

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DA FALHA CATASTRÓFICA PREMATURA DE ROLETES DE
ABERTURA DE PORTA DE PAVIMENTO DE ELEVADORES ELÉTRICOS

por

MARCELO SERRA GUARISE

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Novembro de 2021.

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

Guarise, Marcelo Serra Guarise
AVALIAÇÃO DA FALHA CATASTRÓFICA PREMATURA DE
ROLETES DE ABERTURA DE PORTA DE PAVIMENTO DE
ELEVADORES ELÉTRICOS / Marcelo Serra Guarise Guarise.
-- 2021.
24 f.
Orientador: Juan Pablo Raggio Quintas Quintas.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto
Alegre, BR-RS, 2021.

1. Rolete. 2. Operador de Porta. 3. Elevador. I.
Quintas, Juan Pablo Raggio Quintas, orient. II.
Titulo.

Marcelo Serra Guarise

AVALIAÇÃO DA FALHA CATASTRÓFICA PREMATURA DE ROLETES DE
ABERTURA DE PORTA DE PAVIMENTO DE ELEVADORES ELÉTRICOS

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Cirilo Seppi Bresolin
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos

Orientador: Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Comissão de Avaliação:

Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Prof. Edson Hikaro Aseka

Prof. Rogério José Marczak

Porto Alegre, Novembro de 2021.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, José e Maria, que sempre se esforçaram para que eu pudesse ter a oportunidade de chegar a tal momento, me apoiando em todas as decisões tomadas.

A minha noiva, Stéphanie, que em todos os momentos do percurso me apoiou profundamente mesmo nos momentos de maior dificuldade, sempre me auxiliando e incentivando a atingir meu abjetivo.

Aos meus colegas de trabalho e faculdade pelo apoio emocional e também conhecimento para conseguir desenvolver melhor trabalho possível.

A UFRGS e aos professores, fundamentais nesse processo de desenvolvimento pessoal e formação profissional.

Guarise, Marcelo Serra. **AVALIAÇÃO DA FALHA CATASTRÓFICA PREMATURA DE ROLETES DE ABERTURA DE PORTA DE PAVIMENTO DE ELEVADORES ELÉTRICOS**. 2021. 24 páginas. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

RESUMO

O rolete de operador de porta é responsável por garantir a abertura simultânea da porta de pavimento e da cabina do elevador. Esse trabalho analisa a causa raiz da quebra prematura deles. Durante o ano de 2021, a troca desse material cresceu exponencialmente se comparado com os anos anteriores. Em uma obra na região norte do país, onde foram substituídos todos os roletes devido a sua falha, foi verificada a completa quebra da parte externa de borracha, separando-a da parte interna de *nylon*. Através da análise de possíveis causas, com o auxílio do diagrama de Ishikawa, observou-se o fato de que entre anos anteriores e atualmente, nenhuma modificação na operação ou instalação do produto havia sido realizada. Dessa forma, entende-se que a causa é o próprio componente. A partir de uma comparação entre um rolete de 2019 e um novo observou-se a presença de cavidades na parte externa do mesmo, especificamente onde a ligação mecânica é feita entre as duas partes poliméricas. Concluiu-se que a presença das cavidades ocorreu devido a um problema no processo de injeção do material, o que levou à realização das devidas alterações no processo de fabricação para mitigar o problema encontrado em diversos elevadores espalhados pelo Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Elevador, Rolete, Operador de Porta.

Guarise, Marcelo Serra. **ASSESSMENT OF PREMATURE CATASTROPHIC FAILURE OF ELECTRIC ELEVATOR FLOOR DOOR OPENING ROLLERS**. 2021. 24 pages. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

ABSTRACT

A door operator rollers is responsible for ensuring the simultaneous opening of the floor door and the elevator cabin. This work analyzes the root cause of their premature breakage. During the year 2021, the exchange of this material grew exponentially compared to previous years. In a job site in the northern region of the country, where all the rollers were replaced due to their failure, the complete breakage of the rubber outer part was verified, separating it from the nylon inner part. Through the analysis of possible causes, with the help of the Ishikawa diagram, it was observed that between previous years and currently, no modification in the handling or installation of the product had been carried out. Thus, it is understood that the cause is the component itself. From a comparison between a 2019 roller and a new one, the presence of cavities on the outside of it was observed, specifically where the mechanical connection is made between the two polymeric parts. It was concluded that the presence of cavities occurred due to a problem in the material injection process, which led to the necessary changes in the manufacturing process to mitigate the problem found in several elevators throughout Brazil.

KEYWORDS: Elevator, Roller, Door Operator.

Abreviaturas e acrônimos

ALD	Abertura Lateral Direita
ALE	Abertura Lateral Esquerda
AC	Abertura Central
CTC	Circular Técnica de Correção
NBR	Norma Brasileira
QCR	Quality Concern Reporting
TPU	Termoplástico de Poliuretano

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	2
3. CASO DE ESTUDO	6
3.1 DETECÇÃO DO PROBLEMA	6
3.2. ANÁLISE DO PROBLEMA	8
3.3. AVALIAÇÃO DO MATERIAL.....	11
3.4. AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO	13
4. RESULTADOS	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

1. INTRODUÇÃO

Elevadores como conhecemos na atualidade são o resultado da evolução de séculos de um tipo de transporte que, ainda nos dias de hoje, segue sofrendo mudanças. O seu principal marco alterou totalmente a sua maneira de utilização. A partir de 1850, a forma de realizar mobilidade vertical mudou totalmente; porém, antes mesmo de conhecermos o protótipo do que podemos chamar de elevador moderno, dispositivos com a mesma função primária (transporte vertical) já eram utilizados por séculos na mineração de cavernas, sendo esses sem uma fração da segurança dos mais modernos. Em 1854, em uma demonstração de seu equipamento inovador na época, Elisha Graves Otis apresentou na “*New York Crystal Palace Exhibition*” seu elevador revolucionário. Em sua apresentação, Otis elevou a cabina até o 4º andar (até o topo), onde, quando atingiu estado estacionário, rompeu propositalmente os cabos de tração. Ao contrário do que a audiência acreditava, mesmo sem os elementos de tração, o mesmo não veio a despencar até o chão, mantendo-se no topo do percurso. Essa foi a primeira exibição do princípio de funcionamento de um dispositivo de segurança de cabina, fundamental para a utilização de elevadores com passageiros e exigido em norma atual para segurança do passageiro (NBR NM 207, 1999).

Com o passar dos anos, os elevadores sofreram diversas modificações. No início do século XX, com a introdução da eletricidade nos elevadores, os equipamentos começaram a adotar a forma que conhecemos hoje. Já no começo dos anos 2000, as portas de pavimento de elevadores modernos deixaram de adotar o modelo de Eixo Vertical e passaram a utilizar portas de pavimento de abertura automática, munidos de rampa articulada e rolete para que possa ser realizada essa abertura simultânea.

O estudo realizado nesse trabalho se dá pelo problema enfrentado por uma multinacional de grande porte que fabrica, moderniza e realiza manutenção de elevadores em toda a América Latina. Empresa que tem em sua carteira de manutenção mais de 100.000 equipamentos, a maioria deles já com portas automáticas utilizando o sistema de roletes. Hoje, 100% dos equipamentos novos sendo expedidos utilizam esse tipo de mecanismo de abertura de porta.

