



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

LUIZ GONZAGA ROCHA NETO

ANÁLISE DE FALHAS COM UNIDADES DE POTÊNCIA DE ELEVADORES

Palhoça

2023

LUIZ GONZAGA ROCHA NETO

ANÁLISE DE FALHAS COM UNIDADES DE POTÊNCIA DE ELEVADORES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Bruno William Wisintainer

Palhoça

2023

LUIZ GONZAGA ROCHA NETO

ANÁLISE DE FALHAS COM UNIDADES DE POTÊNCIA DE ELEVADORES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 26 de junho de 2023

Professor e orientador Bruno William Wisintainer, Me.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Vítor Florentino Bento, Bel.
SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

Prof. Matheus Cesconeto, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a meus pais, Luiz Gonzaga Rocha Filho e Halderlene Ferreira Rocha por serem exemplos de vida e virtude, que sempre estiveram ao meu lado, me dando todo o suporte necessário e incentivando a seguir em frente com os meus projetos e a realizar todos os meus sonhos. Agradeço também a minha companheira de todas as horas Katiane Karoline Garcia e a o meu filho Caetano Garcia Rocha por serem o meu combustível e motivo pelo qual acordo todos os dias com o intuito de ser hoje uma pessoa melhor do que fui ontem.

À UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina por me proporcionar uma estrutura acadêmica de qualidade, com professores qualificados, o que contribui de forma bastante significativa para minha formação profissional. Ao meu orientador, Professor Bruno William Wisintainer pela excelente orientação, apoio, comprometimento e incentivo durante a elaboração da monografia.

À empresa TK Elevadores por ter me concedido a oportunidade de aprender conceitos importantes sobre o mercado de elevadores, gestão de pessoas e gestão da qualidade durante toda a minha trajetória na companhia, algo que é de suma importância para minha graduação como engenheiro eletricista.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente estiveram presentes em minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Com o avanço tecnológico dos últimos anos, a aplicação de inversores de frequência para controle da velocidade de motores elétricos é uma realidade cada vez mais presente em nosso cotidiano. No mercado de elevadores a utilização dessa tecnologia é um marco histórico que revolucionou o conforto aos usuários desse tipo de transporte reduzindo o desconforto das paradas bruscas na aceleração e redução do equipamento. Com a crescente aplicação dessa tecnologia nos últimos anos surge também as falhas inerentes a aplicação que podem ter um impacto significativo na redução da vida útil desses componentes. Este trabalho acadêmico teve como objetivo analisar os dados de garantia de uma empresa de elevadores que fabrica, instala e presta serviço de manutenção de elevadores residenciais e comerciais utilizando ferramentas de qualidade como o diagrama de Ishikawa e o diagrama de Pareto. A análise visou identificar as principais causas de falhas e problemas relacionados à garantia de unidades de potência. Ao aplicar as ferramentas de qualidade mencionadas, foi constatado que um grande percentual das falhas estava diretamente relacionado ao acúmulo de poeira e óxido de ferro (proveniente da oxidação de cabos de tração) nos módulos eletrônicos. Os módulos eletrônicos analisados possuem proteção parcial de *coating*, o que torna esses componentes mais vulneráveis aos efeitos adversos desses contaminantes. Além disso, durante a análise, foi identificado que os armários de quadro de comando dos elevadores necessitam de um índice de proteção IP adequado. Isso significa que eles não apresentam a proteção necessária contra a entrada de poeira e umidade, aumentando assim o risco de danos aos componentes eletrônicos internos. Esses resultados são de extrema importância para a empresa de elevadores, pois evidenciam as principais causas das falhas e problemas encontrados nos elevadores durante o período de garantia. Com base nessas informações, recomenda-se que a empresa adote medidas preventivas, como a melhoria do sistema de proteção dos módulos eletrônicos, como o uso mais abrangente de *coating*, e a implementação de armários de quadro de comando com índice de proteção IP adequado.

Palavras-chave: Inversores de frequência. Unidades de potência. Elevadores.

ABSTRACT

With the technological advancement of recent years, the application of frequency inverters to control the speed of electric motors is an increasingly present reality in our daily lives. In the elevator market, the use of this technology is a milestone that has revolutionized comfort for users of this type of transport, reducing the discomfort of sudden stops when accelerating and reducing the equipment. With the increasing application of this technology, there are also issues inherent to the application that can have a significant impact on reducing the useful life of these components. This academic work aimed to analyze the warranty data of an elevator company that manufactures, installs and provides maintenance services for residential and commercial elevators using quality tools such as the Ishikawa diagram and the Pareto diagram. The analysis aimed to identify the main causes of failures and problems related to the warranty of power units. When applying the aforementioned quality tools, it was found that a significant percentage of failures were directly related to the accumulation of dust and iron oxide (from the oxidation of traction ropes) in the electronic modules. The analyzed electronic modules have partial coating protection, which makes these components more vulnerable to the adverse effects of these contaminants. In addition, during the analysis, it was identified that the control cabinets of the elevators need an adequate IP protection. This means they lack the necessary protection against ingress of dust and moisture, thus increasing the risk of damage to internal electronics. These results are extremely important for the elevator company, as they show the main causes of failures and problems encountered in elevators during the warranty period. Based on this information, it is recommended that the company adopt corrective measures, such as improving the protection system of the electronic modules, such as the more comprehensive use of coating, and the implementation of cabinets with an adequate IP protection.

Keywords: Frequency inverter. Power units. Elevator. Lifts.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mecanismo de funcionamento de elevadores elétricos.....	21
Figura 2 - Exemplo de Pareto	22
Figura 3 - Exemplo de Diagrama de Ishikawa	23
Figura 4 - Exemplo de Diagrama de dispersão.....	25
Figura 5 - Exemplo de Histograma	26
Figura 6 - Exemplo de 5 porquês	26
Figura 7 - Exemplo de plano de ação 5W2H.....	27
Figura 8 - Transação ZV09 utilizada para a coleta de dados.....	29
Figura 9 - Visita realizada a ITS em maio 2023.....	31
Figura 10 - Equipe de logística do centro de distribuição da ITS.	32
Figura 11 - Diagrama de Ishikawa das falhas encontradas	39
Figura 12 - Acúmulo de óxido de ferro dos cabos de tração nos circuitos.....	41
Figura 13 - Aplicação de <i>coating</i> parcial na placa de controle CIT4.....	42
Figura 14 - Tabela de proteção IP	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - TOP 10 Componentes solicitados em garantia	35
Gráfico 2 - Códigos com maior recorrência na conta de garantias	36
Gráfico 3 - TOP 10 unidades de potência reparadas pelo laboratório.....	37
Gráfico 4 - Modos de falha mais recorrentes no reparo	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Operações existentes	30
Tabela 2 - Tabela das características técnicas das unidades com maior recorrência	37

LISTA DE SIGLAS

5W2H	<i>What, Why, Where, When, Who, How e How much</i>
BJTs	Transistor de junção bipolar
CoPQ	Custo da não qualidade x faturamento dentro de um ano fiscal.
FY	<i>Fiscal Year</i>
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i> (transistor de efeito de campo bipolar)
ITS	<i>International Technical Services</i>
MB51	Transação para relatórios SAP
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i> (transistor de efeito de campo metal - óxido – semicondutor)
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> (Modulação por largura de pulso)
QCR	Registro de controle de qualidade
SAP	<i>Systeme, Anwendungen und Produkte</i> (Sistema, Aplicativos e Produtos)
TKE	TK elevadores
ZV09	Transação personalizada para registro de saída de materiais no SAP
ZAE1	Garantia de 01 Ano de Obra Nova
ZDE1	Retorno de Garantia 01 Ano de Obra Nova
ZRGA	Remessa em Garantia de Venda
ZRET	Retorno de Remessa em Garantia de Venda

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo geral	13
1.1.2	Objetivos específicos	14
1.1.3	Justificativa	14
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	COMPONENTES DE UM ELEVADOR.....	18
2.1.1	Casa de máquinas.....	18
2.1.2	Cabina	19
2.1.3	Contrapeso	19
2.1.4	Caixa de corrida	20
2.1.5	Poço.....	20
2.1.6	Elementos de tração	20
2.1.7	Limitador de velocidades.....	20
2.1.8	Quadro de comando.....	21
2.2	FERRAMENTAS DE QUALIDADE	22
2.2.1	Diagrama de Pareto	22
2.2.2	Diagrama de Ishikawa (espinha de peixe)	23
2.2.2.1	Máquinas	23
2.2.2.2	Materiais	23
2.2.2.3	Meio Ambiente.....	24
2.2.2.4	Mão de obra.....	24
2.2.2.5	Método.....	24
2.2.2.6	Medida.....	24
2.2.3	Diagrama de dispersão	24
2.2.4	Histograma.....	25
2.2.5	5 Porquês.....	26
2.2.6	Plano de Ação 5W2H	27
3	MATERIAIS E MÉTODO	28
3.1	DEFINIÇÃO DO TIPO DE PESQUISA	28
3.2	JUSTIFICATIVA DO TIPO DE PESQUISA	28

3.3	COLETA DE DADOS.....	28
3.3.1	Saídas em garantia	29
3.3.1.1	Tipos de operações	29
3.3.2	Laboratório.....	31
3.3.2.1	Solicitação para reparo em módulos eletrônicos (SRM).....	32
3.3.2.1.1	<i>Teste a frio</i>	32
3.3.2.1.2	<i>Higienização</i>	33
3.3.2.1.3	<i>Teste de bancada</i>	33
3.3.2.1.4	<i>Reparo</i>	33
3.3.2.1.5	<i>Teste com carga</i>	33
3.3.3	Reportes de campo (QCR).....	34
3.4	ANÁLISE DAS GARANTIAS	34
3.4.1	Modelos de unidade com maior relevância nas saídas de garantia	35
3.4.2	Modelos de unidade com maior relevância no reparo	36
3.5	DEFEITOS APRESENTADOS NO REPARO	38
3.6	ANÁLISE DE CAUSA.....	38
3.6.1	Acúmulo de poeira em circuitos.....	39
3.6.2	<i>Coating</i> dos módulos	41
3.6.3	Temperatura	42
3.6.4	Proteção IP do quadro de comando	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	45
5	CONCLUSÃO.....	47
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

O elevador é um dos equipamentos mais antigos construídos pela humanidade, e já eram utilizados pelos egípcios de modo rudimentar, com o intuito de elevar as águas do rio Nilo através de tração animal ou humana. É um equipamento de transporte vertical ou diagonal que pode ser utilizado para o transporte de bens e/ou pessoas (ORGUEL, 2022). Há relatos de que o primeiro elevador de transporte de passageiros foi construído por um engenheiro conhecido como Vitruvius em Roma no século I a.C. Com a revolução industrial as formas de tração foram sendo substituídas por energia a vapor e posteriormente por energia elétrica (LIMA, M.; LIMA, P; 2007). Porém, esse tipo de transporte somente se torna popular após 1893, quando o americano Elisha Graves Otis concede um dispositivo de segurança que entra em ação no caso de rompimento dos cabos utilizados para a tração. Invenção essa, que mais tarde se tornou responsável por garantir o título de meio de transporte mais seguro da atualidade (IUNQ, 2017).

