencia diretamente a velocidade de rotação do motor. Já os Sensores 1 e 3 (corrente e torque) possuem correlações fracas com os demais sensores, com destaque para o Sensor 3, cuja maior correlação não ultrapassa 0.28. Isso sugere que a aceleração lateral não apresenta relação direta com os outros eventos, sendo um comportamento isolado ou apenas confirma falha.

A temperatura mostra correlação moderada com Sensor 5 (0.57), possivelmente associada ao aquecimento gerado por atrito excessivo em condições de vibração anormal.

Possuindo os dados numéricos e utilizando-se da análise da ocorrência de falhas torna-se possível a aplicação de ferramentas de confiabilidade típicas e aperfeiçoadas da engenharia, a fim de sistematizar a avaliação de riscos e auxiliar na tomada de decisões de ações corretivas. Entre os sensores analisados, destacam-se com os resultados mais relevantes para o

monitoramento preditivo com a categorização de importância: RPM, Sensor 5 (vibração vertical) e Sensor 6 (tensão), tanto por sua correlação entre si quanto por apresentarem comportamentos anômalos antecedentes aos eventos de falha. Por outro lado, sensores como pressão e corrente elétrica, por outro lado, demonstram ser de utilidade mais restrita ao diagnóstico pós-evento.

Desta forma, a obtenção destes dados possibilita a aplicação de metodologias técnicas, como a atribuição de níveis de severidade, ocorrência e detecção baseadas nas análises executadas.

A combinação da análise de dados reais e ferramentas voltadas para a confiabilidade reforça a importância da análise de falhas e à importância da manutenção preventiva e instrumentação acoplada em elevadores modernos.

A ISO 45001 (ABNT, 2018) exige uma abordagem sistemática para a identificação de perigos e avaliação de riscos, e o uso de ferramentas como FMEA, FTA ou ETA pode ser uma maneira eficaz de atender a essa exigência.

A FTA (*Fault Tree Analysis*) é parte de um modelo de análise que parte da consideração de um “evento de topo” que leva a diversos outros eventos e resulta na falha. A identificação desse evento propõe uma determinação da probabilidade daquela falha ocorrer de forma quantitativa.

O ETA (*Event Tree Analysis*) é outra ferramenta útil durante esta análise. Semelhante ao FTA durante sua análise de eventos que levam à falha, o ETA busca diminuir os efeitos do “evento de topo”.

O FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) baseia-se na análise de três fatores, sendo eles ocorrência, detecção e severidade, para determinar a ordem de importância com o qual cada problema será lidado considerando o risco que esse problema cria (STAMATIS, 2003).

A ocorrência (O) ajuda a determinar a frequência com a qual aquele problema acontece, a detecção (D) é a forma e facilidade com a qual ele é detectado antes que afete uma pessoa e a severidade (S) é a gravidade que aquele problema pode atingir.

A partir, por exemplo, da análise dos freios de um elevador pode-se obter uma análise de como o FMEA poderia ser utilizado.

Os Quadros 1, 2 e 3 exibem dados adaptados de *Ford Motor Company* (1988) para inferir resultados a falhas.

Quadro 1 - Critério de análise para severidade de falhas e ranqueamento dos efeitos

Ranking	Efeito de Falha	Severidade do Efeito da Falha
10	Perigoso, sem avisos	Severidade muito alta quando uma falha provável afeta o sistema operacional sem avisos
9	Perigoso, com avisos	Severidade muito alta quando uma falha provável afeta o sistema operacional com avisos
8	Muito alto	O sistema se torna inoperável com falha destrutiva, sem segurança
7	Alta	O sistema fica inoperável com equipamento sofrendo danos
6	Moderado	O sistema fica inoperável com danos mínimos
5	Baixo	O sistema fica inoperável, sem danos
4	Muito Baixo	O sistema está operável, com redução significativa da performance
3	Mínimo	O sistema está operável, com alguma redução da performance
2	Desprezível	O sistema está operável, com pouca redução da performance
1	Nenhum	Sem efeito

Fonte: Dados adaptados de *Ford Motor Company* (1988)

Quadro 2 - Critério de análise para ocorrência de falhas e ranqueamento dos efeitos

Ranking	Probabilidade de Falha	Taxas de Falhas Possíveis
10	Extremamente alta: falha quase inevitável	≥ 1 em 2
9	Muito alta	1 em 3
8	Falhas repetidas	1 em 8
7	Alta	1 em 20
6	Moderadamente alta	1 em 80
5	Moderado	1 em 400
4	Relativamente Baixa	1 em 2000
3	Baixa	1 em 15000
2	Remata	1 em 150000
1	Quase impossível	1 em 1500000

Fonte: Dados adaptados de *Ford Motor Company* (1988)

Quadro 3 - Critério de análise para detecção de falhas e ranqueamento dos efeitos

Ranking	Efeito da detecção	Probabilidade de detecção
10	Absolutamente incerta	Não há chance de encontrar a causa provável e a falha subsequente
9	Muito remota	Chance muito remota de encontrar a causa provável e a falha subsequente
8	Remota	Chance remota de encontrar a causa provável e a falha subsequente
7	Muito baixa	Chance muito baixa de encontrar a causa provável e a falha subsequente
6	Baixa	Chance baixa de encontrar a causa provável e a falha subsequente
5	Moderada	Chance moderada de encontrar a causa provável e a falha subsequente
4	Moderadamente alta	Chance moderadamente alta de encontrar a causa provável e a falha subsequente
3	Alta	Chance alta de encontrar a causa provável e a falha subsequente
2	Muito alta	Chance muito alta de encontrar a causa provável e a falha subsequente
1	Quase certa	A manutenção quase certamente encontrará a causa provável e a falha subsequente

Fonte: Dados adaptados de *Ford Motor Company* (1988)

Considerando as informações obtidas através do estudo dos gráficos relativos a um único elevador, foi concluído que o estudo do FMEA, utilizando estes dados, seria de grande ajuda para entender como estas falhas seriam tratadas.