Por ser um item que sofre constante acionamento, é normal esperar um desgaste ao longo dos anos desse material, assim como diversos outros itens que compõem o elevador. O operador de porta é comprado completo de um fornecedor, consistindo do operador de cabina e do operador de porta de pavimento. Em 2017, um novo modelo de operador de porta foi homologado com o fornecedor, passando a ser utilizado amplamente em 2018. Durante o processo de homologação, diversos testes e verificações foram realizados para garantir que o produto que seria utilizado nos elevadores teria a qualidade necessária para o cliente final.

Desde a sua homologação, em 2017, até o ano de 2020, não houve destaque de alguma não qualidade com relação ao produto homologado. Ocorria a troca de cerca de 200 roletes por ano, o que é um número razoável, levando-se em consideração que são utilizados 2 roletes por cada andar do elevador; logo, um equipamento que possui 10 paradas, terá o total de 20 roletes instalados. Durante o processo de instalação, existem fatores que podem acarretar a avaria dos roletes, extravio do material ou mesmo em alguma falha eventual do produto. Assim, o volume de trocas anual desse período era aceitável, devido a esses fatores citados anteriormente.

Em 2021, um aumento exponencial no consumo dos roletes passou a ocorrer em todo o Brasil. Sendo que, em agosto de 2021, um empreendimento em especial em Belém, no estado do Pará, chamou a atenção da equipe de qualidade. Esse empreendimento, que possuía 11 equipamentos instalados em um complexo hospitalar e havia terminado sua instalação e sido entregue ao cliente no primeiro semestre de 2021, estava apresentando falha catastrófica em praticamente todos os roletes instalados. Por precaução, recomendou-se a troca de todos os

roletes presentes no mesmo. Ao todo, 70 portas (140 roletes) foram trocados no empreendimento e uma investigação por parte do time de qualidade foi iniciada.

Observou-se que a reposição dos roletes, que era de cerca de 200 ao ano, passou a ser de, em média, 200 ao mês. Iniciou-se, então, uma investigação para entender o motivo do súbito aumento no consumo desses roletes por uma falha catastrófica. Os relatos mostravam que os roletes, após poucos meses de uso, estavam se destruindo. Tal comportamento motivou o estudo apresentado nesse trabalho. Assim, será apresentado o estudo desenvolvido durante alguns meses para determinar a causa raiz do problema e a solução proposta para mitigar os problemas encontrados.

2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Os modelos de porta de pavimento mais comuns até o início do século XXI eram as chamadas portas de eixo vertical, modelo que se assemelha as portas residenciais utilizadas na construção civil. Atualmente, as portas de elevadores novos são aquelas com a abertura automática, que consistem naquelas que, com a chegada do elevador ao andar desejado, ambas as portas (de pavimento e de cabina) abrem-se em conjunto. Na Figura 1 podemos verificar uma comparação entre os dois modelos mencionados.

Figura 1. Comparação entre porta de pavimento de eixo vertical (a) e automática (b).



(a) Porta eixo vertical.

Fonte: (Kit Operador de Portas – Eixo Vertical, Atlas Schindler)



(b) Porta de abertura automática.

Fonte: (Catálogo - Elevador Schindler 3300 New Edition)

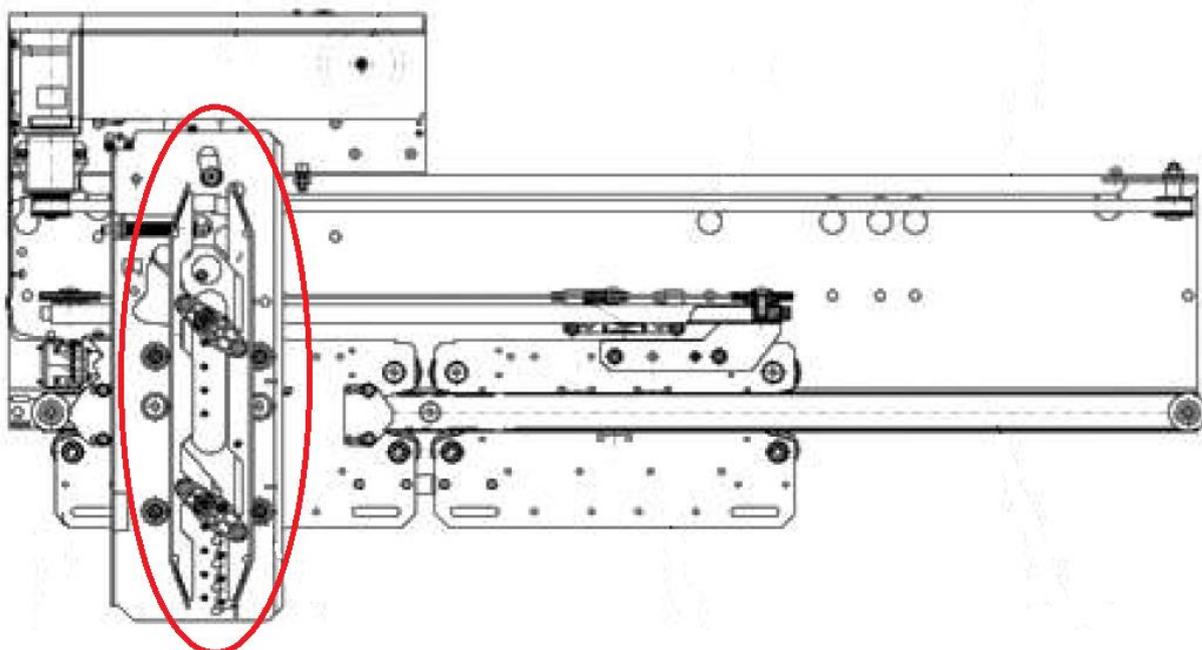
Para a utilização das portas com abertura automática, faz-se necessário um mecanismo que seja capaz, assim que o elevador aportar no andar desejado, de abrir em conjunto a porta de pavimento e a porta da cabina. Dessa forma, aproveitando um único motor, o que elimina a necessidade da existência de um motor em cada porta de pavimento. A solução empregada foi a utilização de rampas articuladas, presentes nos operadores das portas de cabina dos elevadores, e roletes para a abertura das portas de pavimento.

Durante a movimentação da cabina, a rampa articulada encontra-se retraída e passa por entre os roletes da porta de pavimento. Assim que a abertura de porta é acionada pelo quadro de comando, a rampa articulada abre-se, mantendo um rolete de cada lado, um utilizado no momento da abertura das portas e o outro utilizado para o fechamento.

Roletes de abertura de porta de pavimento são amplamente utilizados em todos os equipamentos com abertura automática de portas de pavimento, independente da abertura ser Lateral Esquerda (ALD), Lateral Direita (ALD) ou Central (AC) e independente de sua fabricação e aplicação, seja para um elevador de um empreendimento comercial, residencial, um *home lift* (elevador residencial de pequeno porte) ou até mesmo um cargueiro (elevadores para transporte de carga). Existem diversos tipos, morfologias e composições de roletes pelo mercado, sendo eles compostos unicamente de material termoplástico e até roletes que compõem um núcleo de termoplástico com o exterior de borracha.