No ramo de elevadores, as empresas estão cada vez mais empenhadas no desenvolvimento de novos produtos, garantindo uma maior qualidade e conforto aos passageiros, além de melhorar as atividades de manutenção e aumentar a segurança, como, por exemplo, introdução de novos componentes ao sistema de controle de elevadores (MÜLLER, 2021).

Os inversores de frequência têm sido continuamente aprimorados nas últimas décadas. Primeiramente foram desenvolvidos os inversores de primeira geração que usavam transistores de junção bipolar (BJTs) e transformadores de ferro. Essa geração usava interruptores produzidos por circuitos integrados lineares. Na segunda geração, além de reduzir o peso e o tamanho do inversor, é utilizada uma técnica de modulação por largura de pulso (PWM) para gerar a comutação do sistema. Tal geração fez o uso de transistores de efeito de campo de óxido de metal semicondutor, comumente conhecidos como MOSFETs, além de semicondutores de potência IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*), que alia as características de chaveamento dos transistores bipolares com alta impedância dos MOSFETs (GERMANO et. al., 2020).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Identificar as falhas recorrentes com inversores de frequência originadas no ciclo de assistência técnica que possuem impacto no volume de garantias prematuras da unidade de

negócios da América Latina do grupo TKE, empresa que fabrica, instala e presta serviços de manutenção em elevadores para transporte de carga e passageiros.

1.1.2 Objetivos específicos

a) Analisar os dados de garantias de inversores de frequência concedidas a elevadores em carteira de assistência técnica em empreendimentos comerciais e residenciais no ano fiscal FY21/22.

b) Relacionar os custos de manutenção com a não qualidade, causada pelos problemas identificados no estudo.

c) Identificar padrões e sugerir soluções viáveis

1.1.3 Justificativa

Segundo Seleme e Stadler (2010), uma empresa ao longo de sua trajetória, deve sempre buscar um meio para a sua permanência no ramo de negócio. Porém, isso somente se dá devido às exigências daqueles que compõem o mercado consumidor. Nesse sentido, Juran (1988) afirma que, com tamanho fluxo de informações, novos concorrentes, e crescente globalização, qualidade de produtos e processos é fundamental no que tange à permanência no mercado.

De acordo com Slack et al. (2002), não há processo de produção que não possa falar em fracasso, porém, em alguns casos, produtos e os serviços não podem falhar, pois podem causar estragos em várias regiões da empresa. As avarias ocorrem em todos os aspectos da nossa vida diária, algumas críticas, por exemplo, condições relacionadas à saúde, outros efeitos temporários, como a falha de serviços públicos ou privados, em muitos outros, existem falhas no setor que podem ou não afetar os clientes no final, é com isso que é lidado neste estudo. Na indústria, os responsáveis por analisar processos e as melhorias devem identificar e diferenciar as falhas atuais.

Sendo assim, este trabalho evidencia falhas de um sistema de elevadores e possíveis soluções de correção, bem como um melhor controle sobre seu funcionamento. Uma análise mais detalhada sobre os componentes e funcionamento de um elevador são descritas nos itens seguintes.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Os elevadores são uma maneira rápida, conveniente e eficaz de transportar pessoas entre os andares de um edifício. Todos os anos, dezenas de milhões de pessoas utilizam elevadores para se locomoverem em todo o mundo. Quando um elevador falha durante uma viagem, pode deixar passageiros presos em seu interior até que um profissional capacitado chegue ao local para realizar o resgate. Por esse motivo, o objetivo principal de fabricantes e empresas que prestam serviço de assistência técnica é garantir que as manutenções preventivas sejam suficientes para reduzir a incidência de falhas e paradas indesejadas. Sendo assim, a falha prematura de componentes eletrônicos pode se tornar um pesadelo para essas empresas de acordo com o volume e frequência de tais ocorrências.

Com o avanço tecnológico do mercado nos últimos anos, inversores de frequência passaram a ser utilizados em seus produtos para o controle de velocidade de motores elétricos, proporcionando assim mais conforto para os usuários. Essa tecnologia permite que a cabina acelere e reduza de forma gradativa tornando imperceptível a transição de velocidade aos usuários.

A TK Elevadores é uma empresa que figura entre as maiores fabricantes de elevadores do mundo e é reconhecida mundialmente pela qualidade de seus produtos. Tal reconhecimento se dá ao fato de a satisfação do cliente ser uma de suas premissas, tratada com a seriedade pelos diferentes níveis dentro da organização. Com sede em Guaíba, região metropolitana de Porto Alegre - RS, a unidade fabril é responsável pelo fornecimento de equipamentos em toda a América Latina.

A linha principal de comandos produzida pela unidade de negócio da TK Elevadores é conhecida como *Frequencedyne*. Tais comandos, utilizam unidades de potência produzidas pelos fornecedores WEG e SEMIKRON que são controladas por módulos eletrônicos desenvolvidos pela própria companhia.

No período de outubro de 2021 a setembro de 2022, os registros de garantias concedidas à elevadores recém-instalados apontam unidades de potência como o item de maior recorrência, e que possui um impacto significativo nos indicadores de CoPQ (Custo da não qualidade x faturamento dentro de um ano fiscal). Com base nesses dados, o trabalho apresenta uma análise das falhas com maior recorrência com o intuito de reduzir a queima prematura de tais componentes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo Lima et.al. (2007), os primeiros escritos, registros referentes, aos elevadores são do Arquiteto Romano Vitruvius (século I a.C.) e de Héron de Alexandria (século I d.C.). O mais simples desses elevadores é um poste que é cravado no solo e levantado e sustentado por um cabo amarrado em sua extremidade superior. No topo desse poste havia uma roldana por onde corria a corda utilizada para levantar os materiais. Essa corda era operada por um molinete fixo num dos lados da estaca, junto à base.

Com o passar dos anos, o elevador além de sua função de transporte de carga, passou a ser usado nas grandes construções. Antigamente um elevador levava em torno de dois minutos para subir ou descer um edifício de oito pavimentos, atualmente são cerca de até 45 vezes mais rápidos do que seus antecessores (DECKMANN; et al., 2019).

Elevadores são considerados o meio de transporte mais seguro do mundo, são projetados para não funcionarem ao menor sinal de falha de seus sistemas, por esta razão superam inclusive as estatísticas de segurança aeronáutica (IUNQ, 2017). O propósito de um elevador é auxiliar no deslocamento de pessoas e produtos, tornando possível a movimentação de pessoas e cargas com segurança e rapidez.

De acordo com Lima et. al. (2007), pela peculiaridade das atividades para as quais foram construídos, esses equipamentos são fabricados, observando rigorosos padrões de qualidade e segurança, erguidos com base rígida, constituída por perfis de chapa dobrada, sendo, também, dotados de freio eletromagnético de corrente contínua, embreagem centrífuga progressiva e comando à distância. Como parte redundante de todo esse processo, possuem ainda um redutor de velocidade de rosca sem fim e coroa feita de bronze, que tem o objetivo de garantir a segurança.

Segundo Müller (2021), os elevadores à medida que são utilizados, podem sofrer desgastes físicos e químicos, tais como corrosões, rachaduras, acúmulo de sujeiras, infiltrações, entre outros. Como consequência o elevador pode começar a apresentar ao longo do tempo trepidações, desbalanceamentos ou solavancos, por exemplo. Algumas medidas de manutenção podem e devem ser tomadas com o objetivo de restabelecer a funcionalidade desses equipamentos e evitar possíveis falhas.

A manutenção pode ser entendida como uma série de medidas, técnicas ou ações, para manter os equipamentos ou processos em funcionamento, restabelecendo os sistemas danificados, corrigindo os danos e estendendo o ciclo de vida (GONÇALVES, 2011).

Novos enfoques de manutenção também podem ser destacados, como a manutenção preditiva por exemplo. Esta, pode ser vista como um avanço em relação as estratégias clássicas; pois além de monitorar o equipamento, realiza diagnósticos, quantifica a perda de desempenho e atua sobre o sistema em tempo real (MÜLLER, 2021).

Nas atividades de manutenção preventiva, por exemplo, as ações de manutenção são planejadas e realizadas periodicamente, com o intuito de diminuir ou evitar paradas no sistema produtivo provocadas por falhas inesperadas (SHIKARI; SADIWALA; DWIVEDI, 2004; DJURDJANOVIC et. al., 2003).

No caso de detecção de uma falha, ao se utilizar um esquema de manutenção preditiva, um sistema de controle ou mesmo um sistema embarcado, pode-se automaticamente atuar no equipamento de modo que ele continue operando, mesmo com certo nível de degradação, até a realização da manutenção.

Um defeito permite que o elevador esteja disponível para uso, por exemplo, um elevador que apresenta trepidação na cabine. Uma falha, ao contrário, o impede de desempenhar a sua função, por exemplo, um fusível de alimentação do quadro de força queimado. Assim, prevenir falhas e danos nos elevadores pode trazer inúmeros benefícios, executando intervenções enquanto estes ainda estão apresentando um defeito. Dessa forma, as paradas no processo produtivo e o tempo de manutenção de uma máquina pode ser reduzido ao mínimo, aumentando a confiabilidade e disponibilidade, reduzindo custos e provendo maior proteção aos usuários (MÜLLER, 2021).

2.1 COMPONENTES DE UM ELEVADOR

Nos parágrafos a seguir são listados os principais componentes e nomenclaturas do ambiente onde é instalado um elevador. Lembrando que mais componentes podem fazer parte de um elevador de acordo com sua aplicação, e que os itens citados são os componentes básicos desse tipo de transporte de passageiros.

2.1.1 Casa de máquinas

Local onde são instalados os elementos responsáveis pelo funcionamento do elevador (máquina de tração, quadro de comando e limitador de velocidades). Normalmente fica localizada no pavimento mais alto do edifício sobre a projeção do local onde está instalado o

elevador. Em situações não convencionais também pode ser localizada no pavimento inferior do empreendimento, porém na lateral da projeção para permitir a instalação dos para choques que realizam o amortecimento da cabina em uma situação de emergência. Com os avanços tecnológicos do mercado vem se tornando cada vez mais popular equipamentos “sem casa de máquinas” que não possuem uma sala dedicada para acomodar tais componentes, esses, que por sua vez, ficam alocados dentro da caixa de corrida de forma que não interfiram no percurso realizado pelo elevador.

2.1.2 Cabina

Compartimento no qual são transportados materiais ou pessoas. O tamanho, velocidade e capacidade de carga varia de acordo com o cálculo de tráfego do empreendimento que vem a ser um pré-requisito necessário que garante um fluxo adequado de carga ou passageiros. Por uma questão normativa com foco na segurança do usuário, deve estar disponível no interior a capacidade de carga para qual o equipamento foi projetado.

O acesso ao compartimento é realizado através de portas disponíveis em todos os pavimentos de atendimento do elevador, que podem possuir acionamento manual ou automático. Em edifícios construídos na década de 90 é comum encontrar portas de pavimento com abertura manual, ou até portas pantográficas, que demandam a interação do usuário para realizar a abertura. Equipamentos mais recentes possuem um dispositivo que acopla a porta de cabina a porta de pavimento quando o elevador para no pavimento, e então um motor presente no topo da cabina realiza o trabalho de abertura de ambas as portas ao mesmo tempo, eliminando a necessidade de o usuário abrir a porta manualmente ao chegar ao seu destino.