Sendo assim, lidando com as informações retiradas de um banco de dados de um elevador completamente examinado a cada minuto ao longo do mês de janeiro de 2020 por sensores estrategicamente colocados foram obtidas análises aprofundadas acerca dos momentos em que as falhas aconteceram.

O Quadro 4 exibe uma análise do critério de análise para detecção de falhas e ranqueamento dos efeitos obtida a partir do estudo e entendimento

reunidos com o auxílio dos gráficos das Figuras 19 a 40, plotados através do uso do código.

Quadro 4 - Critério de análise para detecção de falhas e ranqueamento dos efeitos

Caso	Modo de Falha	Causa Provável	Efeito	O	D	S	Justificativa Técnica
A	Vibração exageradamente baixa	Falha ou desgaste dos rolamentos	Absorção passiva de vibração que pode levar à ruptura de componentes	4	2	7	A redução drástica da vibração comum do elevador pode indicar o desgaste oculto de peças, levando a falhas possivelmente críticas
B	Falha no fechamento de portas	Temperatura abaixo do comum (comum é aproximadamente 33°)	Portas que não fecham corretamente	4	3	4	Temperaturas muito baixas podem contribuir para a contração de materiais diferentes em partes do elevador, causando desalinhamentos
C	Redução massiva da RPM	Desgaste de engrenagens	Comprometimento da frenagem	6	1	8	O desgaste pode causar desalinhamento ou escorregamento durante a frenagem, a parada suave fica comprometida
D	Corrosão de componentes metálicos	Humidade excessiva	Fragilização ou inutilização de componentes do motor	5	3	6	A corrosão pode causar uma fragilização localizada nos componentes, consequentemente causa maior facilidade de ruptura e diminui sua eficiência
E	Falha em válvulas hidráulicas de pressão	Alterações anormais de pressão	Travamentos ou paradas indesejadas	5	6	10	A falha nas válvulas pode causar um aumento no desgaste mecânico, uma vez que as paradas são bruscas e não planejadas, podendo ocasionar quedas

Fonte: Autores; 2024

O Quadro 4 expõe os possíveis Modos de Falha, Causa Provável da Falha e Efeito, obtidos com a análise dos gráficos combinados a extensa pesquisa. O ranqueamento de ocorrência, detecção e severidade foram feitos de forma a considerar as informações dos Quadros 1, 2 e 3 e com a observação e estimativa de dados retirados dos gráficos, a fim de prover contexto real para uma análise fiel através do FMEA. As justificativas técnicas foram baseadas em consequências reais estimadas através dos dados provenientes a fim de confirmar a tecnicidade e razões pelas quais foram consideradas falhas.

O RPN (*Risk Priority Number*) é usado para resolver a ordem com o qual os problemas serão resolvidos. O RPN utiliza-se dos dados obtidos na Tabela 5 para determinar o número de prioridade de risco a partir da Equação 2.

$$RPN = O * S * D$$

Equação 2

Considerando os três aspectos do FMEA, os resultados passam por considerações e uma breve organização sendo colocados do maior para o menor para categorizar sua urgência.

Desta forma, considerando os dados fornecidos no Quadro 4, o Quadro 5 apresenta, para estes problemas, os resultados obtidos através do uso do RPN.

Quadro 5 - Utilização do RPN para o FMEA de análise para detecção de falhas em um elevador

Caso	Modo de Falha	Item / Componente	O	D	S	RPN (<i>Risk Priority Number</i>)
A	Vibração exageradamente baixa	Rolamentos	4	4	7	112
B	Falha no fechamento de portas	Sistema Porta/Trilhos	4	3	4	48
C	Redução massiva da RPM	Engrenagens	6	1	8	48
D	Corrosão de componentes metálicos	Motor	5	3	6	90
E	Falha em válvulas hidráulicas de pressão	Válvulas hidráulicas de pressão	5	6	10	300

Fonte: Autores; 2024

Assim, os casos seriam resolvidos na seguinte ordem: E, A, D, C e, por fim, B, considerando os números obtidos através do cálculo do RPN de forma decrescente. Os casos C e B apresentaram o mesmo resultado após o uso do RPN, portanto, o fator de diferenciação entre eles se tornou a severidade. O caso C apresentou severidade 8 (Muito Alto) de acordo com o Quadro 1, enquanto o caso B apresentou severidade 4 (Muito baixo).

Com estes dados em mão pode então ocorrer a elaboração de uma proposta de ações corretivas para cada um dos problemas exibidos no FMEA, cabendo à organização e seus funcionários responsáveis propor formas de solucionar cada falha encontrada.

5.4 Avaliação do impacto da manutenção preventiva

O estudo de caso I revelou que a manutenção programada poderia ter resolvido este problema antes que acontecesse. No caso da peça que teve problemas de fabricação teria sido possível notar uma desconformidade na peça antes da ruptura final, que desencadeou a queda caso a manutenção tivesse sido feita.

Apesar da falha na peça possivelmente não ficar clara para alguém durante a manutenção, alguns testes poderiam ter comprovado a necessidade de troca da peça.

O estudo de caso II e o estudo de caso V se destacam por sua similaridade quanto a forma como a manutenção preventiva poderia agir. Por se tratar de problemas com sensores faz-se necessária práticas mais específicas e detalhadas. Um dos possíveis métodos seria o teste de carga de elevador. Este teste é específico para testar sensores de carga, de velocidade e proporcionar uma forma de testar os demais componentes de segurança, como freios. Consiste no acréscimo de peso acima do indicado no elevador para verificar como este atua nessa situação, verificando a capacidade de resposta.

Para o caso de sensores de nivelamento, responsáveis por garantir que a cabina pare exatamente de acordo com a altura do pavimento, testes mais simples poderiam ser feitos, como o acionamento em diferentes andares em busca de desníveis ou desaceleração nas respostas aos comandos. Garantir a limpeza adequada destes sensores é essencial para dar início a verificação.