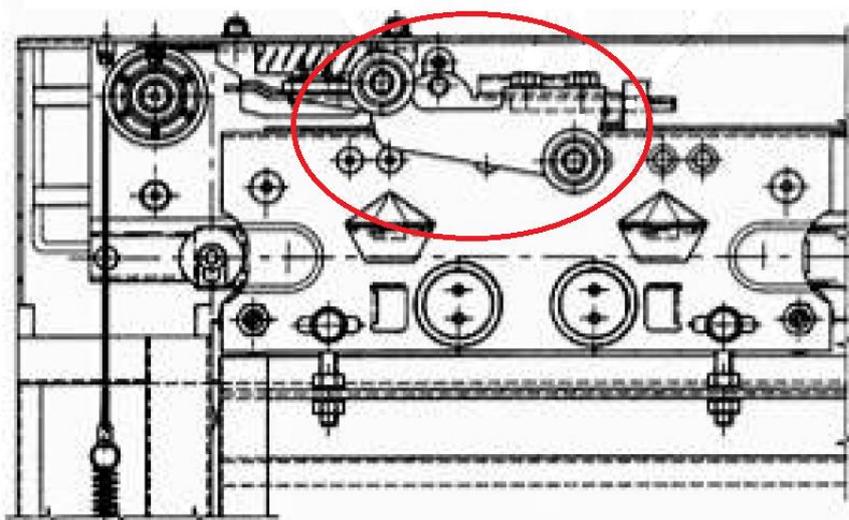
O conjunto de operador de porta de elevadores, quando empregado para portas com abertura automática, é composto por um operador de porta de pavimento, Figura 2, e um operador de porta de cabina do elevador, Figura 3. No detalhe de ambas as imagens é destacado, respectivamente, a rampa articulada e os roletes de abertura de porta, dispositivos responsáveis por fazer o conjunto trabalhar em sincronia.

Figura 2. Operador de porta de cabina de elevador. No detalhe, a rampa articulada.



Fonte: Manual fornecedor.

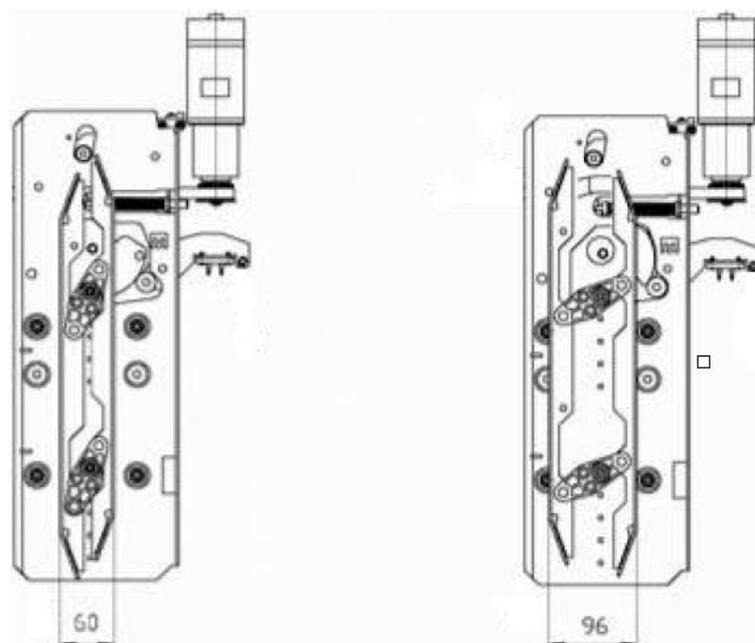
Figura 3. Operador de porta de pavimento. No detalhe, os roletes de abertura de porta.



Fonte: Manual fornecedor.

Durante a movimentação normal do elevador entre os andares, a rampa articulada fica retraída, como é possível ser observado na parte esquerda da Figura 4, e passa entre os roletes. Assim que o andar solicitado é atingido, a rampa articulada se abre, o motor do operador de porta de cabina é acionado, movimentando tanto as folhas da porta de cabina quanto a rampa articulada (que, por sua vez, está entre os 2 roletes), fazendo com que a porta de pavimento venha a abrir em conjunto com a porta de cabina. Movimento similar é empregado durante o fechamento da porta, só que dessa vez o rolete do outro lado é acionado. Na Figura 4, é possível observar ambas as configurações da rampa articulada: a esquerda, retraída, configuração que está enquanto a cabina está se deslocando entre andares; e, a direita, aberta, configuração adotada durante o fechamento ou abertura das portas.

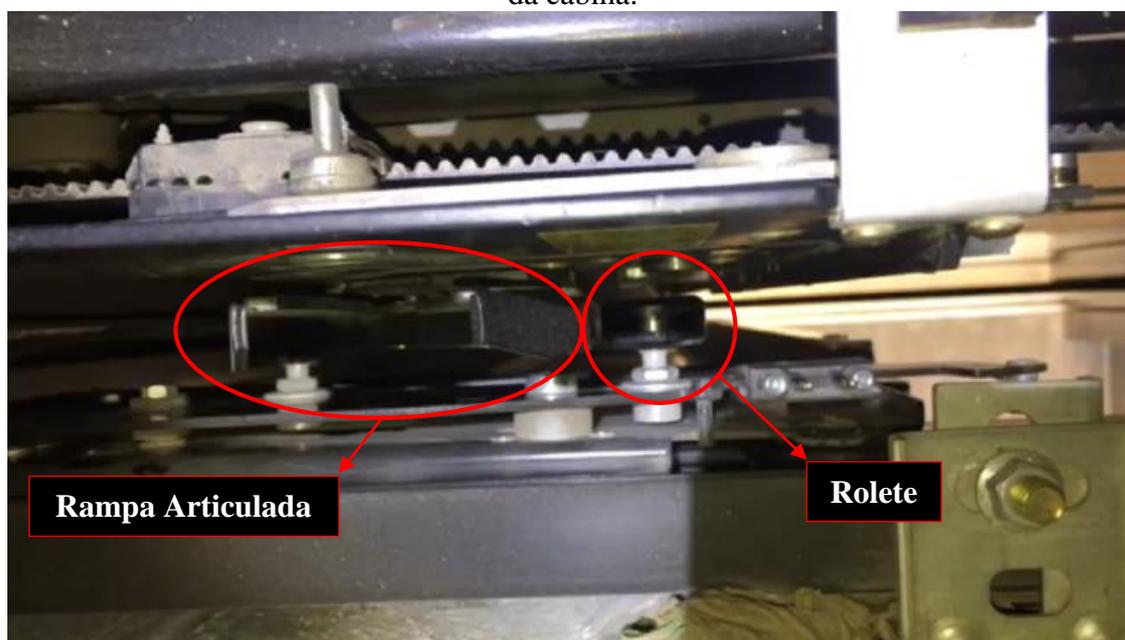
Figura 4. Detalhe de funcionamento da rampa articulada, a esquerda encontra-se retraída e a direita encontra-se aberta.



Fonte: Manual fornecedor.