2.1.3 Contrapeso

Componente fundamental para o transporte balanceado de cargas com um consumo reduzido de energia. Localizado no extremo oposto e conectado com a cabina através do elemento de tração (cabos de aço ou cintas), possui a função primária de reduzir a força necessária para tracionar o equipamento e possui massa em média 40% a 50% superior a cabina. De acordo com o projeto, o contrapeso pode ficar localizado no fundo ou na lateral da caixa de corrida.

2.1.4 Caixa de corrida

Parte da edificação na qual a cabina do elevador se locomove. Os acessos à caixa de corrida são realizados através das portas de pavimento.

2.1.5 Poço

Parte inferior da caixa de corrida onde ficam localizados os amortecedores de impacto (para-choques). Esse por sua vez deve possuir uma profundidade mínima de acordo com a velocidade nominal do elevador de forma a permitir um amortecimento adequado do impacto da cabina em uma emergência.

2.1.6 Elementos de tração

Componentes que conectam a cabina ao contrapeso e possibilitam o movimento pela caixa de corrida com o auxílio da máquina de tração. O elemento de tração mais utilizado na atualidade é o cabo de aço, porém alguns fabricantes também utilizam cintas emborrachadas que possuem cabos de aço em seu interior. A quantidade de elementos e a relação de carga são características específicas de cada projeto.

2.1.7 Limitador de velocidades

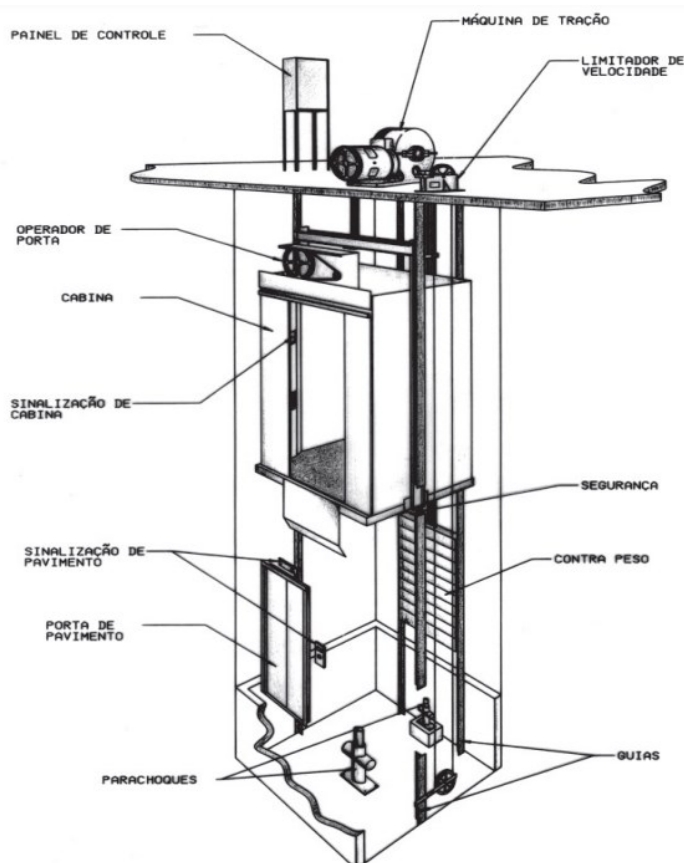
Dispositivo responsável por garantir a segurança dos usuários nesse tipo de transporte. Constituído de mecanismo de disparo centrífugo, polias, cabo de aço e interruptor, o limitador deve desligar o motor e acionar mecanicamente o aparelho de segurança da cabina (freio) quando a velocidade de descida do carro ultrapassar a velocidade nominal de um limite pré-estabelecido. Equipamentos em que o poço não fica localizado no pavimento mais baixo do edifício, e existe circulação de pessoas por baixo da projeção da caixa de corrida utilizam limitador de velocidades também no contrapeso para garantir que em uma situação de colisão do contrapeso com o para choque não haja risco de quebra da laje e consequente queda do contrapeso no pavimento inferior.

2.1.8 Quadro de comando

O quadro de comando pode ser considerado o “cérebro” do elevador, que gerencia todo o sistema de operação, processa informações e controla de forma imediata a resposta de todos os comandos como: o atendimento a chamadas, velocidade e precisão nas paradas. Sua lógica no passado era operada através de relés e em equipamentos mais recentes operada por circuitos eletrônicos com lógica digital.

As unidades de potência, ou inversores de frequência, componentes objeto de estudo nesse trabalho acadêmico, ficam na maioria das vezes localizado no interior do quadro de comando. Em alguns equipamentos sem casa de máquinas o inversor pode ficar localizado fora do quadro de comando em virtude do espaço reduzido nos armários desse modelo de equipamento.

Figura 1 - Mecanismo de funcionamento de elevadores elétricos



Fonte: Pedro Cabido, 2012.

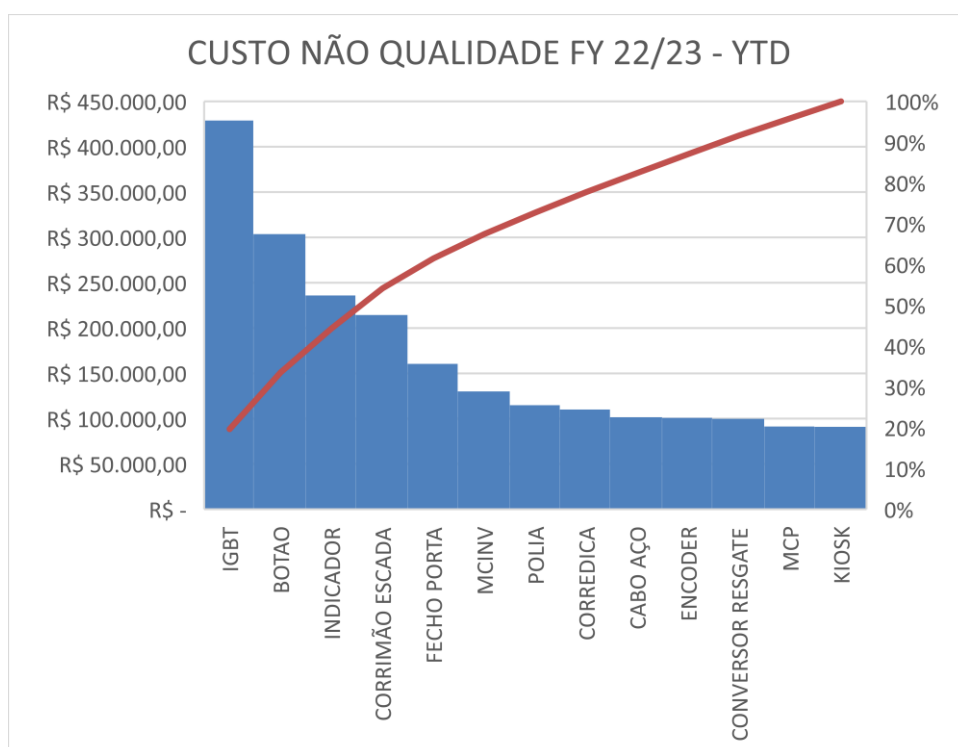
2.2 FERRAMENTAS DE QUALIDADE

Existem várias ferramentas de qualidade disponíveis para análise de causa, sendo amplamente utilizadas na área de gestão da qualidade e solução de problemas. Essas ferramentas são projetadas para auxiliar na identificação e compreensão das causas raiz de um problema, permitindo que as organizações tomem medidas corretivas efetivas. A seguir, algumas das principais ferramentas de qualidade utilizadas para análise de causa:

2.2.1 Diagrama de Pareto

A análise de Pareto (Figura 2) é uma técnica que permite classificar e priorizar os problemas ou causas com base na frequência ou impacto. Ela ajuda a identificar os 20% de fatores que causam 80% dos problemas, permitindo direcionar os esforços para as questões mais relevantes.

Figura 2 - Exemplo de Pareto

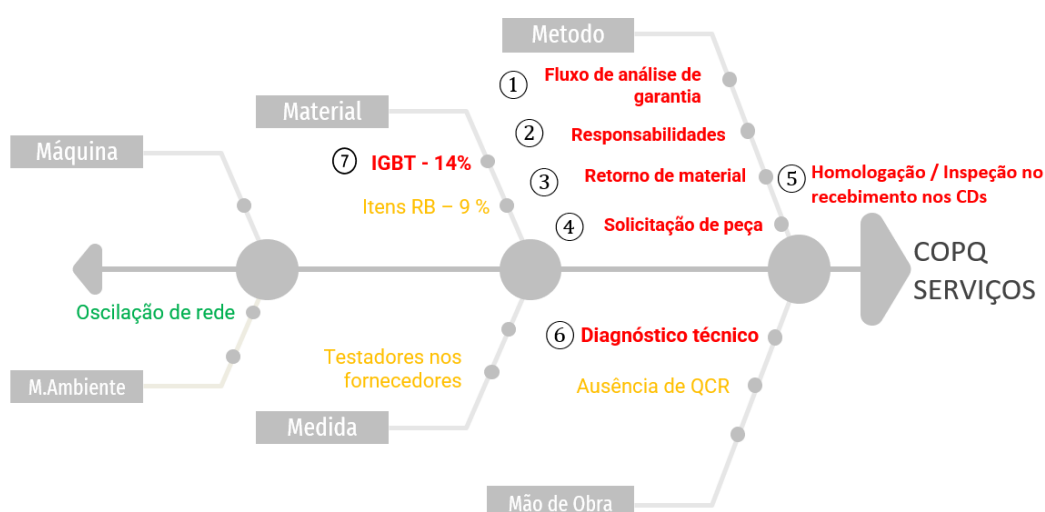


Fonte: TK Elevadores, 2023.

2.2.2 Diagrama de Ishikawa (espinha de peixe)

Diagrama de Ishikawa (diagrama de espinha de peixe ou diagrama de causa e efeito) é uma ferramenta de qualidade muito utilizada que facilita a identificação das causas potenciais de um problema (AMADA GUSMÃO, 2018). O diagrama de Ishikawa (Figura 3) é estruturado como uma espinha de peixe, onde o problema é colocado na cabeça do peixe e as principais categorias de causas são representadas como espinhas.

Figura 3 - Exemplo de Diagrama de Ishikawa



Fonte: TK Elevadores, 2023.

2.2.2.1 Máquinas

Entende-se por máquinas todas as ferramentas utilizadas no processo para realizar determinada ação. No caso da análise com unidades de potência, os motores elétricos são as máquinas envolvidas no processo.

2.2.2.2 Materiais

É a matéria-prima, ou os insumos utilizados no processo. Falando de unidades de potência, os materiais seriam os componentes eletrônicos que compõem os módulos da unidade como: resistores, capacitores, transistores, etc.

2.2.2.3 Meio Ambiente

É o local onde o processo está inserido, e pode ser considerado como o clima organizacional de uma equipe, por exemplo. No caso do estudo aqui apresentado, o meio ambiente é representado pelo local onde as unidades de potência ficam instaladas, ou seja, a casa de máquinas. Esse ambiente por ser uma área com acesso restrito muitas vezes possui deficiência na circulação de ar e podem permanecer úmidas e com temperaturas elevadas, o que acelera significativamente o processo de oxidação dos componentes.