Para o caso de sensores de Limitador de Viagem ou de Proximidade, como no estudo de caso V, seriam necessários alguns testes para verificar a resposta dos sensores durante a manutenção, para garantir que se os sensores não

funcionarem há um sistema de segurança extra como amortecedores para garantir a segurança.

Dependendo do tipo de sensor utilizado há ainda uma forma de verificação manual. Para sensores magnéticos ou indutivos, a aproximação de um ímã ou marcador do sensor pode mostrar alguma falha. Para sensores ópticos, um teste de interrupção do feixe de luz pode ajudar a verificar se o sinal esperado está sendo recebido. Para sensores indutivos ou infravermelhos, a aproximação de um objeto metálico ou de uma parte do corpo, respectivamente, podem evidenciar falhas no funcionamento.

O estudo de caso III revelou um claro problema quanto à manutenção. O elevador fabricado pela Hércules, constava com a data de fabricação de 1998. Os sinais de corrosão por falta de manutenção eram visíveis, apesar disto a torre do elevador estava em bom estado de conservação.

Uma manutenção minimamente presente poderia ter sido capaz de impedir este acidente. A lubrificação adequada dos cabos deveria ser constante e de acordo com seu uso, aplicado onde há mais contato do cabo de aço pelas polias, favorecendo a lubrificação e ajudando a retardar a corrosão que é inevitável após o uso constante e incessante dos elevadores. Além disso, ensaios não destrutivos como de ultrassom ou de líquido penetrante que poderiam ter sido aplicados nos freios e demais componentes em busca de fissuras muito pequenas ou porosidade excessiva, destacando assim os desgastes naturais que foram ignorados.

O estudo de caso IV mostrou que, como todo componente de elevador, a porta possui componentes próprios, tanto de fixação à cabina quanto de funcionamento no conjunto do elevador. Parafusos e fixadores calham uma manutenção adequada, verificação de condições de aperto, garantindo que não estão frouxos a ponto de soltarem por acidente, além de limpezas, evitando corrosão e fadiga e, quando necessário, ocasionando a troca destes componentes.

No caso de elevadores com contrapeso, o contrapeso pode interferir na forma como as portas da cabina abrem e fecham, a verificação deste

componente é fundamental para garantir não somente o bom funcionamento das portas como também a segurança dos usuários do elevador.

O estudo de caso VI deixou claro que a manutenção estava ocorrendo como deveria, detectando até mesmo um problema relacionado a abertura e fechamento das portas com uma correia frouxa. Assim, o cumprimento da norma se provou ser minimamente satisfatório.

Não há evidências ainda que embasem a responsabilidade da correia frouxa como o motivo do acidente até o momento.

6 PROPOSTAS E RECOMENDAÇÕES

Propostas e recomendações são o objetivo principal após um estudo, a fim de melhorar os aspectos sobre o qual o estudo se deu. Apesar de se tratar majoritariamente de sugestões podem trazer um melhor entendimento a importância de melhoria constante.

6.1 Boas práticas para manutenção e inspeção

Ações preventivas são essenciais para evitar acidentes, entretanto, a limpeza do poço do elevador muitas vezes não é considerada como uma ação de manutenção. Desta forma, cabe mencionar as especificações de limpeza, tanto dos componentes quanto do elevador, como ações afirmativas de segurança.

Por vezes, lixo ou sujeira acumulada podem dificultar o funcionamento de componentes, assim, uma limpeza adequada e específica pode ajudar a manter os componentes em condições adequadas de funcionamento.

Os funcionários das empresas responsáveis pela manutenção de elevador são peça fundamental não somente na manutenção mas como na instrução dos servidores do local onde o elevador é instalado. Fornecendo instruções mais claras e detalhadas sobre formas de manter as condições do poço do elevador ou da parte externa das portas além de pequenos detalhes para ajudar a identificar problemas antes que se agravem, diversos acidentes podem ter sua gravidade reduzida.

Saber que a redução da velocidade de resposta das portas ou da chegada da cabina ao piso pode ajudar síndicos, no caso de construções particulares, e funcionários de manutenção geral, no caso de construções públicas, a verificar que há divergências quanto ao bom funcionamento do elevador, ajudando na solicitação prévia de uma manutenção, se opondo ao modo atual que identifica apenas barulhos incomuns como forma de verificar um mau funcionamento.

O treinamento básico de pessoas que compõe o quadro de funcionário nos locais de instalação de elevador caberia como uma possível forma de reduzir

acidentes, sendo obrigatório e com o auxílio de profissionais treinamentos, expondo pequenos detalhes nos casos mais comuns que envolveram acidentes de elevador.

6.2 Sugestões de ajustes normativos

A Norma em vigência estudada, ISO 45.001, citada no Webinar PGRO (GOVERNO BRASILEIRO, 2020), não menciona de forma direta a execução ou cumprimento de ações de manutenção preventiva.

Sendo assim, seria aconselhável, apesar de ser parecer desnecessária, a adição de uma especificação mais detalhada sobre a forma de execução das ações de manutenção preventivas, incluindo, mas não somente restrito a, testes de sensores, verificação constante dos cabos de tração e testes esporádicos para verificação do funcionamento dos sistemas de frenagem e dos limitadores de velocidade, ambos essenciais para a garantia da segurança.

Além disso, a ISO 45.001(ABNT, 2018), apesar de ter substituído a OHSAS 18.001(BSI, 2007) em relação a certificados de segurança de elevador, não possui nenhuma referência direta ao equipamento. A criação de um anexo que fizesse referência a normas técnicas de elevadores poderia auxiliar em sua aplicação, como menções à ABN NBR 16083, que trata de Manutenção de Elevadores, ou a EN 81, norma europeia de segurança para construção e instalação de elevadores.