Para melhor entendimento do conjunto mencionado, a Figura 5 apresenta uma foto tirada a partir do topo da cabina. No momento em que a foto da Figura 5 foi tirada, é possível observar as portas do elevador abertas e, sendo assim, a rampa articulada encontra-se aberta. É possível reparar, também, que, por as portas estarem paradas, o último movimento empregado ao conjunto foi a abertura das mesmas. Pelo ângulo da foto, é possível verificar uma distância de alguns milímetros entre o rolete de fechamento de porta de pavimento e a rampa articulada, isso se deve ao fato do rolete que foi solicitado durante a último movimento ser o de abertura e existir uma diferença muito pequena (de aproximadamente 4 mm) entre o comprimento da rampa articulada aberta e a distância ente as partes externas de ambos os roletes.

Figura 5. Foto da parte superior dos operadores de abertura de porta, retirada da parte superior da cabina.



Fonte: Autoral.

O conjunto já mencionado e exemplificado na Figura 5, foi homologado em 2017 e passou a ser instalado no fim desse ano. As imagens apresentadas pela equipe da filial apresentaram roletes totalmente destruídos, conforme é possível ver na comparação da Figura 6, onde a esquerda temos um rolete novo, retirado do estoque para verificação, e a esquerda um rolete retirado da obra de Belém, com menos de 4 meses de uso. O defeito apresentado causa defeitos de abertura e fechamento de portas, podendo, nas condições certas, até mesmo fazer com que o passageiro fique preso dentro do equipamento.

Figura 6. Comparação entre rolete novo, esquerda, e rolete com falha catastrófica, direita.



Fonte: Autoral.

3. CASO DE ESTUDO

3.1 DETECÇÃO DO PROBLEMA

A ferramenta de detecção de problemas em campo adotada pela empresa é a partir de um reporte eletrônico, o *Quality Concern Reporting* (QCR), mostrado pela Figura 7, que pode ser feito de forma eletrônica por qualquer colaborador de campo. Nesse reporte, o colaborador deve descrever detalhadamente o problema encontrado, informando qual é o elevador que apresenta o defeito, qual é o item com defeito, contenção adotada para o caso e anexar fotos e vídeos evidenciando o problema, uma ótima ferramenta para compartilhamento de informação. A intenção do programa é de comunicar a equipe de qualidade de qualquer não conformidade de produto ou risco encontrado em campo. Por intermédio dessa ferramenta que a filial de Belém reportou a necessidade da troca de 140 roletes de abertura de porta de pavimento para uma obra que havia sido entregue há poucos meses. Tal item não era comum de ser reportado como problema, pois, além do seu baixo custo (aproximadamente R\$ 5,00 a unidade) é um material de consumo, que é mecanicamente solicitado e tem uma vida útil muito menor se comparado a um componente eletrônico presente no quadro de comando.

Figura 7. Exemplo de reporte de qualidade da equipe de campo.

Quality Concern Reporting #ID do QCR

General Report Details

Type: *

Date: *

Manufacturer:

Issue Description: *

Quantity:

P Job:

Section / Area:

Informações do problema detectado

External

Product Model *

Customer *

Final State of Unit

NIM *

Warranty Status

Warranty Comments

Informações do elevador

File Attachments

> Photo.jpg

Anexo: documentos, fotos e vídeos

Follow-up Details

Optional - you have the required permissions

Status: *

Closure Category:

Action Identifiers:

Primary Issue ID:

Closed Date:

Closure/Work-in-Progress Comments:

Status do QCR

Fonte: Autoral.

O que chamou a atenção da equipe de qualidade foi a quantidade, 100% dos roletes haviam sido solicitados em garantia, e o tempo de instalação, menos de 4 meses, bem como o estado do material. A Figura 8 mostra o quão avariados estavam os componentes. Um estudo passou a ser realizado para entender se tratava-se de um caso pontual ou se de fato existia a possibilidade de esse ser um problema com abrangência muito maior do que a esperada.

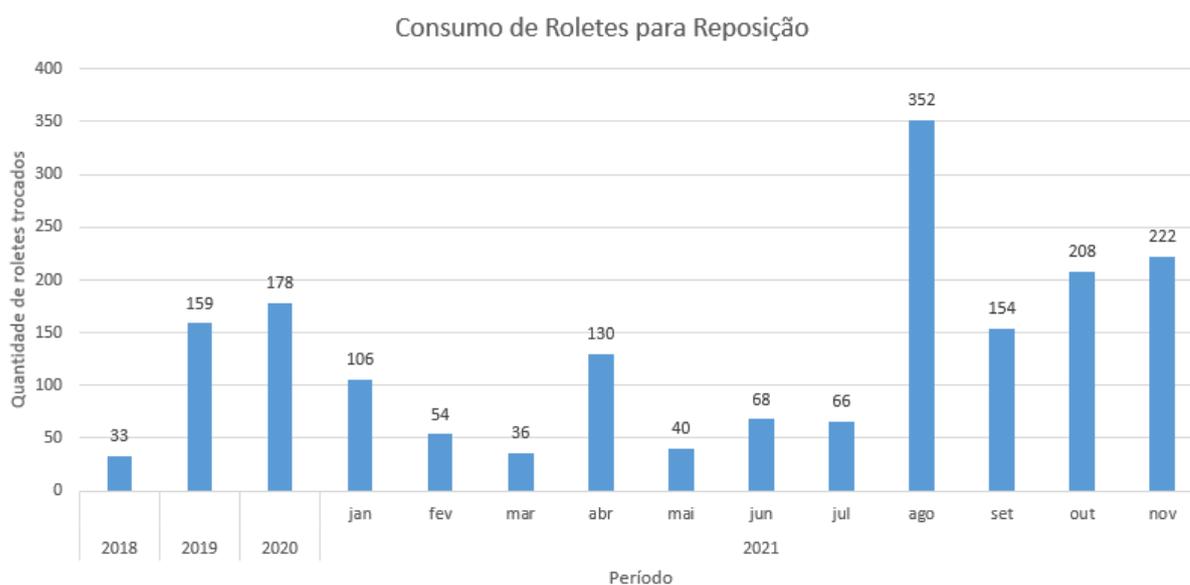
Figura 8. Estado dos roletes apresentado pela filial de Belém.



Fonte: Autoral.

Foi realizado uma avaliação do código do material necessário para a substituição do rolete em campo. Identificou-se que esse não era um caso isolado, de fato um aumento substancial no consumo desse material deu-se de forma generalizada em diversas regiões do país, conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9. Consumo de roletes para substituição em campo por período.



Fonte: Autoral.