2.2.2.4 Mão de obra

Como o próprio nome diz, mão de obra está relacionada com as pessoas envolvidas no processo. Por exemplo, a causa raiz da falha prematura com unidades de potência pode estar relacionada com o manuseio inadequado da unidade antes da instalação, ou até a conexão inadequada dos módulos.

2.2.2.5 Método

Está relacionado com os processos, procedimentos, treinamentos e metodologias aplicadas ao processo. Trazendo para a realidade do trabalho aqui apresentado, possui relação com as instruções de manuseio, procedimentos de parametrização e capacitação técnica da mão de obra empregada.

2.2.2.6 Medida

O último “M” do diagrama de Ishikawa está relacionado com a métrica aplicada para as medições do processo. Para avaliar o funcionamento inadequado de uma unidade de potência, por exemplo, utiliza-se voltímetros e amperímetros para entender a tensão e corrente aplicada em determinados pontos do circuito.

2.2.3 Diagrama de dispersão

Essa ferramenta é usada para investigar a relação entre duas variáveis e identificar se existe uma correlação entre elas. O diagrama de dispersão (Figura 4) mostra os pontos de dados em um gráfico, permitindo que a equipe visualize a tendência e a intensidade da relação. Isso

ajuda a determinar se uma variável está influenciando diretamente a outra, auxiliando na identificação das causas do problema (FERRAMENTAS DA QUALIDADE, 2016).

Figura 4 - Exemplo de Diagrama de dispersão



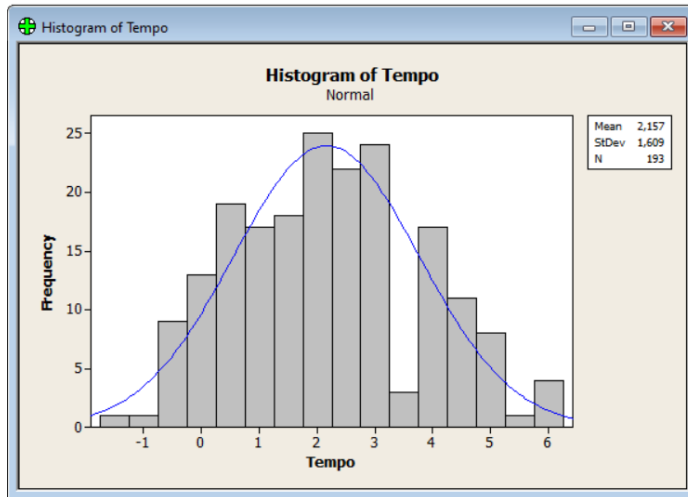
Fonte: Blog Novidá, 2023.

2.2.4 Histograma

O histograma (Figura 5) é uma ferramenta amplamente utilizada em diversas áreas, como estatística, ciências naturais, economia e engenharia. Ele permite uma compreensão visual dos dados, facilitando a interpretação e análise deles. Ao observar um histograma, é possível identificar padrões, tendências e anomalias que podem fornecer informações valiosas para a tomada de decisões, elaboração de estratégias e solução de problemas (FERRAMENTAS DA QUALIDADE, 2016).

Além disso, o histograma também pode ser utilizado para analisar a simetria dos dados, identificar a presença de *outliers* e avaliar a tendência central dos valores. Uma distribuição simétrica é representada por um histograma com uma forma de sino, enquanto uma distribuição assimétrica pode apresentar uma inclinação para a direita ou para a esquerda. *Outliers* são valores que se encontram distantes da maioria dos dados e podem ser visualizados como barras isoladas ou muito mais altas do que as demais.

Figura 5 - Exemplo de Histograma



Fonte: TK Elevadores, 2022.

2.2.5 5 Porquês

Essa é uma técnica simples, porém eficaz, para identificar a causa raiz de um problema. Consiste em fazer repetidamente a pergunta “Por quê?” até chegar à causa fundamental (Figura 6). O objetivo é explorar as camadas superficiais de causas e chegar à causa raiz, abordando a pergunta “Por quê?” cinco vezes ou mais, se necessário. Essa técnica ajuda a evitar soluções superficiais, focando nas causas subjacentes do problema. (ENAPE, 2013)

Figura 6 - Exemplo de 5 porquês

Causa-Raiz	
1º PQ	Porque o resgate não atuou
2º PQ	Porque faltou alimentação para a acionamento dos componentes do resgate.
3º PQ	Porque a bateria não foi capaz de suprir a necessidade energética do conversor no momento do resgate.
4º PQ	Porque a bateria estava descarregada.
5º PQ	Porque a bateria havia consumido todas sua reserva de energia após o resgate ter sido acionado em um período inferior a 24h, e a bateria não teve tempo hábil para a recarga completa que ocorre de 24 à 48h.

Fonte: TK Elevadores, 2022.

2.2.6 Plano de Ação 5W2H

O Plano de Ação 5W2H (Figura 7) é uma ferramenta utilizada para definir as ações necessárias para solucionar um problema. A ferramenta é aplicada respondendo às seguintes perguntas: *What?* (o que?), *Why?* (por quê?), *Where?* (onde?), *When?* (quando?), *Who?* (quem?), *How?* (como?) e *How Much?* (quanto?) (SITE SOFTWARE, 2023).

Figura 7 - Exemplo de plano de ação 5W2H

Ferramenta 5W2H com priorização GUT											
5W					2H		Status	Priorização			
What?	Why?	Where?	Who?	When?	How?	How much?					
O que?	Por que?	Onde?	Quem?	Quando?	Como?	Quanto?	Situação	G	U	T	GUT
Realizar auditoria de 5S	Garantir os benefícios do programa	Almoxarifado	André	10/10/2017	Seguir roteiro de inspeção	R\$ 450,00	Pendente	5	4	5	100
Limpeza da área de produção	Garantir a qualidade do produto	Área de Produção	Nelson	25/10/2017	Com pano, balde, detergente e água	R\$ 150,00	Atrasada	5	5	3	75
Enviar molde para jateamento	Reduzir defeitos das peças	Jatex	Carlos	15/11/2017	Retirar molde de produção e enviar com nota para conserto	R\$ 5.450,00	Concluída	4	4	4	64

Fonte: Pluga, 2019.

Essas são apenas algumas das ferramentas de qualidade disponíveis para análise de causa. Cada ferramenta tem sua própria utilidade e pode ser aplicada em diferentes cenários, dependendo da natureza e complexidade do problema.

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 DEFINIÇÃO DO TIPO DE PESQUISA

A pesquisa realizada para a análise de dados segue uma abordagem quantitativa, utilizando técnicas estatísticas e exploratórias para examinar os dados coletados. Esse tipo de pesquisa busca obter informações objetivas e mensuráveis sobre um fenômeno, permitindo a identificação de padrões, tendências e relações entre variáveis.

3.2 JUSTIFICATIVA DO TIPO DE PESQUISA

A abordagem quantitativa foi selecionada devido à natureza dos dados coletados e aos objetivos da pesquisa. A análise quantitativa é apropriada quando se deseja obter uma compreensão mais precisa e detalhada dos dados, possibilitando uma análise sistemática e estatisticamente robusta.

3.3 COLETA DE DADOS

A coleta de dados para uma análise eficaz é um processo fundamental para obter, organizar e registrar informações relevantes. No contexto do SAP(Sistema de gestão utilizado pela TKE), a coleta de dados pode ser feita de várias maneiras para fornecer insights valiosos.

A primeira etapa é identificar as fontes de dados relevantes no SAP. Isso pode incluir transações específicas, tabelas de banco de dados ou relatórios personalizados que contêm as informações necessárias para análise. Uma compreensão clara de seus requisitos de análise é fundamental para decidir quais dados coletar.

Depois de identificar as fontes de dados, é necessário selecionar os dados certos para análise. Isso pode incluir a definição de critérios, como a duração da análise. Tipo de garantia e outros filtros relacionados. A seleção cuidadosa dos dados garante que apenas as informações relevantes sejam incluídas na análise e evita sobrecarga desnecessária de informações.

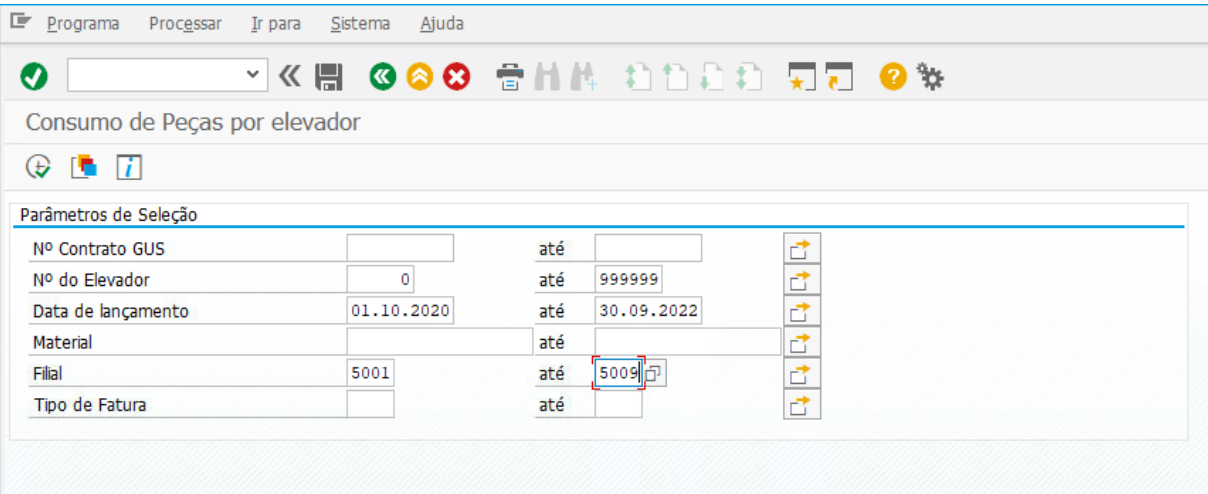
Após a extração dos dados é necessário organizá-los e prepará-los para análise. Isso inclui formatação padrão e limpeza de inconsistências, como registros de estorno. Em seguida, estruturar os dados de acordo com as necessidades da análise. É importante garantir a integridade e a qualidade dos dados coletados antes de prosseguir.

Como a TK Elevadores faz parte de um grupo germânico, o ano fiscal seguido por todas as unidades no mundo seguem o mesmo padrão, de outubro a setembro do ano seguinte. Consequentemente, o trabalho aqui apresentado analisa os dados de 1º de outubro de 2021 a 30 de setembro de 2022, representando o ano fiscal 21/22.

3.3.1 Saídas em garantia

No trabalho aqui apresentado, o primeiro dado coletado foi o registro de saídas em garantia através da transação ZV09 (Transação de saídas de materiais) utilizando os parâmetros a seguir:

Figura 8 - Transação ZV09 utilizada para a coleta de dados



Parâmetros de Seleção		
Nº Contrato GUS		até
Nº do Elevador	0	até
Data de lançamento	01.10.2020	até
Material		até
Filial	5001	até
Tipo de Fatura		até

Fonte: SAP TK Elevadores, 2023.

3.3.1.1 Tipos de operações

No SAP, as saídas de materiais possuem diferentes tipos de operações, cada uma com sua finalidade e processo específico. Essas operações são usadas para controlar e registrar a movimentação de materiais dentro da empresa. Na sequência, os tipos de operações para movimentação de materiais no almoxarifado da empresa.