Cabe ainda, a menção a alguns dos riscos específicos de elevadores na norma seria aconselhada. A sugestão de aplicação de métodos específicos para análises de risco, como o uso da Análise Preliminar de Riscos (APR). Esta análise teria como função a identificação, avaliação e controle de riscos potenciais, algo já valorizado pela ISO 45.001(ABNT, 2018) mas fornecendo um direcionamento mais rápido e fácil para ações reais.

A especificação de treinamento funcionais e melhores para trabalhadores que interagem de forma direta e diária com elevadores industriais na norma, principalmente elevadores usados em obras, também ajudaria a transmitir a importância da verificação dos componentes por parte destes funcionários e na

identificação de possíveis falhas, levando ao acionamento do serviço de manutenção antes da falha ocorrer.

A ISO 45001(ABNT, 2018), apesar de já recomendar auditorias periódicas no contexto geral, poderia tornar mais clara a forma como as auditorias se dariam em elevador, com menções a verificações práticas de sensores, sistemas de frenagem e emergência. Para o caso de emergências, a exigência de planos de evacuação e ações de segurança, como resgates, seria útil, visando a garantia da preparação completa para os possíveis casos de acidentes.

6.3 Direcionamento para estudos futuros

O estudo calha em um aprofundamento através de cálculos de casos específicos, buscando compreender da melhor forma, o funcionamento por completo de um elevador antes, durante e após um acidente. O projeto de tal estudo seria de grande importância, se afastando das normas que regem a segurança de tal veículo de transporte e adentrando uma área de estudo teórica para entender as forças e gravidades quantificadas que um acidente de elevador pode causar.

Cabe, ainda, um estudo voltado para o Estudo de Caso I de um ponto de vista teórico. O rompimento de uma peça falha leva a diversas considerações dos motivos exatos que levaram a isso. Desta forma, o dimensionamento e a execução dos cálculos de tal estudo seriam de grande importância para entender como uma peça pode causar um acidente de tamanha magnitude, além dos cálculos para verificar a força com que o elevador atingiu o peço para causar a destruição do piso da cabina.

Para maior entendimento de falhas e acidentes como um todo, o desenvolvimento e uso de inteligência artificial para compreender e estudar uma multitude de dados de sensores e elevadores pode auxiliar a prever acidentes, falhas e comportamentos irregulares em elevadores do dia a dia, desde que possuam a possibilidade para tal.

7 CONCLUSÃO

Através deste estudo de casos de incidentes de elevadores, que a troca da OHSAS 18.001(BSI, 2007) pela ISO 45.001(ABNT, 2018) pode ter impactado positivamente no cumprimento e esclarecimento das normas. A antiga norma utilizada para segurança agia de forma mais reativa, apenas solucionando problemas que já ocorreram, não incentivando diretamente os funcionários a tomarem medidas de segurança melhores antes do acidente ter ocorrido. A norma atual age de forma mais proativa, propondo, acima de tudo, a prevenção de acidentes, focando em como seriam evitáveis caso as medidas certas forem tomadas na hora certa, funcionando através de extensos planejamentos para a identificação e avaliação dos riscos. Esta norma ainda dá mais fôca aos trabalhadores e em sua participação ativa na segurança de todos.

A escolha dos casos de estudos dos acidentes envolvendo elevadores foi decisiva para o entendimento de como as normas são tratadas. O estudo levou à conclusão de que, entre os três acidentes estudados sob a vigência da OHSAS 18.001(BSI, 2007), sendo eles os estudos de caso I, II e III, todos podem ser atribuídos inteira ou parcialmente à manutenção inadequada, sendo, desta forma, evitáveis caso as medidas certas houvessem sido colocadas em ação.

Já para os casos mais atuais, os estudos de caso IV e V puderam ser atribuídos parcial ou inteiramente à manutenção inadequada, tendo como ponto relevante a menção de que no estudo de caso IV, além da falta de manutenção adequada, a delegação da manutenção a alguém não qualificado de acordo com as normas e leis vigentes de segurança pode ter levado aos problemas que causaram o acidente.

Da mesma forma, o estudo de caso VI, sob a vigência da ISO 45.001(ABNT, 2018) apresentou, até o momento desta conclusão em julho de 2025, um plano de manutenção correto e adequado, além da apresentação de um laudo feito dias antes do acidente constando que o único fato desconforme encontrado era uma correia do operador de porta que se encontrava solta. Sendo assim, este acidente não pôde ser atribuído à manutenção inadequada.

Apesar da constatação já comentada do aumento de acidentes envolvendo elevadores no ano de 2024, foi possível verificar que, de acordo com o estudo conduzido, as normas de manutenção e segurança podem não ter ligação direta com este aumento.

O Estudo de Caso IV evidenciou outro problema que pode ter causado o aumento dos acidentes: a inadequação dos profissionais responsáveis pela manutenção, que não cumprem os requisitos básicos para tal posição, além de empresas não qualificadas. Isso aponta não somente para uma falha de manutenção, mas para uma responsabilidade humana, pelo descumprimento direto das normas de segurança conhecidas pela área da engenharia voltada para manutenção e da falta de conhecimento das normas, por agirem de forma imprópria.

Em conclusão, considerando a análise dos três acidentes ocorridos sob a vigência da OHSAS 18.001(BSI, 2007) e os três acidentes ocorridos sob a vigência da ISO 45.001(ABNT, 2018), foi possível observar diferenças importantes nos fatores causais desses incidentes. Em particular, um dos acidentes mais recentes não teve a manutenção como causa, o que destaca uma possível evolução nos processos de gestão de segurança e saúde ocupacional.

Essa mudança de norma, passando da OHSAS 18.001(BSI, 2007) para a ISO 45.001(ABNT, 2018), parece ter tido um impacto positivo na forma como as empresas têm abordado a segurança no ambiente de trabalho, destacando que a mudança da norma pode ter reforçado a necessidade quando ao cumprimento adequado dela.