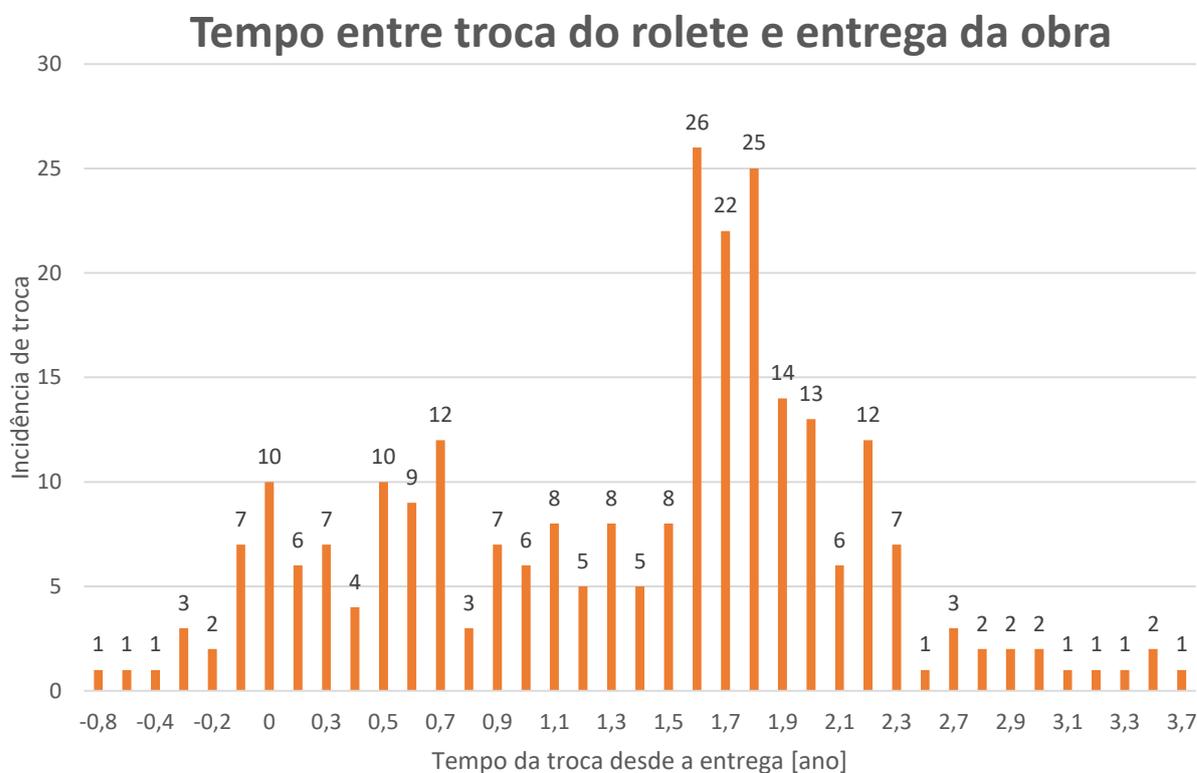
Avaliando o gráfico apresentado na Figura 9, fica claro um aumento expressivo do consumo desse material em 2021. Quando nos anos de 2018, 2019 e 2020 nunca passaram a margem de 178 roletes trocados, os três primeiros meses de 2021 já ultrapassaram esse valor. O reporte de não qualidade informado pela equipe de Belém fica evidente no mês de agosto, onde existe um pico de mais de 350 trocas em apenas um mês, 140 sendo somente desse empreendimento.

Com a análise dos dados, fica evidente que o caso tratado não simplesmente reporta um caso particular, e sim uma tendência de problema do produto. Tal tendência foi estudada e é apresentada a seguir.

3.2. ANÁLISE DO PROBLEMA

A primeira hipótese levantada foi a mais simples: o consumo aumentou, pois há mais roletes instalados em obra. Antes mesmo de estratificar as possibilidades em um diagrama de Yshikawa, essa alternativa teve que ser analisada. Como é possível ser observado na Figura 10, o comportamento de troca de roletes não é o esperado se for considerado somente a alternativa de vida útil. O gráfico leva em consideração o tempo em que o rolete foi trocado, contabilizando desde a entrega do elevador para o cliente final, por exemplo, houve 22 trocas de roletes em elevadores que foram entregues a 1,7 anos. O período de tempo negativo representa roletes que foram avariados durante a instalação, por exemplo, houve 2 casos em que 0,2 anos antes de entregar a obra ao cliente final, houve, por algum erro do técnico de instalação, a necessidade de substituir os roletes; logo, valores negativos devem ser ignorados para a presente análise.

Figura 10. Gráfico comparativo para cada incidência de troca, comparando com o tempo em que a obra está entregue ao cliente final.



Fonte: Autoral.

De acordo com o fornecedor, o CVP (Ciclo de Vida do Produto) é de 1 milhão de ciclos, ou seja, cada porta de pavimento do elevador poderia abrir e fechar cerca de 1 milhão de vezes antes que houvesse problema com esse componente. Se considerado um equipamento de alto fluxo de passageiros, no térreo (pavimento com maior número de solicitações), em um mês uma porta de pavimento é acionada cerca de dez mil vezes, sendo assim, cerca de 8 anos deveriam se passar sem a necessidade de troca de todos os roletes em um equipamento. O caso observado na Figura 10 nos mostra que antes de 2 anos após a entrega do equipamento ao cliente, existe uma incidência muito maior de troca de roletes, ou seja, para equipamentos que foram instalados há mais de 2 anos, 2018 e 2019, a incidência de troca dos roletes é muito menor do que para os equipamentos mais recentes.

Com esse fato em consideração, foi gerado um diagrama de espinha de peixe, Yshikawa, a fim de avaliar a possível causa raiz do problema detectado. Na Figura 11 está presente o diagrama desenhado para a análise do caso, levando em consideração diversos aspectos abordados por uma equipe multisetorial, a fim de abordar a maior quantidade de pontos de vista possível.

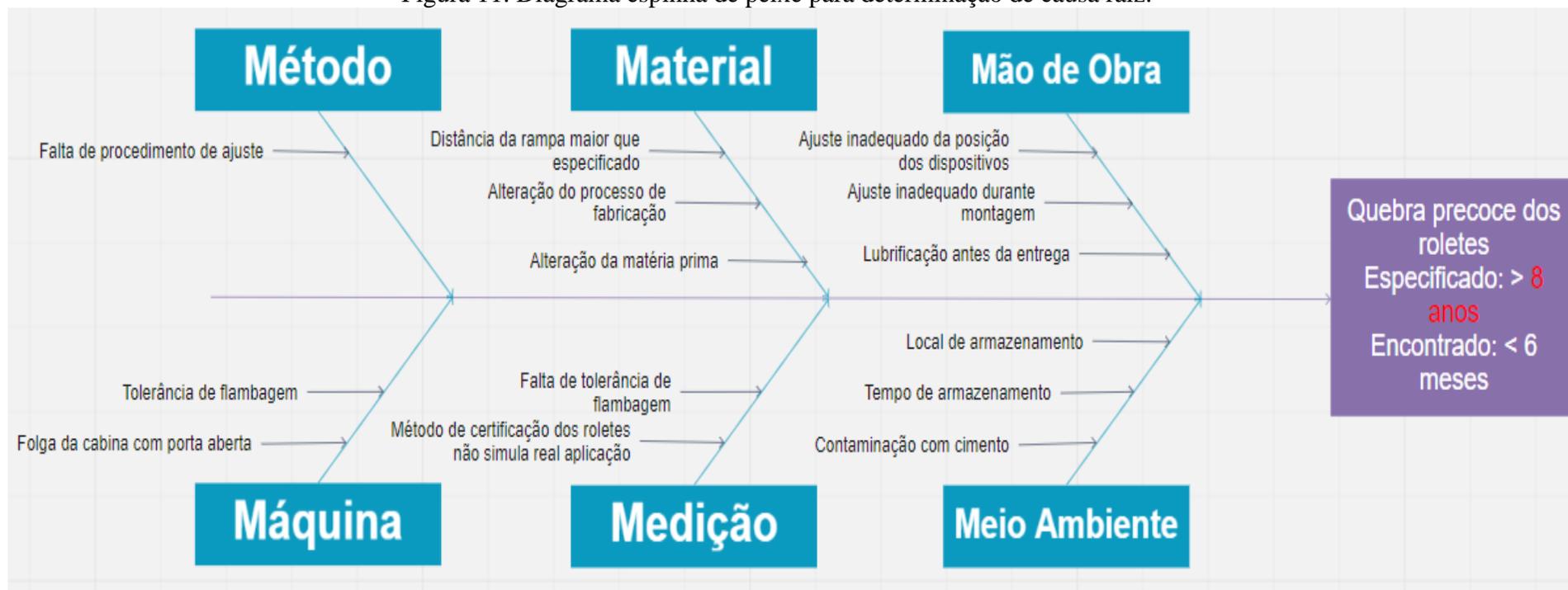
Para montar o diagrama de espinha de peixe, uma comissão foi montada, com diversos membros de diferentes setores do negócio para que todos os aspectos do problema fossem levados em consideração. Os pontos levantados no diagrama espinha de peixe foram:

- Método
 - Falta de procedimento de ajuste;
- Máquina
 - Tolerância da flambagem das guias do elevador;
 - Folga da cabina com porta aberta;
- Medição
 - Método de certificação dos roletes não simula real aplicação;
- Material
 - Distância da rampa maior do que especificado;
 - Alteração no processo de fabricação;
 - Alteração da matéria prima;
- Mão de obra
 - Ajuste inadequado durante montagem;
 - Ajuste inadequado na posição dos dispositivos;
 - Aplicação de lubrificantes nos roletes;
- Meio Ambiente
 - Contaminação por cimento;
 - Tempo de armazenagem;
 - Local de armazenamento;

Todos os pontos levantados poderiam ser a real causa do problema se esse estudo estivesse sendo feito meses após o lançamento do produto. O fato de que produtos instalados há mais de 2 anos têm uma incidência de problema significativamente menor do que os de obras instaladas recentemente, descarta todas as hipóteses que envolvem mão de obra, o elevador ou algum erro de instalação.

Fica claro que a questão que deve ser explorada mais a fundo deve ser relacionada à qualidade do material enviado pelo fornecedor uma vez que tanto os métodos empregados, medições, métodos, mão de obra e meio ambiente não podem ter sofrido modificação. Deve-se avaliar se houve alteração no processo e material de fabricação dos roletes.

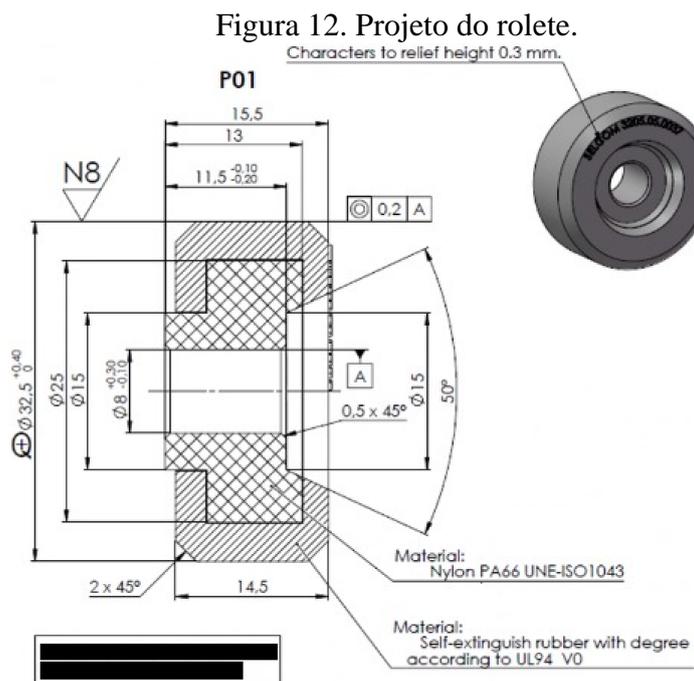
Figura 11. Diagrama espinha de peixe para determinação de causa raiz.



Fonte: Autoral

3.3. AVALIAÇÃO DO MATERIAL

Após a avaliação de que a possibilidade de problemas internos de instalação ou de manuseio dos roletes não modificaram desde a homologação do material, a hipótese que deve ser seguida é da possibilidade de modificação do produto. O fornecedor dos roletes foi acionado para, juntamente com a equipe de qualidade, avaliar o produto que está sendo fornecido. Na Figura 12, é mostrado o desenho do projeto do rolete e a sua composição. É possível observar que ele é composto por 2 tipos de polímero, uma parte interna de *nylon* e uma parte externa de borracha.



Fonte: Fornecedor.

A união entre os 2 materiais é realizada não só pela aderência entre eles, mas principalmente por furos presentes na parte interna de *nylon*, que são preenchidos pela parte externa de borracha. Esse acoplamento garante que não haja escorregamento entre as 2 partes do rolete. Na Figura 13, podemos observar os 4 furos que fazem tal fixação. No exemplo da foto é utilizado um rolete que retornou para a fábrica, que, por sua vez, havia sido instalado na obra de Belém.

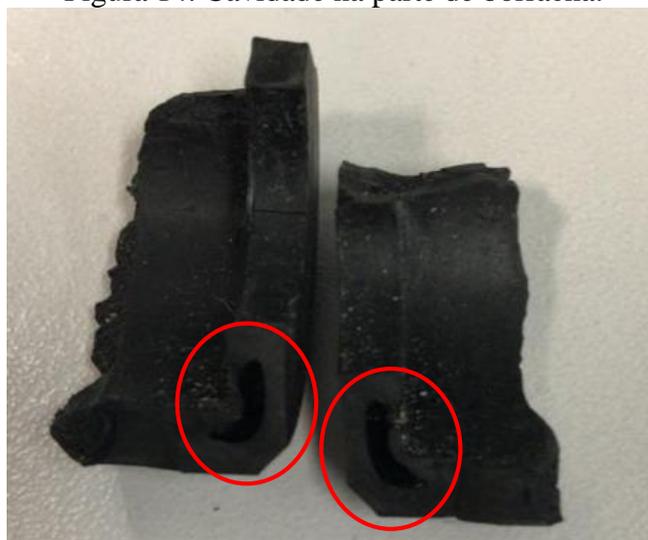
Figura 13. Pontos de fixação do rolete.



Fonte: Autoral.

É possível observar, como destacado na Figura 14, que a parte externa de borracha foi totalmente destacada da parte interna e que as cavidades que são utilizadas para a fixação das partes ainda estão preenchidas do material da parte externa. Isso nos leva a concluir que o rompimento do material está sendo realizado junto a parte onde os furos são fixados. Outro ponto observado nos roletes que voltaram das obras com defeito é uma cavidade anormal dentro do material de borracha externo, como podemos observar na Figura 14.