Tabela 1 - Operações existentes

Transação	Descrição
ZCPO	Crédito de Sobra de Obra
ZRCI	Devolução de Integral
ZAM1	Garantia de 01 Ano de Mod. Integral
ZGM1	Garantia de 01 Ano de Mod. Parcial
ZAE1	Garantia de 01 Ano de Obra Nova
ZAMO	Garantia de AEM de Mod. Integral
ZGMP	Garantia de AEM de Mod. Parcial
ZAEM	Garantia de AEM de Obra Nova
ZCON	Remessa de Consumo
ZCOR	Remessa em Cortesia
ZRGA	Remessa em Garantia de Venda
ZREI	Remessa em Integral
ZCAL	Remessa em Recall
ZESP	Remessa Específica (Espelhos)
YOMP	Venda de Modernização
YZMP	Venda de Modernização
ZZMP	Venda de Modernização
ZVEP	Venda de Peças 100% Material c/ Contrato Manut.
ZVEN	Venda de Peças 100% Material s/ Contrato Manut.
ZVSP	Venda de Peças 100% Serviço c/ Contrato Manut.
ZVPS	Venda de Peças 100% Serviço c/ Contrato Manut.
YORC	Venda de Reparo
YRVS	Venda de Reparo
YZOR	Venda de Reparo
ZORC	Venda de Reparo
ZSUC	Venda de Sucata

Transação	Descrição
ZFUT	Venda Futura
ZD1	Devolução ZVEN
ZD2	Devolução ZVEP
ZD3	Devolução ZORC
ZD5	Devolução ZOMP
ZDCO	Devolução ZCOR
ZDE1	Retorno ZAE1
ZDM1	Retorno ZAM1
ZDMP	Devolução ZZMP/YZMP
ZDOB	Devolução Imobilizado
ZDOR	Retorno ZZOR
ZDSP	Retorno ZVPS
ZDVS	Devolução ZRVS
ZMOB	Remessa de Imobilizado
ZMOI	Venda de Modernização
ZMPS	Venda de Modernização
ZODS	Devolução ZOVS
ZON2	Venda Obra Nova
ZRAC	Retorno ZVAC
ZRAE	Retorno ZAEM
ZRET	Retorno ZRGA
ZRM1	Devolução ZGM1
ZRMO	Retorno ZAMO
ZRMP	Devolução ZGMP
ZRRI	Retorno Imobilizado
ZRSI	Remessa em Semi Integral
ZVAC	Venda Acessibilidade

Fonte: SAP TK Elevadores, 2023.

Nos dados extraídos pela transação ZV09, é necessário realizar um filtro para extrair apenas as solicitações que envolvam garantia de 1 ano para elevadores recém-instalados e suas respectivas transações de devolução (ZAE1 e ZDE1). Também foi considerado vendas de itens a clientes onde itens falharam em período inferior a 1 ano, e as suas respectivas operações de devolução (ZRGA e ZRET).

3.3.2 Laboratório

Outro dado muito importante na construção da análise realizada nesse trabalho foram os dados de reparos realizados pelo laboratório da empresa em unidades de potência no período analisado.

Dentro da TKE, o laboratório de reparo pertence ao departamento ITS (*International Technical Services*), que fica localizado na cidade de São Paulo – SP (Figura 9). Dentre as reponsabilidades do departamento está a interface de produtos TKE com produtos de outras marcas, assim como a assistência técnica de *fingers*, esteiras, escadas rolantes e o reparo de componentes de alto valor agregado, como é o caso das unidades de potência. Juntamente com o laboratório fica o Centro de distribuição Lapa (Figura 10) responsável por realizar a logística dos materiais.

Figura 9 - Visita realizada a ITS em maio 2023.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 10 - Equipe de logística do centro de distribuição da ITS.



Fonte: Autor, 2023.

O procedimento de reparo adotado pelo laboratório possui um controle rigoroso de testes e verificações para assegurar a integridade do item remanufaturado a ser disponibilizado para consumo.

Para melhor entendimento sobre os principais modos de falha apresentados no laboratório, é de suma importância o entendimento sobre as etapas de teste realizadas com as unidades que retornam para reparo.

3.3.2.1 Solicitação para reparo em módulos eletrônicos (SRM)

A solicitação para reparo em módulos eletrônicos (SRM), funciona como um *checklist* de etapas a serem seguidas onde todas as etapas são registradas para emissão do laudo final (W. L. FRANCEZ, 2022). A seguir, cada uma das etapas do processo:

3.3.2.1.1 Teste a frio

O primeiro passo é realizar o teste a frio, que consiste em verificar o funcionamento básico da unidade de potência em condições normais de temperatura ambiente, sem a aplicação de carga. Nesse estágio, são verificados componentes como ponte retificadora, resistência entre fases, curto com carcaça e integridade dos IGBTs de fase e frenagem.

3.3.2.1.2 Higienização

Após o teste a frio, a unidade de potência passa por um processo de higienização. Essa etapa envolve a limpeza minuciosa da unidade, removendo qualquer sujeira, resíduo ou excesso de lubrificante que possa ter se acumulado durante a vida do componente. A higienização é importante para evitar a contaminação da giga de testes e eliminar a ocorrência de falhas relacionadas a curtos fechados por acúmulo de resíduos e umidade nos circuitos eletrônicos, além de garantir a durabilidade e o aspecto estético da unidade de potência.

3.3.2.1.3 Teste de bancada

Uma vez higienizada, a unidade de potência passa por um teste de bancada. Esse teste é realizado em um ambiente controlado, onde são aplicados sinais e cargas simuladas para verificar o desempenho da unidade em condições específicas. É nessa etapa que são analisados os testes de disparos dos IGBTs e funcionamento dos ventiladores de arrefecimento.

3.3.2.1.4 Reparo

Se durante os testes anteriores forem identificadas quaisquer falhas que resultem na substituição de componentes, é necessário avaliar se o custo com reparo não se torna superior ao custo de uma unidade nova. Caso o valor do reparo seja viável, os componentes danificados ou com mau funcionamento são substituídos ou reparados de acordo com os procedimentos estabelecidos. É fundamental garantir que todas as correções sejam feitas de maneira adequada, seguindo as especificações técnicas do fabricante.

3.3.2.1.5 Teste com carga

Após o reparo, a unidade de potência passa pelo teste final, que envolve a aplicação de carga real para verificar o desempenho em condições de operação normais. Nessa etapa, a unidade é submetida a diferentes níveis de carga e são avaliados parâmetros como temperatura, pressão, ruído e eficiência. Esse teste com carga é fundamental para garantir que a unidade de potência esteja pronta para operar em plena capacidade e atender aos requisitos de desempenho esperados.

Cada uma dessas etapas é essencial para assegurar a qualidade e a confiabilidade da unidade de potência. Ao seguir um processo estruturado de teste, desde o teste a frio até o teste

com carga, é possível identificar e corrigir quaisquer problemas, garantindo que a unidade de potência esteja pronta para operar de forma eficiente e segura.

A base de dados do laboratório é armazenada em uma planilha do Excel disponível na rede local da ITS, e foi uma ferramenta fundamental para a análise de causa de falhas das unidades de potência. Essa planilha contém informações valiosas e detalhadas sobre as unidades de potência, incluindo registros de reparos anteriores, características técnicas e histórico de falhas. Com essas informações, é possível direcionar esforços para a investigação da causa raiz e implementar medidas corretivas adequadas.

3.3.3 Reportes de campo (QCR)

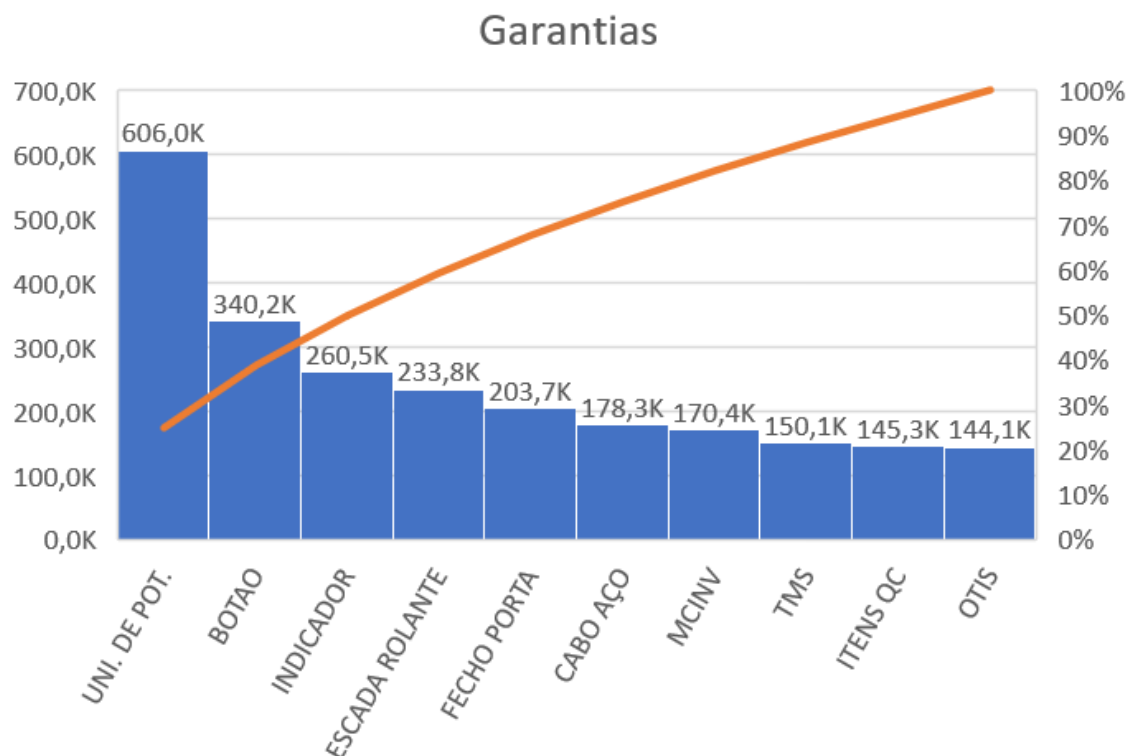
O módulo QCR (Registro de Controle de Qualidade) do sistema Gensuite é uma plataforma utilizada como portal de registro de não conformidades encontradas em campo pela TKE. Esse sistema desempenha um papel fundamental na gestão da qualidade, permitindo o monitoramento e abrindo um canal de comunicação entre as equipes de campo e a manufatura.

O QCR foi projetado para registrar e documentar todas as não conformidades encontradas em relação aos produtos fornecidos pela TKE, desde pequenos problemas de funcionamento até questões mais complexas relacionadas à segurança e ao desempenho. Através dessa plataforma, os técnicos de campo podem registrar detalhes importantes sobre as não conformidades, incluindo fotos e vídeos sobre a falha, o que auxilia de forma significativa as análises de causa.

3.4 ANÁLISE DAS GARANTIAS

A análise realizada utilizando o diagrama de Pareto teve como objetivo identificar e priorizar a análise dos principais itens com recorrência nas contas de garantia. O diagrama de Pareto é uma ferramenta gráfica que permite visualizar de forma clara a distribuição das causas em ordem decrescente de importância, destacando aquelas que contribuem significativamente e custo com não qualidade. O Gráfico 1 traz os itens solicitados em garantia que possuem maior relevância nas contas no período analisado.