A ISO 45.001(ABNT, 2018), quando em mãos de profissionais adequados, parece ter tornado mais clara e direta os métodos e deveres de manutenção e segurança.

No caso referente ao uso dos dados e do código MatLab apresentados foi concluído que os sensores de RPM, Sensor 5 (vibração vertical) aliado ao Sensor 3 (aceleração lateral) e Sensor 6 (tensão) se mostraram relevantes para um monitoramento preditivo de falhas. Sendo assim, é possível trazê-los para o

âmbito de manutenção, buscando antecipar as falhas através do monitoramento desses parâmetros

A utilização dos dados do elevador com o código provou-se útil durante a detecção prévia de falhas. Tendo a disponibilidade do código e a possibilidade de aplicação em elevadores reais, o código pode prever possíveis falhas e evitar acidentes como os que o estudo apresentou.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. Três elevadores despencam no Rio e deixam dois mortos e um ferido. Disponível em: <agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-07/tres-elevadores-despencam-no-rio-e-deixam-dois-mortos-e-um-ferido> Acesso em: 15 nov. 2024

ALEXANDER, C.K.; SADIKU, M.N. O.. Motores Elétricos e Acionamentos. McGraw Hill, 2013.

ANTARES ACOPLAMENTOS. Freios eletromagnéticos: onde utilizar e para que servem?. Disponível em: <https://antaresacoplamentos.com.br/blog/freios-eletromagneticos/>. Acesso em: 23 dez. 2024.

ABNT. ISO 45001:2018. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Sistema de gestão de saúde e segurança ocupacional – Requisitos com orientação para uso.

ATLAS SCHINDLER. Guia de Reparos: Conheça o que a Atlas Schindler tem a oferecer para você. Disponível em: <https://www.schindler.com.br/content/dam/website/br/docs/schindler-guia-de-reparos.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2024.

ATLAS SCHINDLER. Manual de Transporte Vertical em Edifícios. Disponível em: <https://www.schindler.com.br/content/dam/website/br/docs/manual-transporte-vertical.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2024.

ATLAS SCHINDLER. Schindler 3100 / 3300 / 5300, Schindler 3300 New Edition, Schindler 3600: Manual do Proprietário. Disponível em: <https://www.schindler.com.br/content/dam/website/br/docs/manual-3100-3300-3600-5300.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2024.

ATLAS SCHINDLER. Schindler 5500: Manual do Proprietário. Disponível em: <https://www.schindler.com.br/content/dam/website/br/docs/manual-5500.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2024.

ATLAS SCHINDLER. S100L Class, Smart, NeoLift, Schindler 7000: Manual do Proprietário. Disponível em: <https://www.schindler.com.br/content/dam/website/br/docs/manual-neolift-s100lclass-s7000.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2024.

A TARDE. Última Vistoria Validou Segurança De Elevador Que Despencou No Horto. Disponível em: atarde.com.br/salvador/ultima-vistoria-validou-seguranca-de-elevador-que-despencou-no-horto-1295799> Acesso em 18 dez. 2024.

A TRIBUNA. Queda de elevador que matou 4 da mesma família completa 1 ano sem punição aos responsáveis. Disponível em: atribuna.com.br/cidades/santos/queda-de-elevador-que-matou-4-da-mesma-familia-completa-1-ano-sem-punic-o-aos-responsaveis-1.284092> Acesso em: 27 nov. 2024

AUTONICS. Série UM. Disponível em: <https://www.autonics.com/br/series/UM>. Acesso em: 10 jan. 2025.

B NEWS. Elevador que caiu e matou duas pessoas estava "em perfeitas condições", diz administração de condomínio no Horto. Disponível em: <https://bnews.com.br/noticias/salvador/elevador-que-caiu-e-matou-duas-pessoas-estava-em-perfeitas-condicoes-diz-administracao-de-condominio-no-horto.html>. Acesso em: 18 dez. 2024.

B NEWS. Laudo aponta que elevador que despencou e matou duas pessoas apresentava "correa solta" dias antes do acidente. Disponível em: <https://bnews.com.br/noticias/salvador/laudo-aponta-que-elevador-que-despencou-e-matou-duas-pessoas-apresentava-correa-solta-dias-antes-do-acidente.html>. Acesso em: 18 dez. 2024.

BSI OHSAS 18001:2007 PT - Sistemas de gestão da saúde e segurança ocupacional – Requisitos.

BUDYNAS, R.G., MISCHKE, C.R, SHIGLEY, J.E. Projeto de Engenharia Mecânica. 7ª Edição. Bookman Editora LTDA, 2005.

BUDYNAS, R.G.; NISBETT, J. K. Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica. 8ª Edição. McGraw Hill, 2011.

CASA DA MOEDA DO BRASIL. ISO 14001 e OHSAS 18001. Disponível em: <https://casadamoeda.gov.br/portal/socioambiental/certificacoes/iso-14001-e-ohsas-18001.html>. Acesso em: 21 out. 2024.

CNN BRASIL. Paciente morre após acidente com elevador em hospital municipal do RJ. Disponível em: <https://cnnbrasil.com.br/nacional/paciente-morre-apos-acidente-com-elevador-em-hospital-municipal-do-rj/>. Acesso em: 13 nov. 2024.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO RIO DE JANEIRO. Crea-RJ vai apurar a existência de responsáveis técnicos por manutenção de elevadores que registraram acidentes. Disponível em: <https://crea-rj.org.br/crea-rj-vai-apurar-a-existencia-de-responsaveis-tecnicos-por-manutencao-de-elevadores-que-registraram-acidentes/>. Acesso em: 13 nov. 2024.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO RIO DE JANEIRO. Tag: fiscalização de elevadores. Disponível em: crea-rj.org.br/tag/fiscalizacao-de-elevadores/ Acesso em: 13 nov. 2024

CREL ELEVADORES. 4 acidentes mais comuns em elevadores. Disponível em: <https://crel.com.br/4-acidentes-mais-comuns-em-elevadores/>. Acesso em: 25 nov. 2024.