Figura 14. Cavidade na parte de borracha.



Fonte: Autoral.

Essa cavidade encontrada passou a ser a principal causa a ser avaliada. Foi identificada uma correlação entre as cavidades e a ligação entre as duas partes do rolete. Conforme a Figura 15, fica evidente essa correlação mencionada.

Figura 15. Local das cavidades da parte externa do rolete.



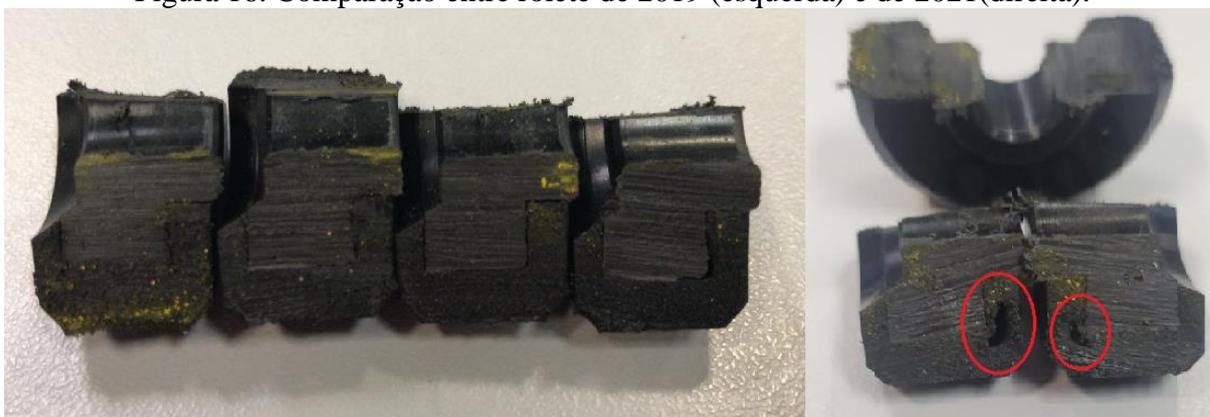
Fonte: Autoral.

Com a intenção de consolidar a informação do local onde foi encontrada a cavidade e a análise das obras expedidas em 2018, 2019 e 2020, que não apresentavam o problema das obras

de 2021, seleccionou-se um elevador de 2019. O elevador em questão não havia sido expedido por problemas contratuais junto ao cliente e ainda se encontrava armazenado na fábrica. Os roletes de 2019 foram retirados dos operadores de porta de pavimento, substituindo-os por roletes retirados do estoque atual, mesmos itens que estão sendo enviados atualmente para elevadores novos.

Realizando um teste destrutivo, para avaliar a estrutura do material, fica clara a diferença entre um rolete fabricado em 2019 e um fabricado em 2021. Para uma melhor comparação, os roletes foram cortados em 4 quadrantes, no mesmo local. O resultado do teste encontra-se na Figura 16: a esquerda, o rolete de 2019, sem nenhuma cavidade; e, a direita, o rolete atual que está sendo enviado para campo, com cavidade na parte externa da peça.

Figura 16. Comparação entre rolete de 2019 (esquerda) e de 2021(direita).

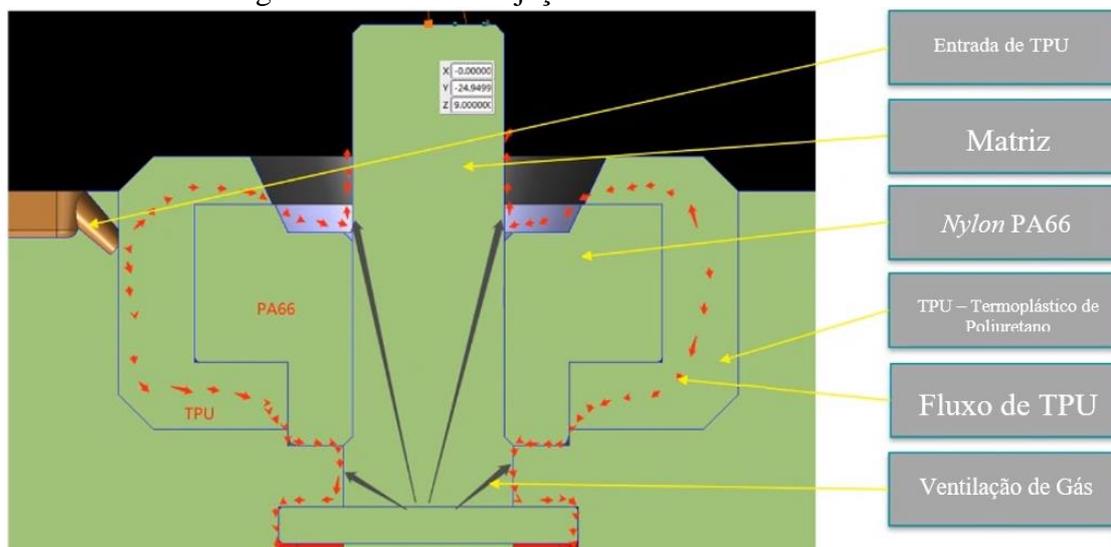


Fonte: Autoral.

3.4. AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Com as evidências encontradas, o fornecedor foi novamente acionado para entender qual parte do processo de fabricação poderia ter sido responsável por tal inconsistência no material. Em análise própria, o fornecedor encontrou material em seu estoque com o mesmo defeito, evidenciando que há grande abrangência desse defeito. Reavaliou-se o processo de injeção da parte externa do material, exposta na Figura 17.

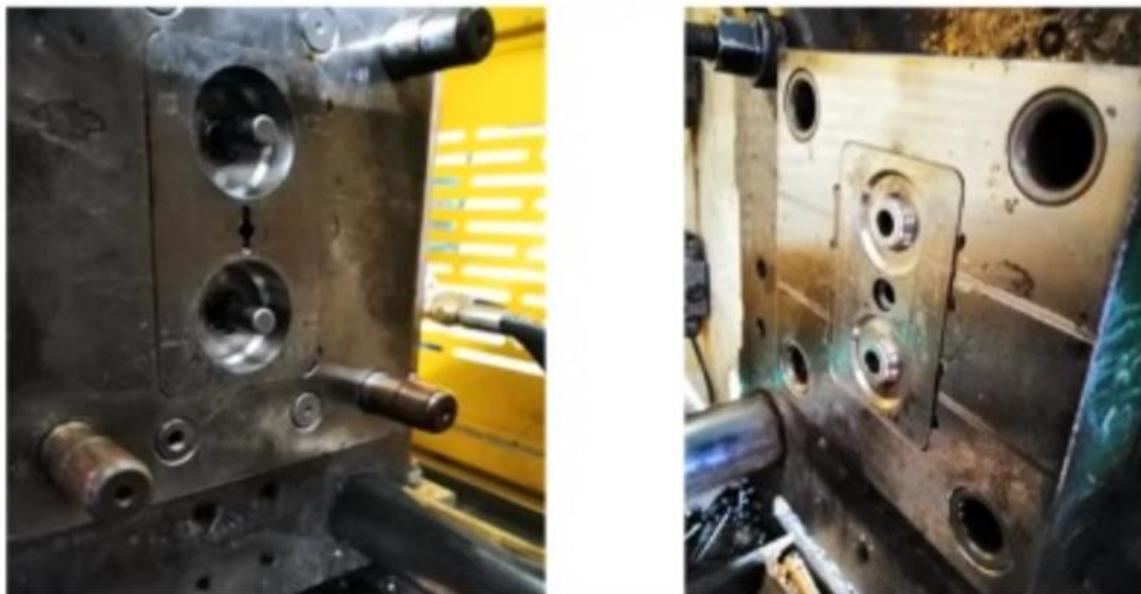
Figura 17. Fluxo de injeção da borracha externa dos roletes.