Gráfico 1 - TOP 10 Componentes solicitados em garantia



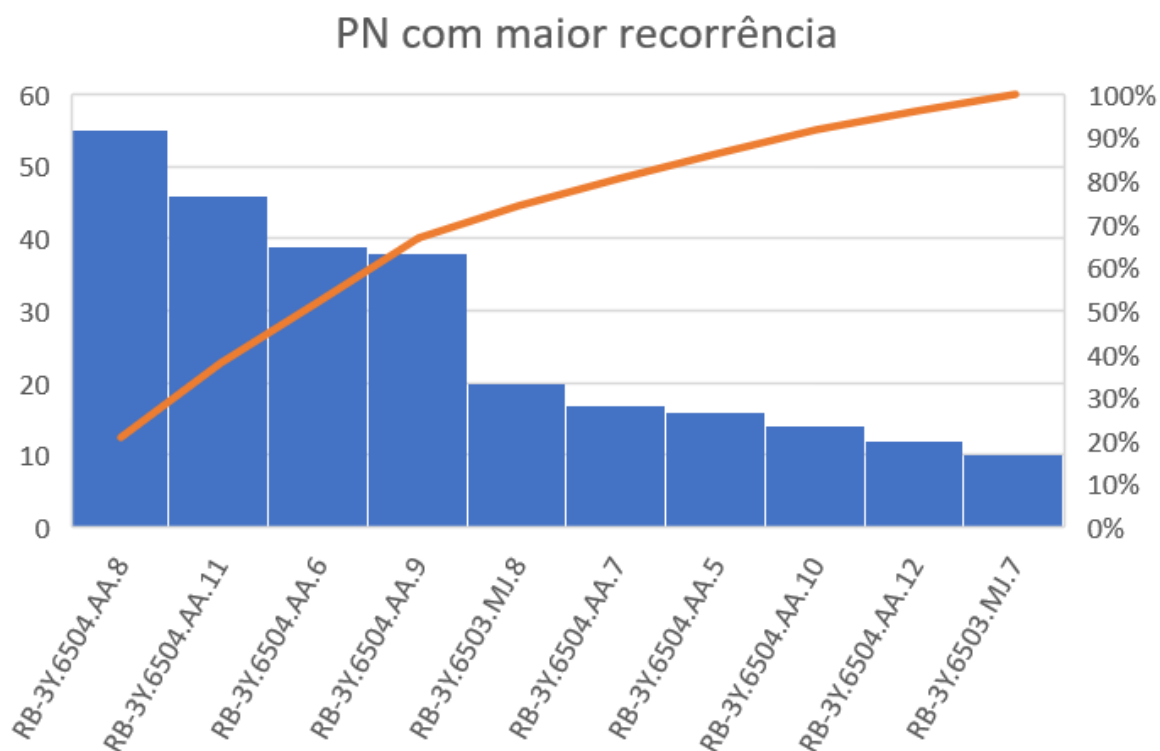
Fonte: SAP TK elevadores, 2023.

A partir desse dado fica claro que as falhas de unidades de potência (IGBT) possuem uma relevância significativa nas contas de garantia, o que motivou a análise aqui apresentada nesse trabalho acadêmico.

3.4.1 Modelos de unidade com maior relevância nas saídas de garantia

O Gráfico 2 destaca as unidades de potência com maior relevância nas solicitações de garantia. Esse gráfico foi elaborado com base em dados coletados da transação ZV09 no período de 01.10.2021 a 30.09.2022. A análise dessas informações é de extrema importância para a empresa, pois permite entender quais modelos específicos estão apresentando problemas recorrentes e causando um impacto significativo nas solicitações de garantia.

Gráfico 2 - Códigos com maior recorrência na conta de garantias

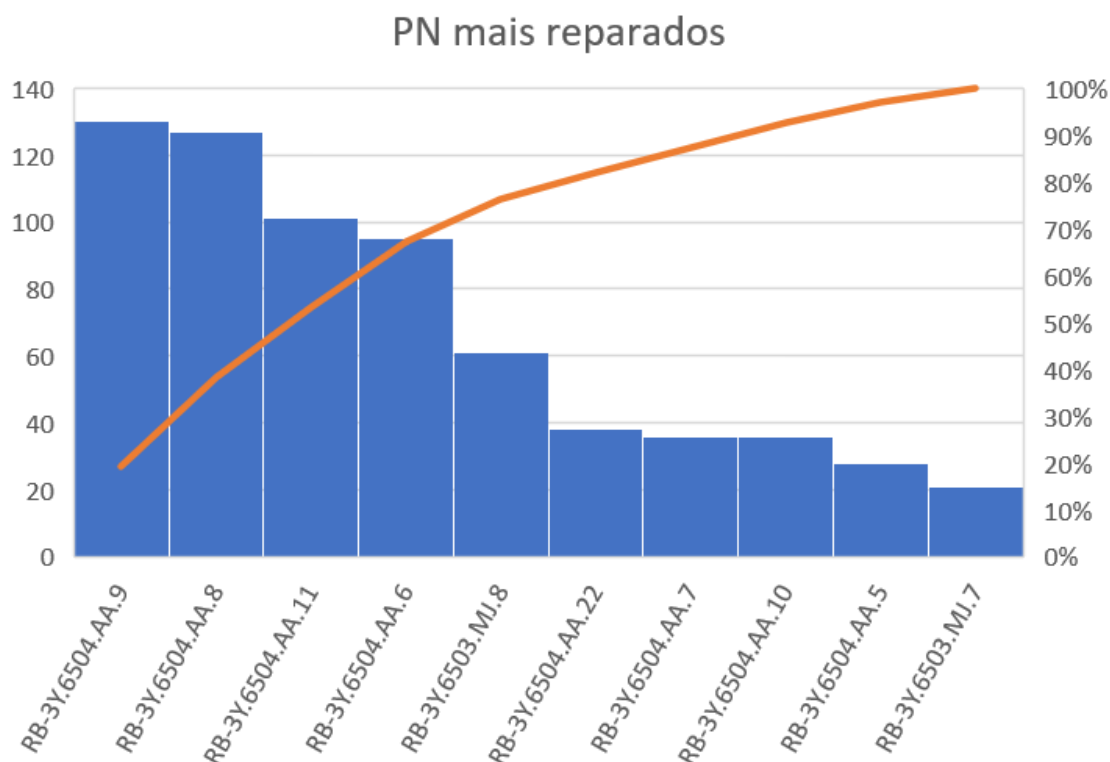


Fonte: TK Elevadores, 2023.

3.4.2 Modelos de unidade com maior relevância no reparo

Para validar a informação obtida pela relação de saídas em garantia, é necessário comparar também com as entradas para reparo no laboratório ITS. Utilizando novamente a ferramenta Pareto uma comparação pode ser realizada com o objetivo identificar os modelos de unidades com maior quantidade de reparo. No Gráfico 3 é possível verificar que mais de 80 % das entradas do laboratório e das saídas de garantia são referentes aos mesmos componentes, o que indica coerência nos dados analisados.

Gráfico 3 - TOP 10 unidades de potência reparadas pelo laboratório



Fonte: Tabela de dados Lab. de reparos ITS, 2023.

Na Tabela 2 é possível verificar as características técnicas das unidades com maior recorrência de reparo. Através da tabela é possível visualizar que não existe um padrão de falha relativo à corrente máxima fornecida pela unidade. Também é possível perceber que 80% dos modelos possuem tensão de entrada 380 V.

Tabela 2 - Tabela das características técnicas das unidades com maior recorrência

Modelo	Fabricante	Tensão (V)	Corrente (A)	F (kHz)
RB-3Y.6504.AA.9	WEG	380	36	8
RB-3Y.6504.AA.8	WEG	380	24	8
RB-3Y.6504.AA.11	WEG	380	84	8
RB-3Y.6504.AA.6	WEG	380	20	8
RB-3Y.6503.MJ.8	SEMIKRON	380	24	8
RB-3Y.6504.AA.22	WEG	380	13	8
RB-3Y.6504.AA.7	WEG	380	84	8
RB-3Y.6504.AA.10	WEG	380	57	8
RB-3Y.6504.AA.5	WEG	220	33	8
RB-3Y.6503.MJ.7	SEMIKRON	220	42	8

Fonte: SAP TK Elevadores, 2023.

3.5 DEFEITOS APRESENTADOS NO REPARO

Na sequência, o Gráfico 4 destaca os principais defeitos identificados durante o processo de reparo de unidades de potência com maior ocorrência de garantias. Esse gráfico foi elaborado com base em dados de reparo da ITS. Essa análise é essencial para compreender os principais desafios enfrentados e para direcionar esforços e recursos de maneira eficiente no processo de reparo.

A visualização do Gráfico 4 proporciona uma visão clara dos problemas mais frequentes encontrados durante o reparo.

Gráfico 4 - Modos de falha mais recorrentes no reparo



Fonte: Base ITS TK Elevadores, 2023.

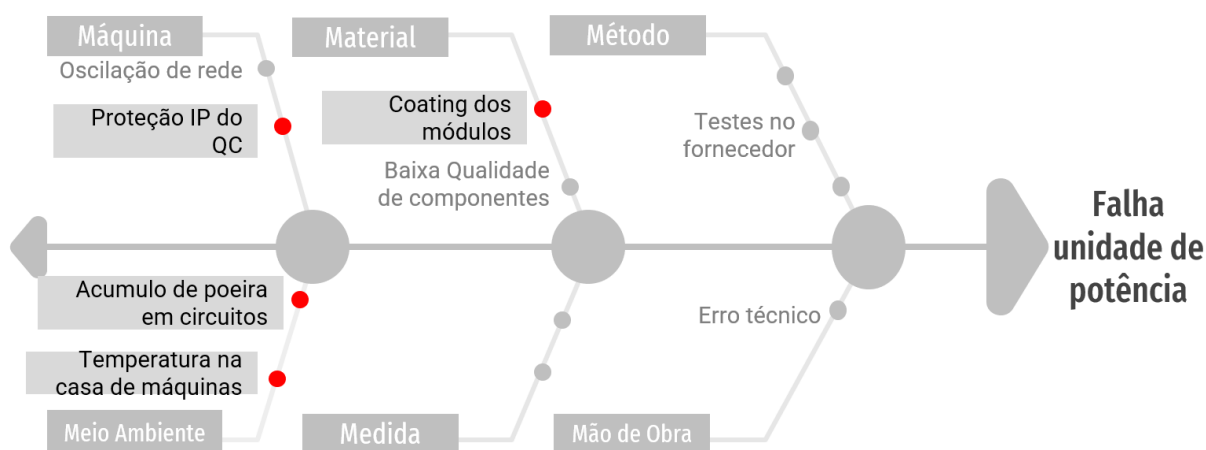
3.6 ANÁLISE DE CAUSA

A fim de investigar mais a fundo os principais modos de falha identificados no gráfico anterior, é utilizado o diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito ou diagrama espinha de peixe. Esse método de análise visual nos auxilia a identificar as possíveis causas raiz que estão contribuindo para as falhas nas unidades de potência.