CREL ELEVADORES. Funcionamento do elevador: conheça componentes fundamentais. Disponível em: <https://crel.com.br/conheca-componentes-essenciais-para-o-funcionamento-do-elevador/>. Acesso em: 22 dez. 2024.

CREL ELEVADORES. Entenda tudo sobre o funcionamento e os componentes do elevador. Disponível em: <https://crel.com.br/como-funciona-um-elevador/>. Acesso em: 13 nov. 2024.

COUTINHO, L, C, R. A Utilização De Elevadores A Cabo Em Obras De Construção Civil Riscos Envolvidos E Métodos De Prevenção. Monografia, Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho. São Paulo. 86 páginas. 2012.

DW ELEVADORES. Problemas Resolvidos Pela Manutenção De Elevadores. Disponível em: <https://dwelevadores.com.br/postagem/65/problemas-resolvidos-pela-manutencao-de-elevadores>. Acesso em: 25 nov. 2024.

DUTRA, K. Máquinas de Elevação e Transporte: Aula 7 – Mecanismos de Retenção e Freios. Disponível em: https://kaiohdutra.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/07/met_aula-7_mecanismos-de-retenc3a7c3a3o-e-freio.pdf. Acesso em: 23 dez. 2024.

ELEVADORES HERTZ. Serviço de manutenção de elevadores. Disponível em: <https://elevadoreshertz.com.br/servico-manutencao-elevadores>. Acesso em: 18 dez. 2024.

ESPEL ELEVADORES. Falta de manutenção em elevadores: o que isso pode acarretar?. Disponível em: <https://espel.com.br/falta-de-manutencao-em-elevadores-o-que-isso-pode-acarretar/>. Acesso em: 25 nov. 2024.

FOLHA DE SÃO PAULO. Elevador de obra despenca e 9 morrem. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff1008201123.htm>. Acesso em: 20 nov. 2024.

FORD MOTOR COMPANY. Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Reference Manual. 1988.

G1. Elevador de prédio da Secretaria de Fazenda ultrapassa teto e fere servidora; pasta orientou que funcionários usassem escadas. Disponível em:

<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2024/07/01/elevador-de-predio-da-secretaria-de-fazenda.ghtml>. Acesso em: 15 nov. 2024.

G1. Fotos inéditas mostram elevador que matou 4 pouco depois de despencar. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2020/01/03/fotos-ineditas-mostram-elevador-que-matou-4-pouco-depois-de-despencar.ghtml>. Acesso em: 29 nov. 2024.

G1. Laudo aponta erro em elevador onde dentista morreu ao cair com moto em fosso. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2019/04/15/laudo-aponta-erro-em-elevador-onde-dentista-morreu-ao-cair-com-moto-em-fosso.ghtml>. Acesso em: 18 nov. 2024.

G1. Laudo aponta que placa rompeu em elevador que matou 4 pessoas em SP. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2020/05/22/laudo-aponta-que-placa-rompeu-em-elevador-que-matou-4-pessoas-em-sp.ghtml>. Acesso em: 24 out. 2024.

G1. Laudo técnico afirmava que condições de elevador que caiu em Santos e matou 4 pessoas eram boas. Disponível em: <https://g1.globo.com/fantastico/noticia/2020/01/05/laudo-tecnico-afirmava-que-condicoes-de-elevador-que-caiu-em-santos-e-matou-4-pessoas-eram-boas-entenda.ghtml>. Acesso em: 24 out. 2024.

G1. Motociclista morre após cair com moto em fosso de elevador em prédio de Rio Preto. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2019/02/04/motociclista-morre-apos-cair-em-fosso-de-elevador-em-predio-de-rio-preto.ghtml>. Acesso em: 29 nov. 2024.

G1. Paciente morre após ficar preso em elevador do hospital Salgado Filho. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2024/07/01/paciente-morre-presos-elevador-hospital.ghtml>. Acesso em: 13 nov. 2024.

G1. Peças de elevador que despencou e matou quatro em Santos são recolhidas para análise. Disponível em: <g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2020/01/06/pecas-de-elevador-que-despencou-e-matou-quatro-em-santos-sao-recolhidas-para-analise.ghtml> Acesso em: 24 out. 2024

G1. Prédio da Fazenda do RJ adota 'lista VIP do elevador', e maioria dos funcionários tem que encarar a escada. Disponível em: <g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2024/10/04/predio-secretaria-fazenda-do-rj-apresentam-defeito.ghtml> Acesso em: 25 nov. 2024.

G1 – JORNAL NACIONAL. Nove operários morrem em queda de elevador em obra em Salvador. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2011/08/nove-operarios-morrem-em-queda-de-elevador-em-obra-em-salvador.html>. Acesso em: 20 nov. 2024.

GOVERNO BRASILEIRO – MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Webinar PGRO – Nova Nr 1. Disponível em:<[gov.br/fundacentro/pt-br/comunicacao/noticias/noticias/2020/8/fundacentro-realiza-serie-de-webinars-sobre-pgr/fundacentro_webinar_pgro_nr01_21_08_2020_jose_damasio_de_aquino.p](https://gov.br/fundacentro/pt-br/comunicacao/noticias/noticias/2020/8/fundacentro-realiza-serie-de-webinars-sobre-pgr/fundacentro_webinar_pgro_nr01_21_08_2020_jose_damasio_de_aquino.pdf)
df> Acesso em: 21 out. 2024

LEAL, F., PINHO, A. F. D., ALMEIDA, D. A. D.. Análise De Falhas Através Da Aplicação Do FMEA E Da Teoria Grey. Revista Gestão Industrial. Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. Paraná. 12 páginas. 2006.