Fonte: Adaptado de fornecedor.

Em avaliação realizada no processo de fabricação, ficou evidente que havia uma falha no processo de ventilação do gás. Durante o processo de injeção e vulcanização nos moldes, mostrados na Figura 18, partículas da matéria-prima eram acumuladas nos moldes, dificultando o fluxo dos gases.

Figura 18. Moldes de injeção dos roletes.



Fonte: Fornecedor.

4. RESULTADOS

Com as evidências adquiridas, fica claro que o processo de fabricação falho do fornecedor resultou em produtos de má qualidade. O fato de que os moldes eram limpos uma vez a cada lote de 15.000 unidades, permitiu a falha no processo de fabricação.

Como resultado das descobertas, o processo de fabricação do fornecedor passou por duas modificações críticas: após cada conjunto de 2 roletes (capacidade do molde), o molde será limpo pelo operador; e todos os lotes só poderão ser expedidos após teste destrutivo de 3 conjuntos de 2 roletes, sendo obrigatoriamente um dos primeiros a serem produzidos, outro dos últimos a serem produzidos e um terceiro conjunto retirado de forma aleatória do lote. Com essas alterações, acredita-se que não teremos mais os problemas apresentados em campo.

Os próximos passos da análise serão a execução de lote piloto com as alterações na produção e o teste destrutivo. Teste de ciclagem do novo produto e teste químico, garantindo que o material expedido está de acordo com os um milhão de ciclos projetados pelo fornecedor e que a composição do material é a mesma que aquela especificada. Após garantir que o processo está correto, será realizado o mapeamento e a substituição de todos os roletes expedidos desde a homologação do material, chamado processo de CTC (Circular Técnica de Correção), processo que garante que todas as filiais executem a alteração no processo em todos os elevadores mapeados. Todos os custos da CTC devem ser absorvidos pelo fornecedor, uma vez que em cláusula contratual, tais não conformidades geradas pelo fornecedor são de responsabilidade do mesmo.

Para a determinação do custo total que será cobrado do fornecedor, deve-se somar duas fontes de reembolso: todos os roletes que já foram e todos os que devem ser substituídos. O cálculo mais simples é o dos roletes já substituídos. Para a substituição de cada um, soma-se a hora do técnico para a execução do trabalho (R\$ 126,00) e o custo de cada rolete (R\$ 5,00), totalizando R\$ 131,00 para cada. Sendo que já foram substituídos 1.400, o custo total para estes

é de R\$ 183.400,00. A dificuldade no cálculo se dá para verificar quais são todos os equipamentos que foram expedidos com esse material. O custo unitário é o mesmo; porém, mapear as obras que utilizam esse item não é tão simples. Deve-se primeiro avaliar todos os modelos de operador de porta que utilizam tal item e, por fim, avaliar quais as obras que foram expedidas com o material não conforme. Essa atividade será realizada assim que o fornecedor determinar em qual data o seu processo começou a apresentar esse defeito de fabricação.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo a determinação do motivo do aumento exponencial da troca de roletes de abertura de portas de pavimento automáticas para elevadores elétricos. Identificado em todo o país, o material que anteriormente apresentava baixo índice de troca, passou a ser trocado de forma excessiva devido à quebra catastrófica da parte externa de borracha. Realizando análise estatística para determinação da amplitude do problema e utilizando-se de ferramentas para determinação de causa raiz, como o diagrama de espinha de peixe, Ishikawa, observou-se que o problema não tinha correlação com o manuseio ou instalação do rolete. Sendo uma questão da qualidade do produto que estava sendo fornecido pelo fabricante.

Realizando análise comparativa entre roletes de 2019 e 2021, foi verificada a presença de uma cavidade na parte externa do rolete de 2021, o que afeta completamente sua estrutura, contribuindo ativamente para diminuição da vida útil do produto final. Tal falha foi encontrada não somente em campo, como no estoque do fabricante de elevadores e, também, no estoque do fornecedor dos roletes. Revisando o processo de fabricação do fornecedor, constatou-se que havia uma falha durante o fluxo de matéria-prima no processo de injeção, impedindo a movimentação de gases. Uma vez identificado o problema, o processo teve que ser revisado para que o problema fosse mitigado.

O custo total da não qualidade ainda está sob avaliação, sendo necessário determinar a abrangência do problema. No entanto, em decorrência da troca prematura de roletes, já houve um gasto por parte da fabricante de elevadores de mais de R\$ 180.000,00. Tal mapeamento, juntamente com testes complementares, está sendo realizado. Entende-se que a modificação no plano de fabricação e a substituição de todos os roletes com possibilidade de defeito serão suficientes para mitigar o problema proposto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 207: Elevadores elétricos de passageiros - Requisitos de segurança para construção e instalação**. Rio de Janeiro, 1999.
2. Atlas Schindler. **Kit Operador de Portas – Eixo Vertical**. Disponível em: <<https://www.schindler.com/content/dam/web/br/pdf/mod/lamina-kit-operador-de-portas-eixo-vertical.pdf>>
3. Atlas Schindler. **Schindler 3300 new Edition**. Disponível em: <<https://www.schindler.com/content/dam/web/br/pdf/ni/schindler3300-newedition.pdf>>

4. Wittur. **Instruções para Montagem e Regulagem Hydra Plus**. São Paulo.
5. Calister, W.D. **Ciência e engenharia de Materiais uma Introdução**. 7ª Edição, Rio de Janeiro, 2007.
6. Magalhães, M.M. e Lima, A.C.P. **Noções de Probabilidade e Estatística**, 7ª Edição, São Paulo, 2010.
7. Ishikawa, K. **Controle de qualidade total: à maneira japonesa**. Rio de Janeiro, 1993
8. Garcia, A., Spim, J.A. e Santos, C.A.. **Ensaaios dos Materiais**. Editora LTC. 2ª Edição, São Paulo, 2012.
9. Davis, H.E., Troxell, G.E. e Hauck, G.F.W.. **The Testing of Engineering Materials**. McGraw-Hill. 4ª Edição, 1982.
10. BARÇANTE, L. C. **Qualidade Total: Uma visão brasileira: O impacto estratégico na universidade e na empresa**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.
11. BLENES, Odair José. **A aplicação da metodologia 8D em uma Indústria de Fundição de Alumínio do Setor Automotivo**. Ponta Grossa: Conbrepro, 2018.