O diagrama de Ishikawa é uma ferramenta eficaz para organizar e categorizar diferentes fatores que podem estar relacionados às falhas. Ele nos permite visualizar de maneira clara as principais categorias de causas potenciais, como mão de obra, máquinas, métodos, materiais, meio ambiente e medidas, que podem influenciar o desempenho das unidades de potência.

Com a visualização clara das categorias e das causas potenciais no diagrama de Ishikawa, é possível realizar discussões em equipe, envolvendo profissionais de diferentes áreas, para identificar e validar as causas raiz mais relevantes e desenvolver um plano de ação adequado. Essas ações podem incluir a implementação de melhorias nos processos de fabricação, treinamento da equipe, controle de qualidade mais rigoroso, atualização de componentes ou qualquer outra medida que seja necessária para eliminar ou minimizar as falhas recorrentes nas unidades de potência.

Figura 11 - Diagrama de Ishikawa das falhas encontradas



Fonte: TK Elevadores, 2023.

3.6.1 Acúmulo de poeira em circuitos

O acúmulo de poeira em circuitos eletrônicos é uma preocupação recorrente e pode ser uma das causas potenciais de falhas nesses sistemas. A presença de poeira nos circuitos pode interferir no desempenho adequado dos componentes, gerar mau funcionamento e até mesmo levar a danos permanentes (A. SILVA e J. M.C. FERNANDES, 2013).

A poeira contém partículas minúsculas que podem se depositar nas placas de circuito impresso, conectores, dissipadores de calor e outros componentes eletrônicos. Com o tempo, essas partículas podem se acumular e formar uma camada isolante que prejudica a dissipação de calor, aumenta a resistência elétrica e compromete a conexão adequada entre os componentes.

O acúmulo de poeira nos circuitos pode causar vários problemas. Um dos principais é o superaquecimento dos componentes eletrônicos, pois a poeira atua como uma barreira que

impede a dissipação eficiente do calor gerado durante a operação. Isso pode levar a um aumento da temperatura interna dos componentes, reduzindo sua vida útil.

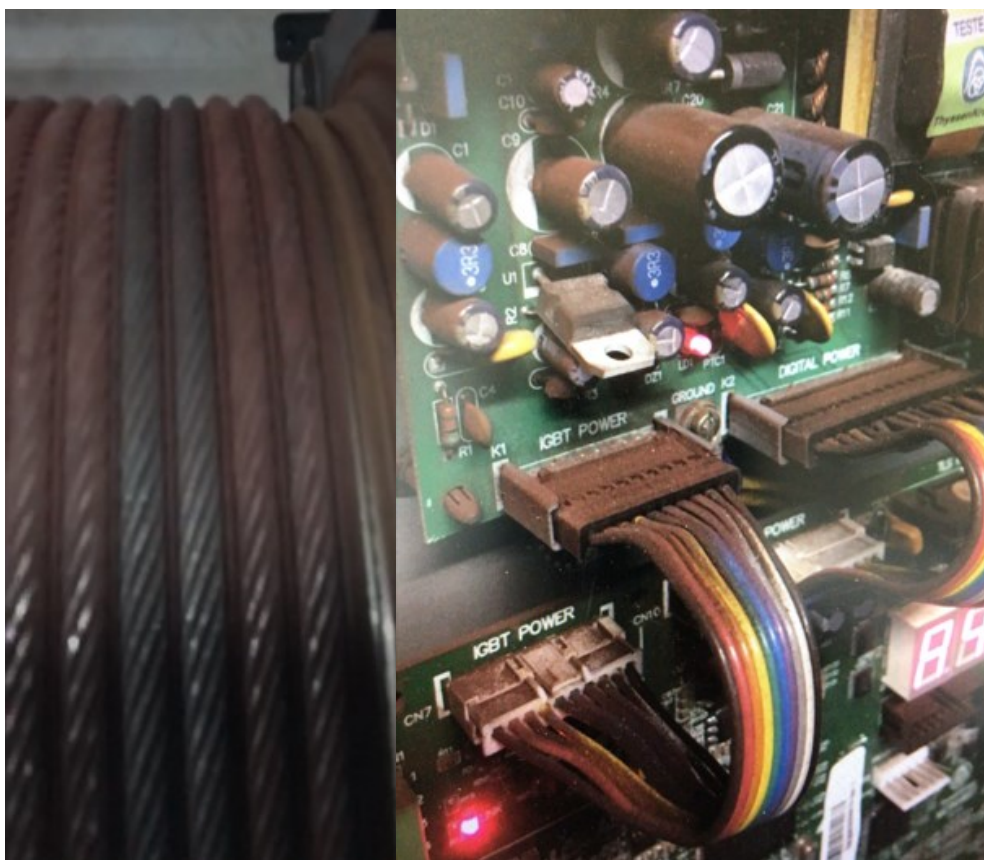
Além disso, a poeira pode causar curtos-circuitos entre os componentes eletrônicos. Quando partículas condutoras se acumulam em pontos críticos, como trilhas condutoras ou pinos de conexão, elas podem criar caminhos indesejados para o fluxo de corrente elétrica. Isso pode levar a mau funcionamento, desligamentos inesperados e até mesmo danos permanentes aos circuitos.

Segundo Andreia da Silva e José F. (2013), outra questão importante é a interferência nos sinais elétricos. A poeira pode afetar a qualidade dos sinais transmitidos, causando ruídos e distorções. Isso pode resultar em perda de precisão e confiabilidade nos sistemas eletrônicos, especialmente em aplicações sensíveis, como equipamentos de áudio, comunicações ou medição de sinais.

Esse modo de falha possui relação direta com o problema de falha em placas eletrônicas de controle, devido a curtos fechados entre as trilhas do módulo. Existe também uma relação interessante com o modo falha de “Não apresentou defeito”, pois muitas vezes após a higienização da unidade os componentes voltam a funcionar. O problema é intensificado por um fenômeno natural que ocorre com os cabos de tração de elevadores instalados em áreas litorâneas, a oxidação.

Na Figura 12 é possível ver o acúmulo de óxido de ferro nos componentes eletrônicos do quadro de comando em um equipamento que possuía os cabos de tração em um estado avançado de oxidação.

Figura 12 - Acúmulo de óxido de ferro dos cabos de tração nos circuitos



Fonte: TK Elevadores, 2023.

3.6.2 *Coating* dos módulos

O acúmulo de poeira em circuitos eletrônicos que possuem uma aplicação parcial de *coating* pode resultar em problemas significativos (Figura 13). O *coating*, ou revestimento protetor, é uma camada aplicada nos componentes eletrônicos para protegê-los contra a umidade, corrosão e outros agentes externos. No entanto, quando ocorre o acúmulo de poeira nessas áreas não revestidas, podem surgir complicações.

Segundo J. Starlet Vimala e M. Natesan, Susai Rajendran (2009), a presença de poeira nas áreas não revestidas pode afetar a dissipação de calor. O *coating* pode ajudar na dissipação do calor gerado pelos componentes eletrônicos, mas se houver acúmulo de poeira nessas áreas desprotegidas, o isolamento térmico pode ser comprometido. Isso pode levar ao superaquecimento dos componentes, reduzindo sua vida útil e aumentando o risco de falhas prematuras.

Outro aspecto preocupante é que a poeira pode conter partículas condutoras, como metais ou substâncias corrosivas. Essas partículas podem causar curtos-circuitos e danos aos

componentes eletrônicos, especialmente se houver contato direto com áreas sensíveis, como trilhas condutoras ou pontos de conexão. Isso pode levar a falhas completas dos circuitos ou até mesmo danos irreparáveis, resultando em custos elevados de reparo ou substituição de componentes.

Figura 13 - Aplicação de *coating* parcial na placa de controle CIT4



Fonte: Autor, 2023.

3.6.3 Temperatura

A temperatura é um fator crucial que influencia diretamente o funcionamento de um IGBT e desempenha um papel significativo em sua eficiência e confiabilidade (J.P. BAZZO, 2010).

O funcionamento adequado de um IGBT depende de uma temperatura controlada. Quando a temperatura aumenta, vários efeitos negativos podem ocorrer. Primeiramente, a resistência interna do dispositivo aumenta com o aumento da temperatura. Isso resulta em maior

dissipação de potência e perdas por condução, o que, por sua vez, leva a um aumento da temperatura.

Segundo M. Wendling (2011), o aumento da temperatura pode afetar o isolamento entre o *gate* e o semicondutor, comprometendo a capacidade do IGBT de bloquear tensões altas quando necessário. Essa deterioração do isolamento pode resultar em falhas de curto-circuito e, em casos extremos, danos permanentes no dispositivo.

Outro efeito negativo da temperatura elevada é o aumento da taxa de recombinação de portadores de carga. Isso pode levar a um aumento na corrente de fuga, mesmo quando o IGBT está desligado, causando dissipação de energia indesejada e redução da eficiência do sistema.

A temperatura também influencia a vida útil e a confiabilidade do IGBT. O estresse térmico repetido devido a flutuações de temperatura pode levar à fadiga dos materiais, o que, por sua vez, aumenta o risco de falhas prematuras do dispositivo. Portanto, é fundamental manter a temperatura dentro dos limites especificados pelo fabricante para garantir a vida útil esperada do IGBT.

3.6.4 Proteção IP do quadro de comando

A proteção IP (*Ingress Protection*), ou proteção de entrada, é um aspecto fundamental a ser considerado ao projetar um quadro de comando que contém componentes sensíveis ao acúmulo de poeira. A poeira pode representar uma ameaça significativa para o funcionamento adequado desses componentes, podendo causar mau funcionamento, curtos-circuitos e até mesmo danos permanentes.

O sistema de classificação IP é amplamente utilizado para descrever o nível de proteção oferecido por invólucros ou gabinetes contra a entrada de poeira, líquidos e outros corpos estranhos. A classificação é composta por dois dígitos, onde o primeiro indica o grau de proteção contra a poeira e o segundo indica o grau de proteção contra a entrada de líquidos (FIBRACEM, 2021).

Ao selecionar a proteção IP apropriada para um quadro de comando com componentes sensíveis ao acúmulo de poeira, é necessário considerar o ambiente em que o equipamento deve ser instalado. O primeiro dígito da classificação IP indica o nível de proteção contra a poeira, variando de 0 (sem proteção) a 6 (proteção total contra poeira). Portanto, para evitar danos causados pela poeira, é recomendado selecionar um nível de proteção IP adequado, garantindo que o invólucro seja capaz de prevenir a entrada de partículas de poeira em quantidade suficiente para causar problemas.

O índice de proteção aplicado aos armários da principal linha de elevadores da TKE é o IP20.

A Figura 14 mostra a tabela que contém todos os níveis de proteção IP.