LEAL, F., PINHO, A. F. D., ALMEIDA, D. A. D., FAGUNDES, L. D.. Gestão do Conhecimento na análise de falhas: mapeamento de falhas através de sistema de informação. Artigo. Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. Paraná. 18 páginas. 2005.

LOMAQ. Importância dos elevadores de carga na construção civil. Disponível em: <https://lomaq.com.br/blog/importancia-dos-elevadores-de-carga-na-construcao-civil/>. Acesso em: 19 nov. 2024.

MINEIRAS CONDOMÍNIOS. Como fazer a manutenção dos elevadores em condomínios de forma correta?. Disponível em: <https://mineiras.com.br/como-fazer-a-manutencao-dos-elevadores-em-condominios-de-forma-correta/>.

Acesso em: 25 nov. 2024.

NORTON, R.L. Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada. 4ª Edição. Bookman Editora LTDA, 2013.

OTIS ELEVADORES. Catálogo Gen2 MOD JAN24 v1.0. Disponível em: <https://otis.com/pt/br/produtos-servicos/modernizacao-upgrades/gen2-modernizacao>. Acesso em: 11 nov. 2024.

OTIS ELEVADORES. Manual do Usuário. Disponível em: <https://hikarigarden.com.br/arquivos/otis-manual-do-usuario.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2024.

OTIS ELEVADORES. Você sabe quais são os principais modelos de elevador?. Disponível em: <https://blog.otis.com/br/principais-modelos-de-elevadores>. Acesso em: 18 jul. 2025.

PORTAL DE NOTÍCIAS DO ESTADO DA BAHIA. Laudo pericial conclui que elevador de obra caiu por falta de manutenção. Disponível em: <https://comunicacao.ba.gov.br/2011/09/noticias/seguranca/laudo-pericial-conclui-que-elevador-de-obra-caiu-por-falta-de-manutencao/>. Acesso em: 18 nov. 2024.

REVISTA ELEVADOR BRASIL. Acidentes em elevadores no Brasil em 2024. Disponível em: <https://revistaeb.com/acidentes-em-elevadores-no-brasil-em-2024/>. Acesso em: 18 dez. 2024.

REVISTA ELEVADOR BRASIL. De transporte seguro a símbolo de tragédia: 2024 e os 40 mortos em acidentes com elevadores. Disponível em: [<revistaeb.com/de-transporte-seguro-a-simbolo-de-tragedia-2024-e-os-40-mortos-em-acidentes-com-elevadores/>](https://revistaeb.com/de-transporte-seguro-a-simbolo-de-tragedia-2024-e-os-40-mortos-em-acidentes-com-elevadores/) Acesso em: 24 abr. 2025

REVISTA ELEVADOR BRASIL. Número de acidentes com elevadores aumentou quase 70% em 2022. Disponível em: <https://revistaeb.com/numero-de-acidentes-com-elevadores-aumentou-quase-70-em-2022/>. Acesso em: 18 dez. 2024.

SANTA PORTAL. Edifício Tiffany é inserido em processo de queda de elevador que matou família na Vila Belmiro. Disponível em: <https://santaportal.com.br/baixada/edificio-tiffany-processo-de-queda-de-elevador>. Acesso em: 27 nov. 2024.

SANTOS, C.L.B.D, GRANADO, P.V.O.. Manual De Retrofit Para Componentes Mecânicos de ELEVADORES. Trabalho de Conclusão de Curso, Bacharelado em Engenharia Mecânica. Rio de Janeiro. 84 páginas. 2021.

SCHMERSAL. Sensores para Elevadores. Disponível em: schmersal.com.br/elevadores/sensores#:~:text=Sensores%20de%20proximidade%20s%C3%A3o%20componentes,tipo%20muito%20comuns%20nessas%20aplica%C3%A7%C3%B5es.> Acesso em: 10 jan. 2025

SINDICATO NACIONAL DOS AUDITORES FISCAIS DO TRABALHO. Laudo preliminar aponta falta de manutenção de equipamentos em acidente com elevador na Bahia. Disponível em: <https://sinait.org.br/noticia/4132/laudo-preliminar-aponta-falta-de-manutencao-de-equipamentos-em-acidente-com-elevador-na-bahia>. Acesso em: 18 nov. 2024.

STAMATIS, D.H. Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution. Milwaukee, Winsconsin: ASQ Quality Press, second edition, 2003.

TK ELEVATOR BRASIL. Manutenção de elevadores: o que você precisa saber. Disponível em: <https://blog.br.tkelevator.com/manutencao-de-elevadores-o-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 18 dez. 2024.

APÊNDICE

APÊNDICE A – CÓDIGO DO MATLAB

%% Limpeza do Ambiente

```
clear; clc; close all;
```

%% Carregar o Arquivo

```
caminho_arquivo = 'C:\Users\quiri\OneDrive - cefet-rj.br\CEFET\TCC I - AMANDA  
BARROCO DE JESUS & MATEUS CEDRO  
SIQUEIRA\elevador_failure_prediction.xlsx';
```

```
dados = readtable(caminho_arquivo, 'Sheet', 'data');
```

%% Ajustar o Status

```
dados.Status(dados.Status == 2) = 1; % Agora: 0 = normal, 1 = problema
```

%% Variaveis de interesse

```
variaveis = {'Temperature', 'Humidity', 'RPM', 'Vibrations', 'Pressure', ...  
             'Sensor1', 'Sensor2', 'Sensor3', 'Sensor4', 'Sensor5', 'Sensor6'};
```

```
tempo = (0:height(dados)-1); % Tempo em minutos
```