Figura 14 - Tabela de proteção IP

1º NUMERAL CARACTERÍSTICO	2º NUMERAL CARACTERÍSTICO								
	Grau de proteção contra o ingresso prejudicial de água								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Grau de proteção contra objetos sólidos	Não protegido	Protegido contra quedas verticais de gotas d'água	Protegido contra quedas verticais de gotas d'água para uma inclinação máxima de 15°	Protegido contra água aspergida de um ângulo de $\leq 60^\circ$	Protegido contra projeções d'água	Protegido contra jatos d'água	Protegido contra ondas do mar ou jatos potentes	Protegido contra imersão temporária	Protegido contra submersão
Não protegido	0	IP 00	IP 01	IP 02					
Protegido contra objetos sólidos com $\varnothing$ maior que 50 mm	1	IP 10	IP 11	IP 12	IP 13				
Protegido contra objetos sólidos com $\varnothing$ maior que 12,5 mm	2	IP 20	IP 21	IP 22	IP 23				
Protegido contra objetos sólidos com $\varnothing$ maior que 2,5 mm	3	IP 30	IP 31	IP 32	IP 33	IP 34			
Protegido contra objetos sólidos com $\varnothing$ maior que 1 mm	4	IP 40	IP 41	IP 42	IP 43	IP 44	IP 45	IP 46	
Protegido contra poeira Depressão: 200 mm de coluna d'água Máxima aspiração de ar: 80 vezes o volume do invólucro	5				IP 53	IP 54	IP 55	IP 56	
Totalmente protegido contra poeira Mesmo procedimento de teste.	6					IP 65	IP 66	IP 67	IP 68

Fonte: Fibracem, 2021

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de causa realizada revelou que a queima prematura das unidades de potência é influenciada por 5 fatores principais: a falta de proteção IP no quadro de comando, a aplicação parcial de *coating* nos módulos das unidades de potência, o acúmulo de poeira com presença de óxido de ferro proveniente dos cabos de tração do elevador e a temperatura elevada de funcionamento em virtude do acúmulo excessivo de poeira sobre os módulos.

A índice reduzido de proteção IP no quadro de comando expõe os componentes sensíveis às condições ambientais adversas, como a entrada de poeira e umidade. A poeira, por sua vez, pode se acumular nos módulos das unidades de potência, causando problemas de isolamento e superaquecimento levando ao aumento da resistência elétrica e até mesmo curtos-circuitos. A umidade também pode levar à corrosão dos componentes, afetando negativamente sua vida útil e desempenho.

Além disso, a aplicação parcial de *coating* nos módulos das unidades de potência pode deixar áreas desprotegidas, permitindo a penetração de poeira e umidade. Essas partículas estranhas podem causar danos aos componentes e interferir no fluxo adequado de corrente elétrica, levando a falhas prematuras.

Outro fator identificado na análise de causa é a presença de óxido de ferro proveniente dos cabos de tração do elevador. O óxido de ferro é uma substância corrosiva que pode se depositar nos módulos das unidades de potência. Essa corrosão pode causar danos aos componentes e aumentar a resistência elétrica, resultando em superaquecimento e eventual queima das unidades de potência.

4.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

É importante ressaltar que toda pesquisa apresenta limitações. Neste estudo, a principal limitação tem a ver com a inconsistência dos dados coletados.

Apesar da TKE ser uma empresa multinacional presente em diversos países ao redor do mundo, existe um problema crônico de inconsistência de dados no bloco da América Latina (BU-LA) ao qual o Brasil é pertencente. Tal característica é derivada de um crescimento em silos, onde as unidades de negócio (filiais) desenvolveram ao longo dos anos sua maneira própria de gerir o negócio com sistemas e bancos de dados paralelos.

Os dados do laboratório, por exemplo, estão disponíveis somente na rede local da ITS com acesso restrito, sendo possível o acesso somente após a autorização dos responsáveis pela área.

Dados do registro de não conformidades de campo não alimentam reparos realizados em laboratório e não se comunicam com os registros de garantias expedidas. Ou seja, a falta de comunicação dos sistemas que compõe o controle de qualidade dificulta a visualização em tempo real da origem dos problemas.

5 CONCLUSÃO

Com base no estudo realizado, é possível concluir que a atualização dos índices de proteção IP nos armários dos quadros de comando e a realização de limpezas periódicas são recomendações importantes para a TK Elevadores. O baixo índice de proteção IP expõe os componentes sensíveis a fatores ambientais adversos, como poeira e umidade, que podem levar à queima prematura das unidades de potência. Ao garantir a proteção adequada dos armários, a empresa pode preservar a integridade dos componentes e reduzir os riscos de falhas.

Além disso, a limpeza periódica dos componentes, especialmente a remoção da poeira acumulada, pode ser uma medida efetiva na redução dos impactos negativos. A poeira, quando presente em grandes quantidades, pode causar curtos-circuitos, aumento da resistência elétrica e comprometer o desempenho dos módulos das unidades de potência. Realizar limpezas regulares, utilizando métodos adequados, contribui para manter os componentes em condições ideais de funcionamento.

Portanto, com base nas conclusões deste estudo, é altamente recomendado que a TK Elevadores invista na reavaliação do índice de proteção IP dos armários dos quadros de comando e estabeleça uma rotina de limpeza periódica. Essas ações preventivas ajudarão a preservar a vida útil dos componentes, minimizar as falhas prematuras e garantir o funcionamento confiável dos sistemas de elevadores. Além disso, essas medidas também podem resultar em economia de custos a longo prazo, evitando reparos e substituições desnecessárias de unidades de potência. A segurança e a satisfação dos clientes pode ser aprimorada, fortalecendo a reputação da TK Elevadores como uma empresa comprometida com a qualidade e confiabilidade de seus produtos e serviços.

REFERÊNCIAS

BAZZO, J. P., **Avaliação da influência da temperatura de junção no desempenho de um módulo IGBT empregando sensores à fibra ótica**, Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/225/1/PB_PPGEE_M_Bazzo%2C%20Jo%C3%A3o%20Paulo_2010.pdf> Acesso realizado em 08/06/2023.

CABIDO, P. **Como funcionam os elevadores**. Revista Aberto até de Madrugada. Dezembro, 2012. Disponível em <<http://abertoatedemadrugada.com/2012/12/como-funcionam-os-elevadores.html>> Acesso em 15 de novembro de 2022.

COUTINHO, THIAGO. **Entenda o que é e como construir um diagrama de Ishikawa para identificar problemas**, Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/diagrama-de-ishikawa>>. Acesso em 28/05/2023.

EMMEL SILVA, A. L.; HOPPE, D. A.; KAUFMANN, E. A.; LOSEKANN II, P. R.; RIBAS DE MORAES, J. A. **Redução de não conformidades através da aplicação da metodologia dmaic**. Revista Visão: Gestão Organizacional, Caçador (SC), Brasil, v. 9, n. 2, p. 206-223, 2020. Disponível em: 10.33362/visao.v9i2.2292.

ESCOLA N. DE ADM. PÚBLICA, **Apostila Análise e Melhoria de Processos**. Disponível em:

<<https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/2443/4/Apostila%20An%C3%A1lise%20e%20Melhoria%20de%20Processos%20-%202016.pdf>>. Acesso realizado em: 13/05/2023.

FIBRACEM, **O que é grau de proteção IP?**, Disponível em:< <https://www.fibracem.com/o-que-e-grau-de-protecao-ip/>>. Acesso realizado em 08/06/2023.

FRANCEZ, WILLIAN L., **Documento interno TKE - FITS-007 - Solicitação de Reparos em Módulos Lab. ITS**, disponível em: <<https://portaltke.br/tkelevator.com/BibliotecaDigital/Lists/Normativo/DispFormTKE.aspx?ID=6381&Source=%2FBibliotecaDigital%2FPaginas%2Fdefault.aspx&ReturnUrl=%2FBibliotecaDigital%2FPaginas%2Fdefault.aspx>> Acesso realizado em 07/06/2023.

GERMANOS, R.A.C.; CATALANI, F.; CABRAL, J.S.; MENEGATTI, C.R. **Inversores de Potência: Conceitos teóricos e demonstração experimental**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, vol. 42, e20200113, Maio, 2020. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/hZbhGcY6YNX4zqNZSRSDtSp/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em 20 de novembro de 2022.

GRUPO FORLOGIC, **Diagrama de Dispersão**. Disponível em: <<https://ferramentasdaqualidade.org/diagrama-de-dispersao/>>. Acesso em 13/05/2023.

GUSMÃO, AMANDA, **Conheça o Diagrama de Ishikawa e saiba como mapear problemas e soluções para seu negócio**, Disponível em: <https://rockcontent.com/br/blog/diagrama-de-ishikawa/#:~:text=Formato%20do%20Diagrama%20de%20Ishikawa&text=Com%20esse%20formato%2C%206%20Ms,%20Dobra%2C%20m%C3%A9todo%20e%20medida>>. Acesso realizado em 08/06/2023.

IUNQ, MARCOS. **Análise preliminar e controle de riscos de quedas nas atividades de instalação de elevadores.** 2017. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Pato Branco - PR - Departamento Acadêmico de Mecânica - Curso de Especialização em Engenharia de Produção.

JURAN, JOSEPH MOSES. **Planejando para a Qualidade.** São Paulo: Pioneira, 1988.

LIMA, MICHAEL SANTOS; LIMA, ADAMS P. SANTOS. **O elevador de materiais e pessoas: a segurança na sua operação.** 2007. Universidade da Amazônia – UNAMA. Belém – PA. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil.

MARTINS, J.P. **Qual o meio de transporte mais seguro.** *Revista Encontro*. Janeiro, 2015. Disponível em <<https://www.revistaencontro.com.br/canal/atualidades/2015/01/qual-o-meio-de-transporte-mais-seguro.html>> Acesso em 20 de novembro de 2022.

MÜLLER, ÉVERTON DE LIMA. **Deteção de falhas em elevadores através da Transformada de Fourier.** 2021. Disponível em: <<https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/2204>> Acesso realizado em 24/11/2022.

NOVIDÁ BLOG, **Diagrama de Dispersão – O que é e como criar?**, Disponível em: <https://www.novida.com.br/blog/diagrama-de-dispersao/>> Acesso realizado em 15/04/2023.

ORGUEL, 2022. **A Origem dos elevadores.** Disponível em <<https://orguel.com.br/voce-sabia-a-origem-dos-elevadores>>. Acesso em: 25 de novembro de 2022.

PINHO, LUIZA. **Diagrama de Ishikawa: o que é e como fazer.** Disponível em: <<https://www.siteware.com.br/metodologias/diagrama-de-ishikawa/>>. Acesso em 13/05/2023.

PLUGA, **5W2H: exemplo em uma empresa, veja como implementar!**, Disponível em: <https://pluga.co/blog/5w2h-exemplo-empresa/>> Acesso realizado em: 15/04/2023.

SELEME, R.; STADLER, H. **Controle da Qualidade: as ferramentas essenciais.** 2. Ed. Curitiba: Ibipex, 2010.

SILVA, ANDRÉIA DA e FERNANDES, JOSÉ M. C., **Proteção de placas eletrônicas em ambientes agressivos,** Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_pci_-_atual1-2_0.pdf> Acesso realizado em 08/06/2023.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção.** São Paulo: Atlas, 2002.

VIMALA, J. STARLET e SUSAI RAJENDRAN, M. NATESAN, **Corrosion and Protection of Electronic Components in Different Environmental Conditions - An Overview,** Disponível em: <https://web.archive.org/web/20170814100755id_/https://benthamopen.com/contents/pdf/TOC/ORRJ/TOCORRJ-2-105.pdf> Acesso realizado em 08/06/2023.

WENDLING, M., **Semi condutores**, Disponível em: <
<https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/1---semicondutores.pdf>> Acesso realizado em 08/06/2023.