%% --- Parte 1: Plotando o valor real das variaveis ao longo do tempo ---

```
for i = 1:length(variaveis)
```

```
    var = variaveis{i};
```

```
    sinal = dados.(var);
```

```
    figure;
```

```
    plot(tempo, sinal, 'b', 'LineWidth', 1.2, 'DisplayName', var);
```

```

hold on;

% Marcar pontos onde Status == 1 (Problema)
idx_problema = dados.Status == 1;

scatter(tempo(idx_problema), sinal(idx_problema), 40, 'r', 'filled', 'DisplayName',
'Problema detectado');

title(['Analise Direta: ', var]);
xlabel('Tempo (minutos)');
ylabel(var);
legend;
grid on;
end

%% --- Parte 2: Comparacao Direta Normal vs Problema ---
for i = 1:length(variaveis)
    var = variaveis{i};
    sinal = dados.(var);

    % Separar amostras
    sinal_normal = sinal(dados.Status == 0);
    sinal_problema = sinal(dados.Status == 1);

    figure;

    histogram(sinal_normal, 'Normalization', 'probability', 'FaceColor', 'b',
'FaceAlpha', 0.5, 'DisplayName', 'Normal');

    hold on;

    histogram(sinal_problema, 'Normalization', 'probability', 'FaceColor', 'r',
'FaceAlpha', 0.5, 'DisplayName', 'Problema');

```

```

title(['Comparacao Normal vs Problema: ', var]);

xlabel(var);

ylabel('Frequencia Normalizada');

legend;

grid on;

end

%% --- Parte 3: Matriz de Correlacao entre Variaveis (HEATMAP) ---

% Selecionar apenas as variaveis numericas de interesse
variaveis = {'Temperature', 'Humidity', 'RPM', 'Vibrations', 'Pressure', ...
             'Sensor1', 'Sensor2', 'Sensor3', 'Sensor4', 'Sensor5', 'Sensor6'};

dados_numericos = dados(:, variaveis);

% Calcular a matriz de correlacao de Pearson
matriz_corr = corr(table2array(dados_numericos), 'Rows', 'complete');

% Gerar heatmap com rotulos
figure;
heatmap(variaveis, variaveis, matriz_corr, ...
        'Colormap', parula, ...
        'ColorLimits', [-1 1], ...
        'CellLabelFormat', '%.2f');

title('Matriz de Correlacao entre Variaveis');

```

```
%% --- Parte 4: Resultados Numericos - Ocorrencias e Estatisticas por Grupo ---
```

```
disp('Estatisticas descritivas por variavel e por grupo (Normal vs Problema):');
```

```
for i = 1:length(variaveis)
```

```
    var = variaveis{i};
```

```
    sinal = dados.(var);
```

```
    % Separar por grupo
```

```
    sinal_normal = sinal(dados.Status == 0);
```

```
    sinal_problema = sinal(dados.Status == 1);
```

```
    % Tabela de estatisticas
```

```
    stats = table();
```

```
    stats.Grupo = ["Normal"; "Problema"];
```

```
    stats.Media = [mean(sinal_normal, 'omitnan'); mean(sinal_problema,  
'omitnan')];
```

```
    stats.Mediana = [median(sinal_normal, 'omitnan'); median(sinal_problema,  
'omitnan')];
```

```
    stats.Minimo = [min(sinal_normal); min(sinal_problema)];
```

```
    stats.Maximo = [max(sinal_normal); max(sinal_problema)];
```

```
    stats.Desvio_Padiao = [std(sinal_normal, 'omitnan'); std(sinal_problema,  
'omitnan')];
```

```
    stats.Total_Amostras = [length(sinal_normal); length(sinal_problema)];
```

```
    fprintf('\n%s:\n', var);
```

```
    disp(stats);
```

```
end
```

```

%% --- Frequencia absoluta dos valores discretos (se aplicavel) ---

disp('Frequencia absoluta de valores para variaveis discretas:');

for i = 1:length(variaveis)

    var = variaveis{i};

    sinal = dados.(var);

    valores_unicos = unique(sinal);

    if length(valores_unicos) <= 25 % apenas se tiver poucos valores distintos

        fprintf('\n%s - Frequencia Absoluta:\n', var);

        tab = tabulate(sinal);

        t = array2table(tab(:,1:2), 'VariableNames', {'Valor', 'Frequencia'});

        disp(t);

    end

end

%% --- Apresentacao Numerica da Correlacao ---

% 1. Matriz completa com rotulos

disp('Matriz de Correlacao entre Variaveis (coeficiente de Pearson):');

tabela_corr = array2table(matriz_corr, 'VariableNames', variaveis, 'RowNames',
variaveis);

disp(tabela_corr);

% 2. Correlacao de cada variavel com o Status

disp('Correlacao de cada variavel com Status (0 = Normal, 1 = Problema):');

corr_com_status = zeros(length(variaveis), 1);

for i = 1:length(variaveis)

    v = variaveis{i};

```

```

    corr_com_status(i) = corr(dados.(v), dados.Status, 'Rows', 'complete');
end

tabela_corr_status = table(variaveis, corr_com_status, ...
    'VariableNames', {'Variavel', 'Correlacao_com_Status'});
disp(tabela_corr_status);

```

% 3. Top 5 maiores correlacoes (entre variaveis)

```

disp('Top 5 pares com maior correlacao positiva:');

[top_i, top_j] = find(triu(matriz_corr, 1) >= 0.95); % acima da diagonal
for k = 1:min(5, length(top_i))
    i = top_i(k); j = top_j(k);
    fprintf('%s <-> %s: %.2f\n', variaveis{i}, variaveis{j}, matriz_corr(i,j));
end

```

% 4. Top 5 correlacoes mais negativas

```

disp('Top 5 pares com correlacao negativa mais forte:');

[neg_i, neg_j] = find(triu(matriz_corr, 1) <= -0.3);
valores_neg = matriz_corr(sub2ind(size(matriz_corr), neg_i, neg_j));
[~, ordem] = sort(valores_neg);
for k = 1:min(5, length(ordem))
    i = neg_i(ordem(k)); j = neg_j(ordem(k));
    fprintf('%s <-> %s: %.2f\n', variaveis{i}, variaveis{j}, matriz_corr(i,j));
end

```